

UNIVERSITÉ PARIS SUD

N° d'ordre

|||||

# THÈSE

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS SUD**

**Discipline : Informatique**

préparée au Laboratoire de Recherche en Informatique

dans le cadre de l'Ecole Doctorale d'Informatique de l'Université Paris-Sud

présentée et soutenue publiquement

par

**Jean-Baptiste Labrune**

le 18 décembre 2007

Titre :

**Enfants et technologies créatives:  
un phénomène d'exaptation**

Directeur de thèse : Wendy Mackay

## **JURY**

M. Christian Jacquemin, Président

Mme. Wendy Mackay Directeur de thèse

Mme. Françoise Decortis, Rapporteur

M. Stéphane Natkin, Rapporteur

Mme. Edith Ackermann, Examineur



## Résumé

Les phénomènes d'exaptation sont définis comme des reconfigurations fonctionnelles à partir de règles contingentes, non prédictibles. Dans un contexte technologique, il peut s'agir par exemple d'épisodes de modification des technologies par leurs utilisateurs, dans des règles qui n'ont pas été prévues auparavant par les concepteurs du système. Il existe deux types d'exaptations: les modifications de fonctions existantes pour créer des fonctions nouvelles (adaptation co-optée), et la création de fonctions nouvelles à partir de caractéristiques non fonctionnelles (cooption). De tels phénomènes sont difficiles à étudier car ils échappent aux méthodes classiques d'examen des systèmes interactifs (hypothético-déductives). Ces méthodes utilisent en effet un cadre d'observation élaboré à priori, dérivé de règles définies par les concepteurs (évaluation, prédiction). Elles n'expriment souvent que des propriétés définies au préalable dans une grille d'évaluation et masquent les créations et modifications des utilisateurs. Au contraire, l'étude émergente de l'interaction peut permettre de décrire systématiquement les modifications fonctionnelles des interfaces par les utilisateurs, pour prendre en compte ces pratiques lors de la conception future des technologies. Nous avons choisi comme terrain d'étude l'interaction des enfants avec les technologies créatives. Nous postulons que ce terrain est approprié pour l'étude de l'exaptation notamment du fait de sa nature itérative. Les artefacts créés par les enfants et les variations de l'environnement permettent d'observer les modifications fonctionnelles au cours du temps et dégager ainsi les structures du processus de reconfiguration.

Dans cette thèse, nous montrons que l'interaction enfant-machine est un phénomène d'exaptation. Nous détaillons comment les enfants modifient les fonctions des interfaces et créent également de nouvelles fonctions à partir d'éléments non fonctionnels. Cette distinction entre deux types de modification des interfaces par leurs utilisateurs a été très peu étudiée. Les recherches antérieures ont présenté deux perspectives opposées. Soit les technologies adaptent les utilisateurs et les orientent vers des comportements de configuration (utilisation des fonctions créées par les concepteurs), comme dans le cas des interfaces adaptives ou persuasives. Soit elles ont manifesté l'importance de la situation ou de l'environnement écologique, moins pour examiner les structures pratiques de l'action que pour créer des meta-systèmes cognitifs, sensés expliquer la nature de l'action humaine. Le modèle de la co-adaptation, proposé par Mackay (1990), intègre les deux perspectives et décrit de manière détaillée l'influence réciproque de la technologie et des utilisateurs dans le cadre des logiciels personnalisables. Ces logiciels proposent différents points d'entrée vers les fonctionnalités du système, permettant aux utilisateurs d'adapter le système en sélectionnant différents items (parmi des choix qu'on leur propose) afin d'accommoder le système à leurs besoins ou désirs. Notre thèse étend cette analyse en montrant que dans le cas de l'interaction entre les enfants et les machines, ces modifications fonctionnelles ne sont pas forcément des sélections (co-adaptations) mais plus souvent des reconfigurations (exaptations) pouvant avoir une origine fonctionnelle (adaptation co-optée) ou non (cooption).

L'approche choisie est celle de la triangulation (Mackay & al, 1997), qui consiste à utiliser trois champs différents, dans notre cas, les Sciences Sociales, l'Interaction Homme-Machine (IHM) et le Design. Nous présenterons tout d'abord une étude qualitative émergente (Grounded Theory) que nous avons menée sur six terrains où nous examinons le phénomène d'interaction entre les enfants et les technologies créatives de manière systématique. Après avoir caractérisé les propriétés exaptives de ce phénomène, nous discuterons des implications pour

l'IHM (ou plus particulièrement l'IEM: Interaction Enfant-Machine). Nous proposerons ainsi un cadre d'étude, appelé Epistémologie Créative, pour comprendre les causes, les actions et les conséquences de ce phénomène à partir de données recueillies par les enfants. Enfin, nous présenterons plusieurs outils permettant aux enfants de recueillir et explorer ces données ainsi qu'une boîte à outils pour faciliter le prototypage et la conception de ces types d'interfaces par les chercheurs, les concepteurs et les enfants eux-mêmes.

Cette thèse propose donc des résultats d'ordre empiriques, théoriques, méthodologiques et technologiques. Parmi ces résultats, on peut citer notamment:

1. La caractérisation de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives comme un phénomène d'exaptation, appuyée par des données empiriques.

2. La mise en évidence théorique des liens entre les différentes dimensions conceptuelles du phénomène d'interaction entre les enfants et les technologies créatives, et notamment la description de l'influence réciproque des phénomènes suivants:

- a. Exploration physique (sensorielle et radicale)
- b. Découverte d'espaces ouverts (qui permettent la création de nouvelles fonctions)
- c. Communication (non-verbale, manipulation conjointe, gestuelle)
- d. Insight (sensations ou assemblages remarquables)
- e. Configuration (sélection et arrangement de fonctions)
- f. Reconfiguration (création de fonctions à partir de fonctions existantes)

3. L'élaboration d'une méthode d'étude, l'Epistémologie Créative, qui propose d'examiner l'exaptation du point de vue des enfants, à partir de données audiovisuelles recueillies sans la présence d'adultes sur le terrain et utilisées comme médiations lors de séances d'exploration conjointe avec des chercheurs.

4. La conception et l'évaluation de six classes de prototypes d'interfaces permettant l'observation et l'exploration qualitatives. La mise en évidence de l'importance des propriétés tangibles, multimédia, d'imitation, de co-manipulation et de démonstration pour la conception de ces interfaces.

5. La réalisation d'une boîte à outils (EXAPTIVE) facilitant la génération de ce type d'interfaces par les designers, les chercheurs et les enfants. La mise en évidence des dimensions d'interaction couplée (observation et exploration avec les mêmes techniques), d'interaction gestuelle et d'hybridation.

Directrice de Thèse : Wendy E. Mackay

Rapporteurs: Françoise Decortis, Stéphane Natkin

Comité de thèse : Edith K. Ackermann

Président du Jury: Christian Jacquemin





## Remerciements





# Plan

1. Introduction.....	11
1.1. L'Exaptation.....	12
1.2. L'Interaction Enfant-Machine (IEM).....	18
1.2.1. Historique.....	18
1.2.2. Les interfaces graphiques.....	18
1.2.3. Les interfaces tangibles.....	24
1.2.4. Les technologies créatives.....	33
1.3. Pourquoi étudier les technologies créatives ?.....	36
1.4. Stratégie de recherche pour l'étude des technologies créatives.....	38
1.5. Structure de cette dissertation.....	39
1.6. Publications.....	40
1.7. Synthèse.....	41
2. Cadre théorique.....	42
2.1. L'étude des facteurs humains.....	42
2.2. Analyse et sélection de notre cadre théorique.....	43
2.3. La triangulation.....	44
2.4. Examen triangulé d'un phénomène d'exaptation.....	45
2.5. Stratégie de recherche.....	46
2.6. Synthèse.....	47
3. Etude qualitative.....	48
3.1. Protocole de recherche.....	48
3.1.1. Terrain: technologies créatives et enfants.....	48
3.1.2. Méthodologie.....	50
3.1.3. Stratégie de recherche.....	52
3.2. Etudes de cas.....	53
3.2.1. Etudes préliminaires.....	53
3.2.2. Créativité et interfaces tangibles.....	61
3.2.3. Créativité et interfaces graphiques.....	69
3.3. Analyse.....	80
3.3.1. Codage axial .....	81
3.3.2. Codage sélectif.....	82
3.4. Résultats.....	83
3.5. Synthèse.....	84
4. Exaptation.....	86

4.1. Thèse.....	86
4.2. Discussion.....	87
4.3. Implications pour l’IEM et l’IHM.....	88
4.4. Synthèse.....	89
5. Outils méthodologiques et technologiques.....	90
5.1. Lépistémologie créative.....	90
5.1.1. Définition.....	90
5.1.2. Approche : La créativité vue par les enfants.....	93
5.2. Outils d’observation et d’exploration.....	94
5.2.1. Définition d’un espace de conception.....	94
5.2.2. Observation et exploration individuelle.....	96
5.2.3. Observation et exploration sociale.....	123
5.2.4. Evaluation.....	133
5.2.5. Discussion.....	134
5.3. Outils génératifs.....	136
5.3.1. Définition d’un espace génératif.....	136
5.3.2. La boîte à outils EXAPTIVE.....	138
5.3.3. Evaluation.....	146
5.3.4. Discussion.....	147
5.4. Synthèse.....	148
6. Discussion.....	149
6.1. Questions théoriques.....	149
6.2. Questions pratiques.....	150
6.3. Conséquences pour le design de l’IEM.....	151
6.4. Conséquences pour la recherche en IEM.....	152
6.5. Quelles implications pour les enfants ?.....	153
6.6. Limites de cette recherche.....	153
6.7. Recherches futures.....	155
6.8. Résumé des contributions de cette thèse.....	155
7. Bibliographie.....	159





# 1. Introduction

*Ce chapitre définit le concept d'exaptation technologique et le situe dans le champ des technologies créatives pour enfants. Nous montrerons également quelle stratégie de recherche nous allons suivre dans cette dissertation.*

---

1. Introduction.....	13
1.1. L'Exaptation.....	14
1.2. L'Interaction Enfant-Machine (IEM).....	19
1.2.1. Historique.....	19
1.2.2. Les interfaces graphiques.....	20
1.2.3. Les interfaces tangibles.....	28
1.2.4. Les technologies créatives.....	38
1.3. Pourquoi étudier les technologies créatives ?.....	41
1.4. Stratégie de recherche pour l'étude des technologies créatives.....	43
1.5. Structure de cette dissertation.....	44
1.6. Publications.....	45
1.7. Synthèse.....	46

---

Avant le développement des sociétés industrielles, les enfants fabriquaient eux-mêmes leurs jouets. Les objets de l'environnement constituaient des ressources riches et complexes, en attente d'être investies de propriétés ludiques ou imaginaires. Des cailloux ou des bouts de bois pouvaient ainsi devenir des personnages ou des épées. Cette métamorphose temporaire s'appuyait souvent simplement sur une simple ressemblance entre l'objet initial et son double imaginaire : une propriété perçue de l'objet (couleur, forme, détail) comme lien symbolique entre le réel et l'imaginaire. Pour le psychologue anglais D.W. Winnicott, l'exploration du monde qui les entoure permet aux enfants d'identifier de tels objets (transitionnels) qui ouvrent un espace potentiel, lieu de la créativité et de l'expérience culturelle (Jeu et réalité, 1971). Il oppose également le jeu régulé (le « game », aux règles nécessairement prédéfinies) au jeu libre (« free playing », contingent).

Avec l'apparition des jouets modernes, fabriqués en masse, ce sont des concepteurs (adultes) qui ont remplacé les enfants dans la conception des mécanismes ludiques. Les objets pour enfants intègrent désormais de plus en plus de technologies, renforçant cette tendance : les concepteurs de technologies interactives fabriquent des objets qui devront être utilisés d'une certaine façon. Les fonctionnalités sont écrites à l'avance, dans le but d'être activées ensuite par les enfants. L'ouverture des objets du passé fait maintenant place à la scénarisation programmée de l'expérience ludique. Cependant, il serait faux de penser que toutes les caractéristiques des objets technologiques pour enfants sont fonctionnelles, ou scénarisées par les concepteurs. De nombreux éléments de ces interfaces sont libres et ouverts aux détournements imaginaires

des enfants. Les objets physiques, bien que computationnels, conservent les propriétés décrites plus haut (affordances physiques). On peut donc s'interroger sur la nature des interactions entre les enfants et ces objets doubles, à la fois programmes à respecter et espaces ouverts à investir.

C'est cette tension entre fonctionnalités préconçues et fonctions créées par les enfants qui nous intéresse dans cette thèse. Plus particulièrement, comment les enfants non seulement adaptent les technologies qu'ils utilisent en sélectionnant certains aspects fonctionnels mais également comment ceux-ci créent de toutes pièces de nouvelles fonctions détournent des fonctions dont ils disposent. Nous définissons cette classe de phénomènes comme *exaptive*, pour manifester l'idée selon laquelle les enfants configurent les technologies, mais également reconfigurent ces technologies en partant soit de propriétés héritées des fonctions à leur disposition, soit de caractéristiques non fonctionnelles. Les phénomènes exaptifs ne sont pas faciles à étudier car ils sont difficilement prédictibles. Une méthodologie particulière doit être utilisée, qui doit garantir le respect de la nature émergente du phénomène étudié. De plus, le terrain choisi doit pouvoir manifester des structures remarquables lors des épisodes de configuration et de reconfigurations successives. Nous postulons que les *technologies créatives sont appropriées pour cette étude*, du fait notamment de leur nature dynamique.

Nous montrerons que l'interaction entre les enfants et les technologies est un phénomène d'exaptation, plus particulièrement dans le cas des interfaces supportant la créativité. Ce mémoire ouvre donc plusieurs questions théoriques et empiriques, notamment : Est-ce que l'interaction entre les enfants et les technologies créatives est un phénomène d'exaptation ? Si oui, quel cadre d'étude est approprié pour l'examen de ce phénomène ? Est-ce que les enfants sont influencés par les technologies qu'ils utilisent et si oui, de quelle manière ? Est-ce que les enfants détournent les fonctions des interfaces à leur disposition, et si oui, comment ? Quelles sont les conséquences en IHM de la nature exaptive de l'interaction ? Comment étudier l'exaptation et avec quels outils méthodologiques et technologiques ?

Les questions pratiques sont également : Quels sont les différents types de reconfigurations entreprises par les enfants ? Quelle est l'influence du contexte sur ces reconfigurations ? Quels sont les facteurs préalables aux reconfigurations ?

## 1.1. L'Exaptation

---

Nous introduisons ici le terme de phénomène d'*exaptation* pour décrire la nature contingente des reconfigurations entre les utilisateurs et les technologies interactives. L'exaptation manifeste ainsi comment les utilisateurs fabriquent de nouvelles fonctions à partir de caractéristiques fonctionnelles existantes ou créent de manière spontanée de nouvelles fonctions à partir de caractéristiques non-fonctionnelles. Il complète les recherches actuelles dans le domaine de l'adaptation et de la co-adaptation entre les technologies et leurs utilisateurs en distinguant ce qui est de l'ordre de l'adaptation (sélection) de ce qui relève de la préadaptation (exaptation).

Le choix de ce terme est influencé par les récentes avancées dans le domaine de la psychologie évolutionniste, et notamment par le réexamen du paradigme darwinien de l'évolution par le psychologue Stephen J. Gould et l'anthropologue

Elizabeth Vrba au début des années quatre-vingt. Selon ces auteurs, l'approche selon laquelle la nature procède seulement par adaptation ou co-adaptation est partiellement vraie, comme le montrent un certain nombre de cas limites de la théorie évolutive. Les objets complexes tels que l'œil ou les ailes des oiseaux n'auraient pas évolué par un mécanisme de sélection fonctionnel lié à la vision ou au vol, mais plutôt par des reconfigurations successives ayant permis l'existence de ces fonctions dans un deuxième temps. Un exemple classique étant celui des ailes des oiseaux cité par Gould (Exaptation: A crucial tool for evolutionary psychology, 1991) pour qui l'apparition des plumes pour le vol semble moins être une adaptation directe pour le vol, mais plutôt une adaptation première à une meilleure régulation thermique durant la course, suivie d'une exaptation pour le vol. La thermorégulation est donc une adaptation et le vol une exaptation, certains oiseaux coureurs comme les autruches ne volent d'ailleurs pas, mais possèdent bien des plumes pour leur régulation thermique.

Les exaptations sont donc une classe particulière d'adaptation, qui au lieu d'être directement liées à la sélection de fonctions sont indirectement la conséquence de celles-ci ou bien alors sont issues de la reconfiguration d'autres caractéristiques non-fonctionnelles, comme par exemple les caractéristiques dérivées de l'auto-organisation de certains traits naturels. Un exemple de ce deuxième type d'exaptation est reporté dans les travaux de P.Y.Houdeyer (2003). « Certaines espèces de mollusques vivant dans l'obscurité au fond des océans ont sur leur coquille des motifs rayés qui sont le résultat de la pigmentation qui se produit lors de la calcification continue et graduelle des cellules sur le bord de la coquille à mesure que celle-ci grandit dans un jeu de division cellulaire dont la dynamique est très similaire à celle de la fameuse réaction de Belousov-Zhabotinsky. Ces formes auto-organisées n'ont pas de valeur adaptative pour les mollusques ». Contrairement aux autres rayures du monde animal comme celles des zèbres par exemple, celles de ces mollusques n'ont pas d'origine adaptative, elles sont un effet secondaire de l'auto-organisation de la carapace. Cependant, lorsque les courants transportent ces mollusques dans des zones éclairées, ces rayures contribuent alors à la survie des mollusques, exaptant ainsi ce trait non-fonctionnel à l'origine.

Pour distinguer ces deux types d'exaptation, Gould et Vrba recommandent l'utilisation de deux termes précisant l'origine fonctionnelle ou non des reconfigurations :

- (i) Un trait, précédemment informé par la sélection naturelle pour une fonction spécifique (une adaptation), est coopté pour un nouvel usage - cooptation.
- (ii) Un trait dont l'origine ne peut pas être attribuée à l'action directe de la sélection naturelle (une nonaptation) est coopté pour un usage actuel - cooption.<sup>1</sup>

Dans un article récent, Buss et al (1998) reviennent sur ces deux termes proches (cooptation et cooption) en soulignant que leur similitude peut être source de confusion. Ils proposent alors d'utiliser le terme d'adaptation co-optée et de cooption pour distinguer les deux cas de figure du phénomène d'exaptation.

<sup>1</sup> « (i) A character, previously shaped by natural selection for a particular function (an adaptation), is coopted for a new use—cooptation. (ii) A character whose origin cannot be ascribed to the direct action of natural selection (a nonaptation), is coopted for a current use—cooption ».

Parmi nos exemples cités plus haut, le vol est donc une adaptation co-optée et la fonction d'éloignement des prédateurs des rayures des mollusques marins une cooption. Nous utiliserons ces termes dans la suite de ce mémoire. Dans cet article, les auteurs soulignent également un concept fondamental de Gould en ce qui concerne l'exaptation: les « Spandrels ». Ce terme qu'on peut traduire en français par écoinçon provient de l'architecture. Il désigne les zones interstitielles situées aux bordures des roses et des rosaces des verrières présentes dans les cathédrales gothiques. Ces espaces libres, à l'interconnection d'éléments fonctionnels, n'ont pas de fonction précise. Gould note que ces espaces ont par la suite été investis dans une visée décorative, ce sont donc des supports ouverts pour des fonctions esthétiques futures, ils permettent la cooption.

	Adaptation		Exaptation (adaption co-optée)
	Fonction 1	Effets de bords ( by-products )	Fonction 2 →
Jambes de mammifères marins	Stockage de calcium phosphate	Propriétés locomotrices	Marche
Plumes	Thermorégulation	Caractéristiques permettant le vol ( mécanique, imperméabilisation )	Vol
FTP	Envois de fichiers entre des machines	Label des fichiers modifiable	Communication humaine Popularisation de l'email (RFC 385)
Email	Communication humaine	Champ objet modifiable	Envois d'ins tructions algorithmiques pour le traitement automatique des données (règles)

	Nonaptation		Exaptation (
	Pas de fonction	Ecoinçons ( spandrels )	Fonction →
Rayures de mollusques marins	Propriété morphologique sans aucun bu t.	Supports des motifs émergents apparus lors de l'auto-organis ation de la carapace.	Resistance aux prédateurs

Le terme d'exaptation recouvre donc plusieurs notions subtiles qu'il conviendra de distinguer lors de l'utilisation de ce concept dans le champ technologique. Le tableau ci-dessus présente différents exemples d'exaptation et ses différents types.

Nous allons à présent détailler l'acception de ce terme dans le champ technologique et comprendre comment ces différentes notions évolutionnistes ont été ou peuvent être employés dans le cadre de l'interaction entre les utilisateurs et les dispositifs interactifs. Pour comprendre la place du concept d'exaptation technologique, il faut d'abord le situer par rapport à la notion d'adaptation technologique.

## L'adaptation technologique

Les interfaces dites adaptives ou adaptatives sont un des sujets phares de la recherche en informatique dans les dernières années. L'adaptation dans ce contexte est définie comme une propriété du système qui lui permet de sélectionner, de manière autonome, la meilleure fonction ou manière de présenter une fonction pour l'utilisateur. Le système possède en général un modèle prédictif du comportement (physique ou cognitif) de l'utilisateur et



actualise ce modèle en fonction de règles d'apprentissage issues de la recherche en intelligence artificielle (on appelle aussi ces dispositifs des interfaces « intelligentes »). À partir de ce modèle, le système peut donc théoriquement prédire à la place de l'utilisateur ce qui est le plus adapté pour lui, il sélectionne ainsi automatiquement la fonction la plus appropriée en fonction de la tâche ou de l'activité qu'il est en train de réaliser (Adaptive User Interfaces, Dieterich, 1993).

Cette approche repose sur l'idée que l'on peut fabriquer un bon modèle prédictif du comportement de l'utilisateur, c'est-à-dire qu'on peut dire à l'avance de manière fiable et robuste ce qu'un être humain veut faire et comment il veut le faire, moyennant certaines modifications contextuelles. Certaines recherches vont même encore plus loin et élaborent des modèles prédictifs non seulement pour anticiper le comportement des utilisateurs mais également pour l'influencer (Persuasive Technology, B.J. Fogg, 2003). L'idée est d'adapter l'interface pour persuader l'utilisateur de faire d'une manière qui est considérée comme la bonne manière. Ces « persuasive technologies » sont les héritières des célèbres machines à apprendre des années soixante, qui avaient pour but de programmer les êtres humains selon des méthodes issues du courant psychologique comportementaliste (conditionnement).

L'adaptation en informatique est donc le plus souvent un mécanisme n'impliquant pas la décision humaine mais utilisant l'humain comme un opérateur. La sélection des fonctions se fait par le système selon des règles établies par les concepteurs du système en fonction de critères préexistants qui peuvent être actualisés en fonction de certaines informations de l'environnement actuel. Cette notion repose sur l'idée que le comportement humain peut être prédit voire programmé. Cependant, d'autres recherches ont montré que l'interaction entre les utilisateurs et les machines ne se résumait pas à un monologue, notamment celles portant sur la co-adaptation.

## La co-adaptation technologique

De nombreux auteurs ont montré que les environnements technologiques adaptent certes le comportement des utilisateurs, mais qu'en retour, ces utilisateurs informent également les technologies qu'ils utilisent. Ce phénomène d'interaction réciproque est nommé co-adaptation, en référence à son équivalent dans le domaine biologique encore appelé adaptation mutuelle ou mutualisme. C'est un thème récemment étudié (notamment sous l'influence des théories de design participatif et de design centré sur l'utilisateur) qui trouve ses sources dans les années soixante, notamment dans les écrits théoriques de James Licklider (Man-Computer Symbiosis, 1960). Dans cet article publié dans le journal HFE (Facteurs Humains en Electronique<sup>2</sup>), le directeur de projets novateurs à la firme BBN et au sein de l'ARPA propose sa vision mutualiste de l'interaction entre les utilisateurs et les machines, ainsi qu'un certain nombre de problèmes à surmonter pour atteindre ces objectifs. Ces travaux déboucheront sur la création des interfaces interactives modernes comme l'écran, la souris et le clavier.

La co-adaptation a été également très étudiée dans le domaine organisationnel, notamment par Orlikowski qui détaille dans un article nommé « la dualité technologique » comment les technologies sont à la fois informées à travers les actions des agents humains et comment les technologies influencent également l'action et le comportement des utilisateurs. (The Duality of Technology: Rethinking the Concept of Technology in Organizations, 1992). En France, les

---

<sup>2</sup> L'informatique n'existait pas encore à l'époque.

travaux de Rabardel (*Approche cognitive des instruments contemporains*, 1995) manifestent des « phénomènes croisés d'instrumentations de l'utilisateur par l'artefact proposé et d'instrumentalisation de ce même artefact à travers la mise en place de schèmes d'utilisation que l'utilisateur développe dans la situation d'usage réelle ». L'influence mutuelle de la technologie et des humains est donc manifeste. Ces deux études restent cependant à un niveau très général de l'interaction homme-machine, souvent dérivé d'un cadre sémio-pragmatique (flexibilité d'interprétation chez Orlikowski, schèmes d'utilisation chez Rabardel). Leur idée est d'inscrire la logique du système dans un ensemble, qu'il soit organisationnel ou cognitif. Il n'y a pas d'analyse détaillée de l'interaction mutuelle entre les utilisateurs et les machines dans une perspective émergente, inductive mais au contraire, la volonté d'établir un modèle des actions humaines (*Modèles du sujet pour la conception*, Rabardel, 2005) pour ensuite les prédire, dans une perspective déterministe et non complexe.

Les travaux de Mackay contrastent avec ces approches et manifestent la co-adaptation à partir de données empiriques dans le but d'élaborer une théorie émergente, appropriée à la nature dynamique de ces phénomènes. Dans ses différentes études sur l'utilisation des emails (1989), des logiciels de personnalisation (1990), de strips de contrôle aérien (1997, 1998) et du phénomène de surcharge cognitive (2000), elle manifeste en détail les dimensions et les propriétés de la co-adaptation dans le domaine de l'interaction homme-machine. Mackay détaille notamment dans sa thèse de doctorat l'utilisation des logiciels personnalisables qui sont conçus dans le but d'être adaptés par leurs utilisateurs. Ces logiciels possèdent en général des fichiers de configuration (comme dans le cas du système ATHENA basé sur UNIX) qui permettent à l'utilisateur de modifier son environnement de travail.

Ces modifications se font par l'agencement, la recombinaison d'éléments répertoriés par le système et conçus par les concepteurs du système. Elles peuvent également se faire par la programmation, en utilisant un langage informatique permettant à l'utilisateur de créer une nouvelle fonction ou de modifier une fonction existante. Cette étude manifeste ainsi comment les configurations et reconfigurations se fabriquent et s'échangent dans le cadre du système informatique. Mackay identifie les différents rôles dans une organisation qui contribuent ou non à ces co-adaptations (le groupe des « traducteurs technologiques » notamment) mais également comment ces adaptations répondent à une logique économique ou exploratoire. Cependant, ces travaux définissent toutes les modifications fonctionnelles de l'utilisateur comme étant des adaptations. Il n'y a pas de différence conceptuelle faite entre les configurations et les reconfigurations ni d'examen systématique de la genèse des différents types de reconfigurations. Dans cette thèse, nous nous intéressons précisément à ces différents points en différenciant les adaptations des exaptations technologiques.

## **L'exaptation technologique**

Depuis la parution des premières publications sur l'exaptation (Gould et Lewontin, 1979 ; Gould et Vrba, 1982), de nombreux champs scientifiques qui adoptent une perspective évolutionniste ont été influencés par ce concept. Dans le champ technologique, le terme a été employé par Mokyr (*Innovation and Selection in Evolutionary Models of Technology*, 1999), et également Dew (*The Economic Implications of Exaptation*, 2004). Ces auteurs ont défini les exaptations technologiques comme des caractéristiques co-optées pour un rôle

actuel à partir d'une origine différente<sup>3</sup>. Mokyr montre notamment de nombreux exemples d'exaptation dans l'histoire des technologies comme le téléphone (dont la fonction initiale était la diffusion de concerts) ou bien l'ampoule électrique, dont les propriétés thermiques ont été utilisées pour de nombreux autres usages que sa fonction d'éclairage. Dew montre comment le Compact Disc (CD) initialement créé pour reproduire la plus grande qualité musicale est en fait apparu comme la meilleure manière de stocker de l'information numérique, conduisant à la création du CD-ROM.

Ces auteurs ont souligné l'importance de ne pas s'intéresser seulement aux adaptations en tant que sélections actuelles mais également aux potentialités diverses qu'offrent les fonctions et objets technologiques pour les adaptations dérivées ou futures (exaptations). Comme eux nous définissons l'exaptation technologique comme :

Une fonction nouvelle issue soit d'une modification de fonction préexistante (adaptation co-optée<sup>4</sup>) ou bien de la reconfiguration de caractéristiques non-fonctionnelles (cooption).

Bien que les biologistes n'encouragent pas l'amalgame entre adaptation et sélection, nous utiliserons cependant le terme d'exaptation à la fois en tant que processus et en tant que résultat du processus, pour ne pas le confondre avec celui de sélection adaptative.

Les phénomènes d'exaptation sont donc des reconfigurations fonctionnelles à partir de règles contingentes, non prédictibles. Pour manifester ce type de phénomène dans le cas des facteurs humains, il faut nécessairement identifier conceptuellement des configurations et reconfigurations lors du processus d'interaction avec les technologies, et également examiner systématiquement le développement des différents types de reconfigurations, pour déterminer si leurs origines sont fonctionnelles (adaptation co-optée) ou non (cooption).

## Limites épistémologiques

Cette thèse n'est pas une thèse de biologie. Les définitions technologiques des concepts d'adaptation, de co-adaptation, d'exaptation et d'évolution sont métaphoriques. Elles sont inspirées par ces mêmes concepts en biologie, mais ne définissent aucunement l'étude de l'évolution des traits des organismes vivants. L'examen des systèmes artificiels dans une perspective évolutionniste nécessiterait en effet l'élaboration d'un cadre épistémologique qui dépasse de loin celui d'une thèse en informatique.

Maintenant que nous avons une définition opératoire de l'exaptation, nous allons à présent détailler notre terrain d'étude: l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. Afin de cerner ce domaine spécifique, nous allons d'abord examiner un domaine plus général, dont il fait partie, qui lui même dérive de l'IHM (Interaction Homme-Machine) et qui s'appelle l'IEM (Interaction Enfant-Machine).

<sup>3</sup> An exaptation is a feature co-opted for its present role from some other origin (Dew, 2004)

<sup>4</sup> Nous reprenons ici la distinction terminologique proposée par Buss et al (1998)

---

## 1.2. L'Interaction Enfant-Machine (IEM)

---

### 1.2.1. Historique

Depuis le développement massif des machines électroniques dans les années cinquante, de nombreuses recherches se sont intéressées à la manière dont des êtres humains pouvaient interagir avec ces objets électroniques complexes. La discipline appelée IHM, ou Interaction Homme-Machine trouve ses origines dans les travaux à propos des facteurs humains réalisés à cette époque. Certains domaines stratégiques (Nucléaire, Aviation, Militaire) cherchaient en effet à comprendre et prédire l'action humaine dans ce contexte technologique pour éviter les erreurs et optimiser leurs systèmes de contrôle. Dérivée de la psychologie, l'IHM étudiera donc le comportement humain et en même temps permettra la création de nouvelles interfaces entre les personnes et les machines.

C'est dans ce contexte de psychologie et de design technologique que certains chercheurs ont commencé à envisager l'informatique dans une perspective humaine, qui serait centré sur les utilisateurs, sans forcément attendre d'eux qu'ils soient des ingénieurs ou des experts technologiques. Des langages informatiques comme Ghost, version simplifiée de Lisp créée dans les années soixante par Wally Feurzeig, étaient destinés à tous les utilisateurs et pourquoi pas à des enfants. L'arrivée de Seymour Papert, auparavant chercheur en épistémologie cybernétique (en Suisse aux côtés de Jean Piaget) mais également de Cynthia Solomon ou encore Hal Abelson, signera le développement d'un système informatique appelé Logo, prototype de ce que seront les machines pour enfants dans les décennies qui suivront, combinant des interfaces *graphiques* et des interfaces *tangibles*<sup>5</sup>.

### 1.2.2. Les interfaces graphiques

#### Programmation

Le langage Logo est apparu en même temps que les premiers systèmes informatiques interactifs avec des écrans interactifs comme le célèbre Sketchpad (Sutherland, 1963). Il propose aux enfants de créer des programmes de dessin ou de calcul et permet de représenter graphiquement, de manière concrète, des concepts mathématiques abstraits. Les premières utilisations de Logo dans des écoles ont été naturellement orientées vers la géométrie et le dessin algorithmique mais également vers le jeu. La première utilisation publique de Logo, au collège Muzzey Junior pendant l'année scolaire 1968/1969 proposa ainsi à des élèves de cinquième (7th grade) de programmer un jeu appelé NIM (A Game-Playing Program, Solomon, Papert, 1970). NIM ou encore 21 est une version informatique du jeu des « allumettes » qui consiste à choisir un nombre d'allumettes parmi un ensemble et de ne pas être le dernier à devoir choisir.

---

<sup>5</sup> "LOGO" is sometimes used as the name of a programming language. It is also used as the name of ... what shall I call it ? ... an environment, a culture, way of thinking about computers and about learning and about putting the two together. I shall try to convey to you how I bring a child into this environment. The environment is made of ideas, of things and of people. The things include various types of turtles: computer controlled mechanical beasts which use touch sensors or eye-sight to crawl around the floor and display turtles, which live on TV-like screens where they draw in phosphor white or in multi-color. (Solomon, 1976).

```

DO YOU KNOW HOW TO PLAY NIM?
<NO
HERE ARE THE RULES: YOU WILL BE SHOWN A COLLECTION OF X'S. YOU MAY
REMOVE 1, 2 OR 3. THE PLAYER WHO TAKES THE LAST WINS. THIS IS
PROBABLY TOO VAGUE FOR YOU TO UNDERSTAND, BUT TRY PLAYING AND I'LL
CORRECT YOUR MISTAKES.

ARE YOU READY?
<I AM
PLEASE SAY "YES" OR "NO"
<YES
OK. NOW TELL ME THE NAME OF THE FIRST PLAYER.
<JON
NOW THE NAME OF THE OTHER PLAYER
<COMPUTER
HOW MANY STICKS DO YOU WANT TO START WITH?
<THIRTY
I'M A DUMB COMPUTER. TYPE A PROPER NUMERAL.
<31

JON TO PLAY.
THERE ARE 31 STICKS.
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
JON, TAKE 1, 2 OR 3
<3

COMPUTER TO PLAY.
THERE ARE 28 STICKS.
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
I TAKE 3

JON TO PLAY.
THERE ARE 25 STICKS.
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
TAKE 1, 2 OR 3
<3

```

*Illustration 1: NIM: le premier jeu programmé par des enfants*

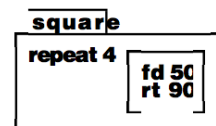
Par la suite, Cynthia Solomon introduit le langage TEACH (A Step Toward More Interactive Programming, MIT A1 Lab. LOGO Working Paper, 1975), basé sur Logo, dont le but était de faire du « problem-solving », aider les enfants à résoudre des problèmes.

Au début des années quatre-vingt, Hal Abelson et Andy diSessa vont fabriquer BOXER, une nouvelle interface graphique pour Logo qui reprend l'idée des structogrammes créés en 1973 par Isaac Nassi et Ben Schneiderman (Nassi-Schneiderman diagrams ou NSD). Leur idée est de représenter les procédures graphiquement sous forme de boîtes alors que Logo possède une syntaxe entièrement textuelle, héritée de son premier support, le terminal (« typewriter »). Ces deux versions ont suivi une évolution parallèle cependant, Logo a continué de se développer du fait notamment de ses nombreuses utilisations dans les écoles. Les versions modernes de Logo sont notamment orientées vers les sciences de la complexité, la simulation et les aspects distribués (StarLogo, NetLogo).

```

to square
repeat 4 [fd 50 rt 90]
end

```



*Illustration 2: Boxer, un Logographique*

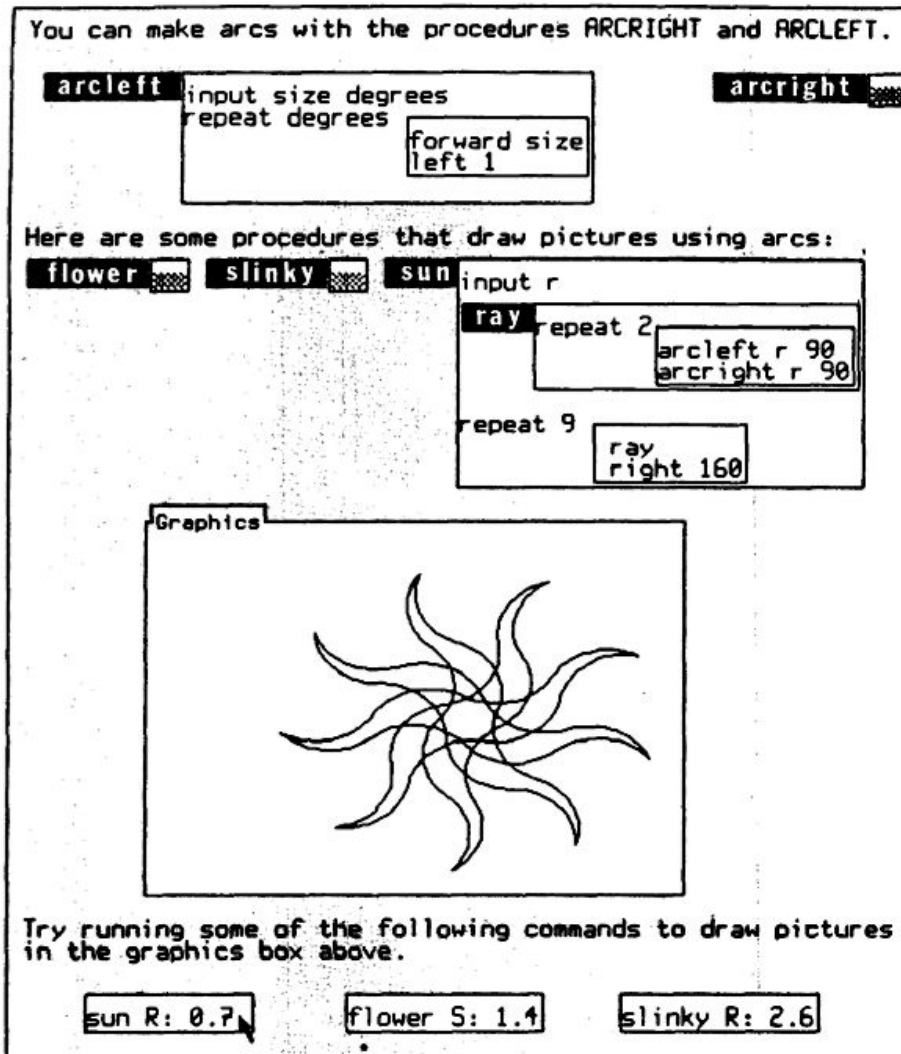


Illustration 3: Boxer, le premier système de «fenêtres» pour enfants

Au même moment que l'invention de Logo, un autre langage informatique nommé Smalltalk est inventé par le chercheur américain Alan Kay. Dérivé de ces travaux de thèse à propos de l'invention d'un ordinateur personnel nommé Flex, ce langage initialement conçu pour les adultes doit pouvoir servir également à des enfants. Lors d'un voyage à la fin de l'été 1968 au AI Lab du MIT, Kay rencontre en effet l'équipe de Logo qui lui montre des enfants programmer avec un ordinateur, une révélation pour Kay, qui inventera dans l'avion qui le ramène en Californie la première version du Dynabook, premier ordinateur portable et destiné aux enfants, dont l'architecture servira de base pour l'Alto, ancêtre direct du premier Apple Macintosh. Kay utilisera d'ailleurs Logo dans un premier temps (à l'école de Lexington) et inventera un langage dérivé de Simula qui s'appelle SLogo (Simulation Logo). Peu après, il fabriquera de toutes pièces le langage Smalltalk car Logo ne fonctionnait pas selon sa philosophie selon laquelle un logiciel (software) est une instance directe du matériel (hardware).







There once was a  who got lost ?  
 He did not know whether to go  or  .  
 He asked a  he saw sitting on a  .  
 The  promptly stung the  on the 's  
 nose . uch, said the  . The   
 said 'I am sorry—I forgot myself. Close  
 one  and toot your ', said the  .  
 ' The way to go,  or , is the way you  
 will see.' So the  closed one  .

Illustration 4: Une histoire mêlant texte et éléments graphiques en Smalltalk

Smalltalk est donc créé comme une récursion du principe même de machine computationnelle, chaque instance se comporte, à un facteur d'échelle près, comme ces voisins, dans un réseau computationnel<sup>6</sup>. L'avantage de cette méthode est de coller de très près au développement des ordinateurs de l'époque, aboutissant à la création au milieu des années 70 au Xerox Parc d'une machine aux performances graphiques très élaborées pour son temps. Les enfants utilisant Smalltalk pourront donc s'exprimer graphiquement d'une manière différente (bitmap) que ceux de Logo (vectoriel).

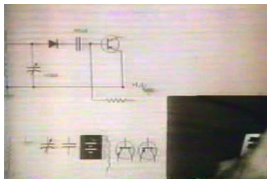


Illustration 5: Editeur de circuits électroniques programmé en Smalltalk par un adolescent

Cette subtilité influencera les productions des enfants avec le système de Kay. Les programmes créés dans ce contexte produisent plus que les dessins de Logo, ils génèrent des applications que les autres enfants peuvent utiliser par manipulation directe. Des adolescents ont ainsi créé des logiciels tout à fait incroyables pour l'époque comme des éditeurs graphiques, des logiciels de traitement musical ou encore un logiciel de fabrication de circuits imprimés (Kay, 1975). Le langage smalltalk donnera naissance à une version appelée Squeak en 1996, très utilisée, et plus récemment à un environnement en réseau et en 3D appelé OpenCroquet (2002). Ce dernier propose aux enfants de construire leurs environnements virtuels et vidéoludiques en réseau.

#### A Menu Driven Painting Program: Programmed by a 12 year-old

This was the first real system done by any of our children; there have since been many more. The child did not see any of our painting programs while working on this. She, very early in her introduction to Smalltalk, decided that one *ought* to be able to paint if the *mouse* could tell the pen where to go, *over and over*. She came in the next morning, wrote the program, and it worked the first time. After that, she became positively ingenious in finding ways to turn every possible programmatic situation into a way to paint. The idea of having various kinds of brushes and paints was hers; the notion of having a 'menu' of the available repertoire was suggested by us, the method for achieving the menu was designed and programmed by her.

This was the first indication to us that the building blocks of Smalltalk actually were more powerful and easier to use for the naive programmer than the more conventional 'noun/verb' ('data structure/function') primitive ideas of most current programming systems.

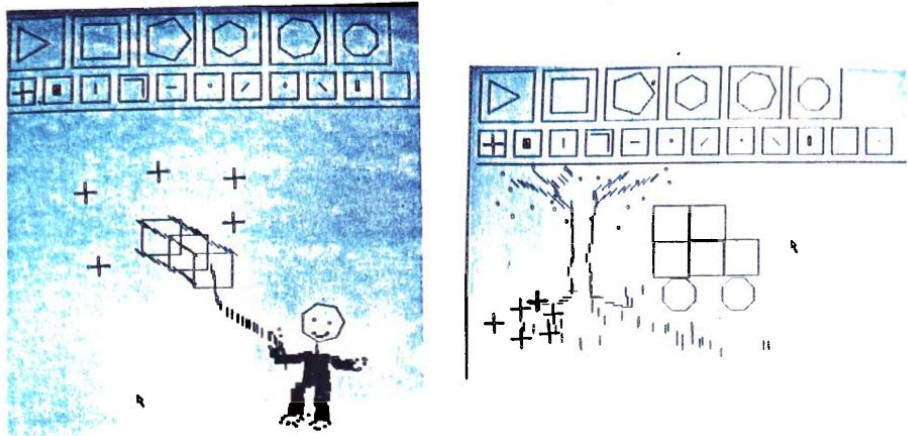


Illustration 6: Un logiciel de dessin programmé par un enfant de 12 ans en Smalltalk

Récemment, le projet Scratch, intégrant ces deux perspectives, a réuni les créateurs de Logo et de Smalltalk. Partant du constat que les enfants actuels sont habitués à une très grande richesse visuelle en terme informatique (du fait des jeux vidéo et des effets spéciaux dans les films), le groupe de Mitch Resnick a

<sup>6</sup> Smalltalk is a recursion on the notion of computer itself. Instead of dividing "computer stuff" into things each less strong than the whole--like data structures, procedures, and functions which are the usual paraphernalia of programming languages--each Smalltalk object is a recursion on the entire possibilities of the computer. Thus its semantics are a bit like having thousands and thousands of computer all hooked together by a very fast network. (The Early History of Smalltalk, Kay, 1993).

décidé de repenser un langage de programmation à partir de zéro (« from scratch »). Scratch combine donc la programmation visuelle par bloc de Boxer, la simplicité de la syntaxe de Logo et la richesse graphique ainsi que les aspects réseaux de Squeak. Ce logiciel possède également une interface web qui permet aux enfants de partager leurs créations et de les réutiliser. Il sera installé prochainement par défaut sur les futurs ordinateurs simplifiés en Inde (OLPC). Nous en reparlerons plus loin au chapitre 3.2.

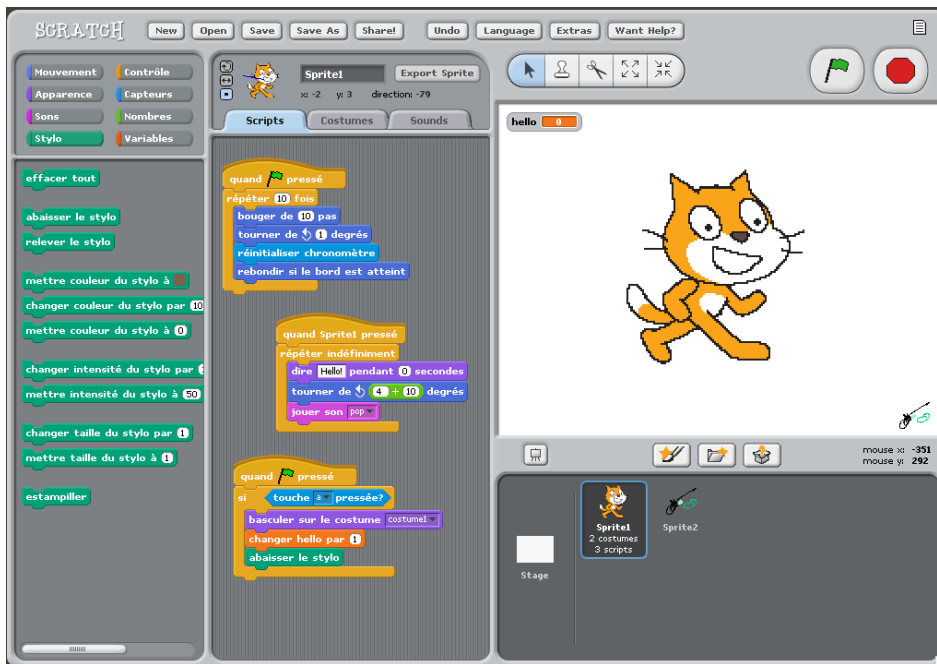


Illustration 7: Scratch

J'ai présenté ici trois grands courants d'interfaces graphiques programmables par les enfants. Il y en a d'autres, comme Toontalk (Khan, 1991), ou encore le très intéressant ComiKit (Kindborg, 2007). Toutefois, Logo, Smalltalk et Scratch sont représentatifs des différents types de logiciels de programmation pour enfants. Nous allons maintenant nous intéresser à une deuxième classe d'interfaces graphiques, les environnements pédagogiques technologiques.

## Pédagogie

Comme l'indique le rapport Platon-1 (Platon-1, 2005), les environnements pédagogiques technologiques ou Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) sont définis comme : « Un environnement informatique conçu dans le but de favoriser l'apprentissage humain, c'est à dire la construction de connaissance chez un apprenant. Ce type d'environnement mobilise des agents humains (élève, enseignant, tuteur) et artificiels (agents informatiques, qui peuvent aussi tenir différents rôles) et leur offre des situation d'interaction, localement, ou à travers les réseaux informatiques, ainsi que des conditions d'accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées), ici, encore locales ou distribuées. ». Héritières historiques des EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) et EIAO (Enseignement *Intelligence* Assisté par Ordinateur), ces recherches proposent de concevoir des systèmes artificiels, au sens de Herbert Simon (Platon-1, 2005) et proposent des méthodes d'études appropriées à l'artificiel, très rationnelles. En France ces recherches sont menées



principalement au sein des laboratoires Trigone ou Didactique-Imag, en Europe au Tecfa de Genève (Pierre Dillenbourg), au LKL de Londres (Richard Noss) ainsi qu'à travers le projet Kaleidoscope et aux Etats-Unis par le SRI et le CALT de Jeremy Roschelle, ancien élève de Jérôme Bruner. Les interfaces graphiques proposées sont très similaires à celles présentées au paragraphe précédent, à la différence près que les enfants ne sont pas là pour découvrir comment programmer mais au contraire, sont là pour apprendre (on les appelle d'ailleurs « apprenants ») ce que des adultes ont programmé pour eux. Cette tension n'est pas nouvelle, Papert posait déjà la question du « shaping » il y a quarante ans :

« Should the computer program the kid, or should the kid program the computer? » (Papert, 1968).

Il y a également beaucoup de recherches pédagogiques nouvelles dans une logique plus exploratoire et descriptive, comme les approches anthropologiques qui visent à décrire l'interaction entre les enfants et les mondes numériques (blogs, messagerie instantanée, pages persos, forums, etc). En France, les travaux des chercheurs de l'OMNSH (Observatoire des mondes numériques en sciences humaines) ont montré de manière interdisciplinaire comment les enfants et les adolescents conçoivent ces espaces comme un lieu culturel (de production sémio-esthétique) et de communication. On n'interagit pas que pour apprendre, mais surtout pour créer et partager ses créations avec des semblables. Aux Etats-Unis, les travaux d'Amy Bruckman, d'Allison Druin ou encore du groupe d'ethnographie de la jeunesse de l'université de Berkeley (Digital Youth Project) et notamment Mimi Ito, Danah Boyd ou Matteo Bittanti, confirment ces observations. D'ailleurs, ces communautés virtuelles sont désormais centrées autour d'un nouveau média, le jeu.

## Jeux vidéo

Apparu avant l'ordinateur interactif (Tennis for two, 1958), le jeu vidéo a néanmoins suivi l'évolution de l'informatique et représenté pour les enfants une interface technologique majeure dans les dernières décennies. La première console vidéo apparaît en 1972, grâce à Ralph H. Baer (Magnavox Odyssey). Son succès est mitigé mais quelques mois plus tard, avec la commercialisation du jeu Pong, conçu par Atari, ce dispositif devient un phénomène mondial. Malgré deux crashes en 1977 et 1983, l'industrie du jeu vidéo écoulera des millions de consoles dans le monde. Peu de recherches concernant les jeux vidéo sont disponibles car elles sont privées en règle générale. Strommen étudie cependant la manette de la console NES de Nintendo (Strommen et al, 1992) et montrent comme le décrivent les chercheurs en IHM pour les adultes, que l'être humain est réduit à un doigt, qui doit cliquer le plus vite possible. Les recherches dans ce domaine sont d'ailleurs très souvent psychologiques ou plus récemment, d'inspirations ethnographiques. Cependant, certains auteurs comme Kafai (Video game designs by girls and boys, 1998) ont proposé des systèmes pour que les enfants fabriquent eux-mêmes leurs jeux vidéos et leurs histoires. Ce domaine est très riche depuis les cinq dernières années, notamment au sein de la communauté IDC (Interaction Design and Children). Deux approches s'opposent en général : soit les enfants fabriquent un espace narratif à partir de règles et de choix préexistants (approche de la fiction interactive ou IF), soit ils fabriquent la narration ou le mécanisme ludique (approche programmation). Dans la première approche, les enfants sont des agents sélectifs et dans la deuxième, des créateurs. Notons que ces deux profils se retrouvent dans les mondes virtuels non issus de la recherche où les profils de créateurs fournissent des collections d'artefacts aux profils utilisateurs qui consomment ces créations, c'est l'économie du crafting (Beau, 2007).

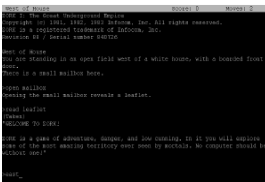


Illustration 8: Zork: un *mud* (multi-user dungeon)



Illustration 9: Sims



Illustration 10: Dark Age of the Camelot

L'interaction entre les enfants et les interfaces graphiques a donc évolué au rythme des technologies matérielles et logicielles, incitant les enfants à programmer, apprendre ou jouer, certaines même combinant les trois, comme celle du « playful learning » (Resnick, 2003). Nous allons à présent parcourir une deuxième classe d'interfaces enfant-machine, issue également des recherches pionnières des années soixante, les interfaces tangibles.

### 1.2.3. Les interfaces tangibles

Ce terme est apparu seulement en 1997 (Tangible Bits, Ishii, Ullmer), mais s'applique également aux interfaces qui l'ont précédé. Il désigne des interfaces qui permettent aux utilisateurs d'interagir avec de l'information par une médiation physique. Les interfaces graphiques, bien que manipulées avec des dispositifs physiques ne rentrent pas dans cette catégorie car les pixels de l'écran ne sont pas physiques. Ishii parle d'ailleurs de bits d'information physiques par opposition à ceux qui sont médiatisés par les interfaces graphiques. Par extension, toutes les interfaces qui ne proposent pas en même temps un écran, des icônes, une souris et un pointeur (WIMP : windows, icon, mouse, pointer) peuvent être appelées tangibles. Nous allons maintenant examiner différents types d'interfaces tangibles pour enfants : les jeux de construction, les objets permettant de programmer physiquement, les environnements augmentés, les dispositifs multimédias, les bijoux et vêtements électroniques et enfin, les robots.

#### Jeux de construction



Illustration 11: Active Cubes

Dans la lignée des « gifts » de Froebel et des objets du kit Montessori, de nombreux kits numériques proposent de rendre dynamique l'activité de construction avec des blocs ou d'autres éléments. Après les Technics, Lego a présenté Mindstorms, un kit de construction programmable, issu de recherches conjointes avec le LLK (le terme provient de Seymour Papert, titre de son livre paru en 1980). Dans le même genre que les classiques Linka, Lego propose maintenant des kits de construction où chaque pièce peut être commandée sur un site web par les enfants, voire, dessinée par les enfants et imprimée en 3D (fabriquée par une machine de prototypage rapide) dans une usine danoise puis envoyée à domicile. La société danoise travaille également sur l'élaboration d'un monde virtuel similaire à Sims ou Second Life entièrement dédié à leurs univers, dans l'optique future de lier les constructions physiques des enfants et ce jeu massivement multijoueurs aux couleurs de leur marque. De nombreux chercheurs ont également travaillé sur le concept de cubes pour enfants tangibles, intégrant de nombreux capteurs et effecteurs ou en essayant de synchroniser les constructions faites avec un kit et un ordinateur. Issus des recherches pionnières de l'architecte anglais John Frazer dans les années soixante-dix, les Cognitive Cubes (Sutphen, Sharlin, 1998) permettent de créer physiquement des mondes virtuels en agençant des cubes ou des plans sur une grille. Ils ont servi de modèles pour la création des Active Cubes (Kitamura, 2000). Ces cubes permettent de fabriquer des protoformes générant des histoires ou permettant de sélectionner des items par association libre. Doués d'un mécanisme de retour haptique, ils représentent l'information en vibrant, mais également en changeant de couleur et en produisant du son.

## Programmation

Comme nous l'avons vu plus haut, le système Logo n'était pas constitué simplement d'une interface graphique, il possédait également des interfaces tangibles comme les différentes itérations de la tortue radio-commandée qui permettait à des enfants de tracer des dessins dans le monde physique. Pilotées par des programmes sur l'ordinateur, ces tortues cousines des BEAM turtles de William Gray Walter pouvaient également être programmées physiquement à l'aide des interfaces développées par Radia Perlman.

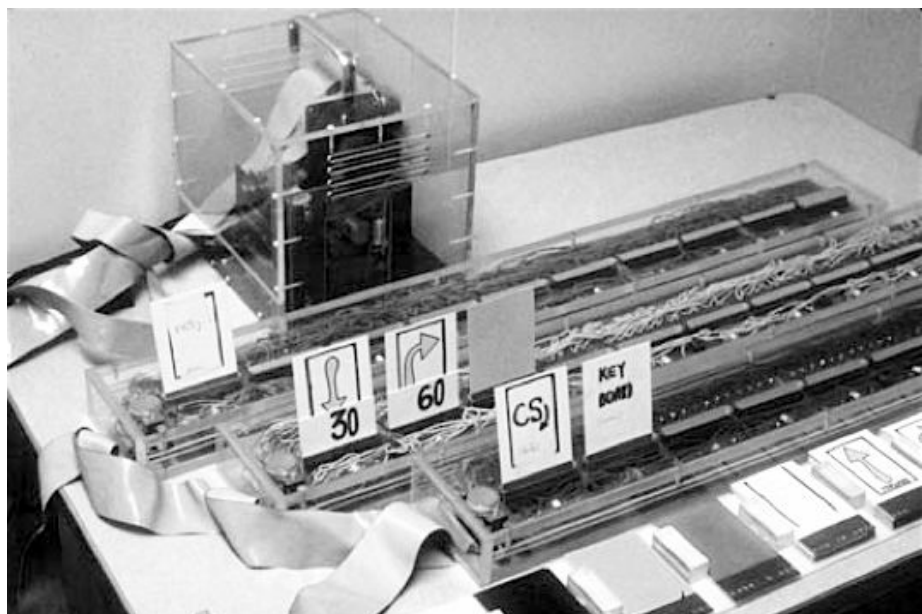


Illustration 12: TORTIS

Le système TORTIS (Toddler's Own Recursive Turtle Interpreter System, 1975) permettait en effet aux enfants de créer des programmes à l'aide de cartes tangibles disposées dans des emplacements prévus à cet effet (le système portait également le surnom de « slot machine »). Notons que ce système est reconnu par tous les chercheurs comme étant une des premières interfaces de programmation physique. Plus tard, les Algo Blocks (Kato, 1993), les LogoBlocks (Begel, 1996), Cricket (Martin, 1996), Tangible Programming Bricks (Mc Nerney, 1998), Electronic Blocks (Wyeth & Wyeth, 2001) ou System Blocks (Zuckerman, 2003) reproduiront ce type de programmation où l'on peut littéralement manipuler le code. Récemment, la firme canadienne Pico a lancé ces Pico Crickets, cousins des crickets du LLK. Ce kit comporte un bloc avec un microcontrôleur programmable dans un logiciel nommé Pico blocks. Le logiciel Scratch, décrit plus haut, possède lui aussi une carte à microcontrôleur passive, la ScratchBoard, permettant d'interfacer des capteurs simples (lumière, microphone, résistances variables) avec des animations ou des jeux vidéos fabriqués par les enfants. Dans le même esprit, le kit World Stethoscope d'Alan Kay permet de s'interfacer avec Squeak, dans le but de réaliser des mesures scientifiques à partir de données du monde réel.

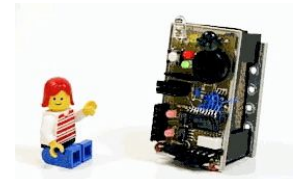


Illustration 13: Cricket Board



Illustration 14: TORTIS

## Environnements augmentés

Dans les années quatre-vingt-dix, certains chercheurs ont voulu réaliser des systèmes s'affranchissant du paradigme classique de l'ordinateur notamment en terme de surface ou de volume et créer des environnements informatisés pour permettre aux enfants de créer ou de communiquer. Influencé par l'essor des Mediaspaces, espaces de communication vidéo médiatisés par ordinateur, Hiroshi Ishii présenta un prototype non-fonctionnel de mur écran vidéo permettant à des enfants de dessiner à distance. Le même scénario sera présenté de nouveau par Philips quelques années plus tard. En 1997, le projet BabySense (Weinberg, Fletcher, Gan) développe un environnement ludique et exploratoire pour des bébés.



Illustration 15: Baby Sense

Un tapis capacitif déclenche des évènements sur un portique lumineux et est également relié par ondes radio à des objets dans le salon des parents qui bougent en fonction des mouvements du bébé. Une version fonctionne également à distance par Internet pour permettre aux grands-parents de rester en contact avec leurs petits-enfants.



Illustration 16: Baby Sense

Une étudiante de Ishii, Kimiko Riokai présentera un projet de tapis de jeu augmenté (StoryMat, 1999) permettant aux enfants de raconter des histoires en interagissant avec différents éléments de jeu sur le tapis ou avec des livres augmentés (AnimalBlocks, 2002). Le domaine des jeux vidéo expérimentaux a également généré de nombreux jeux dits en réalité augmentée ou en réalité mixte comme ScorpionDrome (Metaxas, Markopoulos, 2005) mélangeant objets physiques et projection vidéo. Les jeux dits pervasifs ou géolocalisés utilisent des dispositifs mobiles trackés par GPS ou Wifi (triangulation) pour permettre aux joueurs de transformer le monde réel en un terrain de jeu (Mogi-Mogi, 2003, CatchBob, 2007).



Illustration 17: Baby Sense

En parallèle à ces projets individuels, des initiatives d'ampleur ont exploré les environnements augmentés pour enfants comme KidsRoom (Bobick, Intille, 1996), Stories (i3net, Starlab, 1998), Pogo (Esprit Project 29330, 2002), Equator (ESPRC, 2003) et Interliving (2004). Ce dernier projet, en collaboration avec l'INRIA, proposait notamment d'explorer les interfaces intergénérationnelles et a permis à des familles de différents pays d'être impliqués dans la création de dispositifs de communication tangibles. Parmi leurs créations, la StoryTable qui permet de stocker des petites histoires vidéos et de les rejouer en posant des lamelles de plastiques contenant des puces RFID, ou TokiTok, un dispositif permettant de relier deux murs à distance et permettre de faire toc-toc comme si on était de chaque côté du mur, invitant à une communication minimale et respectant la vie privée tout en développant des codes propres à chaque enfant.

## Dispositifs multimédia

Faire de la musique sur un ordinateur ne ressemble pas à ce que l'on peut ressentir avec un instrument physique, tangible par nature. Le laboratoire de recherches musicales et technologiques de Tod Machover a développé dès le milieu des années quatre-vingt dix un certain nombre d'instruments augmentés. Les instruments pour enfants de Gil Weinberg notamment (Musical PlayPen, 1999, Squeezables, 2001) permettent à une assemblée d'enfants de créer des rythmes et des mélodies et de se les échanger en temps réel. Le projet SoundGarten, créé en 2002 par Michael Wolf permet à de jeunes enfants d'enregistrer et de séquencer des petits bouts de sons de manière exploratoire. Dans le domaine audiovisuel, la table interactive d'Ali Mazalek (Tangible ViewPoints, 2005) permet à des enfants de faire du montage vidéo en déplaçant des pions sur une surface. Le projet Moving Pictures de Cati Vaucelle (Looking Out / Looking In, 2005) permet à des enfants de filmer à l'aide d'une caméra spéciale équipée d'un lecteur de jeton rfid. Chaque jeton tangible enregistre une séquence que l'on peut ensuite déposer dans un récipient spécial (un séquenceur vidéo) pour faire le montage. Tout comme le projet TVP, Moving Pictures transforme les séquences vidéo en un matériau tangible, qu'on peut manipuler sur une surface horizontale, facilitant ainsi la collaboration entre enfants. En assemblant des objets physiques, il est alors possible de réaliser un montage temporel des données mais également de réorganiser ces flux audiovisuels de manière très simple et intuitive.

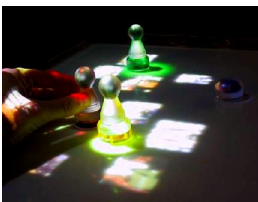


Illustration 18: Tangible Viewpoints



Illustration 19: Moving Pictures



Illustration 20: Play Pals

Un autre de ses projets appelé Playpals (Vaucelle, Bonnani, Lieberman, Zuckerman, 2006) consiste à relier deux poupées équipées de capteurs et de moteurs. Deux enfants peuvent jouer à distance tout en se parlant à l'aide d'un système audio synchronisé. Le fait de bouger une poupée actionne l'autre à distance, augmentant ainsi le jeu imaginaire par des actions physiques. Le projet I/O Brush de Kimiko Ryokai (Drawing with Everyday Objects as Ink, 2004, 2005) permet quant à lui de dessiner à l'aide d'un pinceau équipée d'une caméra. A la place de couleurs, ce sont des motifs issus du monde réel qui permettent de s'exprimer sur une surface interactive. Enfin, le projet JabberStamp (Raffle, Vaucelle, 2007) composé d'un micro et d'un tampon électronique, permet d'associer un son ou une histoire orale à une partie d'un dessin d'enfant.

## Bijoux et vêtements électroniques

Depuis la parution du livre Les nouveaux nomades (New Nomads, 2000) par Philips design, et les recherches pionnières de Barbara Barry (StoryBeads, 2000), un certain nombre de projets de recherche ont développé des bijoux et des vêtements tangibles. Philips a notamment proposé dans ce livre un vêtement très moderne incluant des micros, des caméras et des écrans dans les manches, permettant aux enfants de communiquer de manière synchrone et asynchrone. Barbara Barry propose un système de narration transactionnel (transactional storytelling), qui considère la communication technologique comme une économie symbolique. Les perles (beads) électroniques sont des récipients contenant des histoires que des enfants peuvent s'échanger et manifester ainsi l'histoire du groupe. Ces travaux ont pour origine une série d'atelier autour du concept de Digital Manipulatives (Resnick et al, 1998) où des enfants ont fabriqué différents types d'objets à porter avec soi comme des colliers électroniques mais également des balles rebondissantes qui changent de couleur en fonction de l'accélération. Resnick rapporte notamment comment le fait d'intégrer des propriétés dynamiques aux objets changent leur nature aux yeux des enfants, ils deviennent littéralement animés, pourvus d'une âme. À la différence d'un objet statique, ces objets sont alors identifiés à des sortes d'être doués d'intentions et d'états affectifs. Les travaux d'Edith Ackermann décrivent également ce genre de manifestations (Playthings that do things, 2005). D'autres perles électroniques seront développées par la suite comme les CodaChromes (Dekoli, 2004) ou encore les BabbleBauble (Sylvan, 2005).



Illustration 21: New Nomads



Illustration 22: math handbags

Les travaux de Leah Buechley (QuiltSnaps, 2005, A construction kit for electronic textiles, 2006, Towards a Curriculum for Electronic Textiles in the High School, 2007) permettront aux enfants de fabriquer eux-mêmes leurs circuits électroniques textiles ou avec des bijoux grâce à un kit de construction textile (Nous reparlerons au chapitre 3.2 de ce kit que nous avons utilisé pour un atelier). Pour Buechley, les technologies portées (wearables) sont une médiation pédagogique. En proposant aux enfants de fabriquer les objets de leur quotidien, ils ont la motivation nécessaire pour comprendre des structures complexes informant leurs créations. Par exemple, afin de concevoir ces sacs, des jeunes filles doivent maîtriser les équations mathématiques qui pilotent une machine à découper au laser qui permettra de fabriquer cette forme sinusoïdale (illustration). Grâce à un circuit électronique textile, monté à même le tissu, les adolescents peuvent ensuite programmer des comportements dynamiques directement sur leurs vêtements.

## Robots



Illustration 23: Logo Turtle

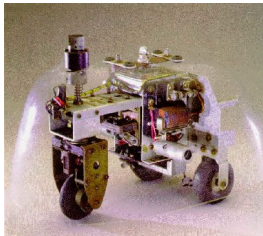


Illustration 24: Tortoise

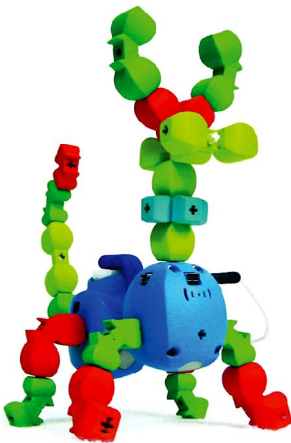
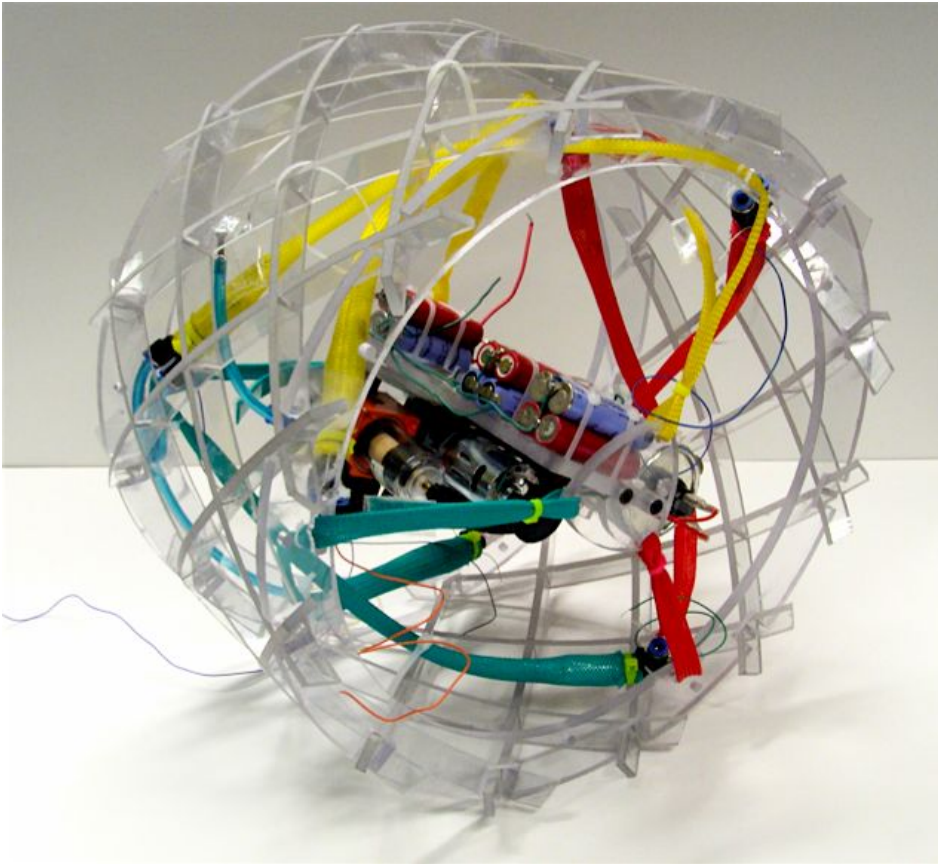


Illustration 25: Topobo

Le terme « robot » est apparu en 1920 dans la pièce R.U.R de l'écrivain tchèque Karel Čapek (robota signifie travailler en tchèque). Un robot est défini comme « un système automatique mécanisé capable d'effectuer une ou plusieurs tâches, dans un environnement donné, de manière autonome, par l'exécution d'un programme ». Ce sont ces contraintes d'environnement et d'autonomie qui le différencie d'un simple ordinateur, ces machines étant très souvent autonomes en terme d'énergie et de locomotion. Les premiers robots pour enfants datent des années cinquante comme les tortues de William Grey Walter. Ce neurophysiologiste américain, pionnier de la cybernétique, conçut ses premiers robots autonomes à la fin des années quarante (An Electromechanical Animal, 1950). Surnommées tortues terrestres (tortoisés ou testudinidés en français) à cause de leur lenteur, ces robots étaient phototropes, ils avaient la capacité de s'orienter en fonction de sources lumineuses. Dans une expérience célèbre, il dirigea une source lumineuse sur une de ses tortues qui, placée devant un miroir, commença à s'agiter, par un mécanisme de feedback, signe pour Grey de l'évidence d'une conscience émergente chez ses robots. Papert, très au fait des recherches en cybernétique, choisit donc naturellement d'appeler les robots Lego par le nom de tortues. La première, nommée Irving, était une sorte de gros dispositif à trois roues (comme les tortoisés de Grey Walter), équipée d'un crayon pour écrire sur des feuilles au sol et radiocommandée depuis un ordinateur ou un panneau de commande électromécanique, activé par les enfants. À la différence des tortoisés purement analogiques et réactives (BEAM), les robots tortoisés de Papert étaient programmés, leur comportement était écrit à l'avance. Le projet CurlyBot (Frei, 1999) fusionnera ces deux approches, permettant de programmer des robots tortoisés de manière réactive, par manipulation directe, gestuelle. C'est cette approche que reprendront en la complexifiant Hayes Raffle et Amanda Parkes pour créer Topobo (Raffle, Parkes, 2004), le premier jeu de construction robotique programmable directement par action physique, tangible. Ce système très puissant et très simple permet de générer des créatures autonomes aux comportements réactifs et programmés par action gestuelle directe. En faisant bouger une articulation de cette créature on informe ainsi un mouvement qui se répète dans le temps, il n'y a pas besoin de programmer avec du code dans une interface graphique, toute l'interaction est située directement sur les éléments du robot. Toutes les pièces de ce kit sont fabriquées selon le rapport du nombre d'or, informant des créatures qui ressemblent à des organismes vivants. Suivant la même logique de programmation directe, les robots RoBall (Michaud, 2001) ou Wheel SpaceExplorer (Seitinger, 2006) assistent les enfants dans leur exploration du monde physique.



*Illustration 26: Wheel Space Explorer*

Dérivé des travaux de la Nasa (Mars Rover) le Wheel Space Explorer est une véritable externalisation corporelle mobile, un corps sans-fil, qui utilise un principe de mini-pompes à air comprimé très novateur, garantissant une grande autonomie énergétique et une mobilité hors-pair. La firme française Wany, installée en Asie, mais d'origine montpelliéraine, fabrique aussi des robots et des toolkits robotiques. Parmi ses produits, les Zig Zag Zog proposent aux enfants de jouer au chat et à la souris avec un petit robot autonome. Un peu plus évoluée, la Lucky LadyBug, développée par Nadine Piat au Lab de Besançon et commercialisée par Smoby est un bébé coccinelle qui suit sa mère à l'aide de capteurs visuels – des télémètres infrarouges – se met à pleurer s'il la perd de vue et la voit alors revenir vers lui. Ces machines suivent les enfants dans leurs déplacements comme les oies cendrées suivaient Konrad Lorenz : elles signent le commencement des recherches en éthologie enfants-robots. Cette approche comportementale ou techno-développementale est d'ailleurs utilisée par les chercheurs en robotique épigénétique comme Kerstin Dautenhahn qui a mené de nombreuses études à propos de l'interaction enfant-robots, notamment dans le cas d'enfants autistes (Aurora, 1997, 2006).

Une autre branche de la robotique pour enfants est constituée des machines anthropomorphiques (anthrobotics), qui consiste à fabriquer des machines qui doivent ressembler à des êtres humains, et douées de compétences proches des humains, comme celle du langage. La poupée géante Noobie (Druin, 1987) possède un corps et des membres qui remplacent la souris et le clavier, incitant les enfants à naviguer dans des histoires par une communication gestuelle. Le



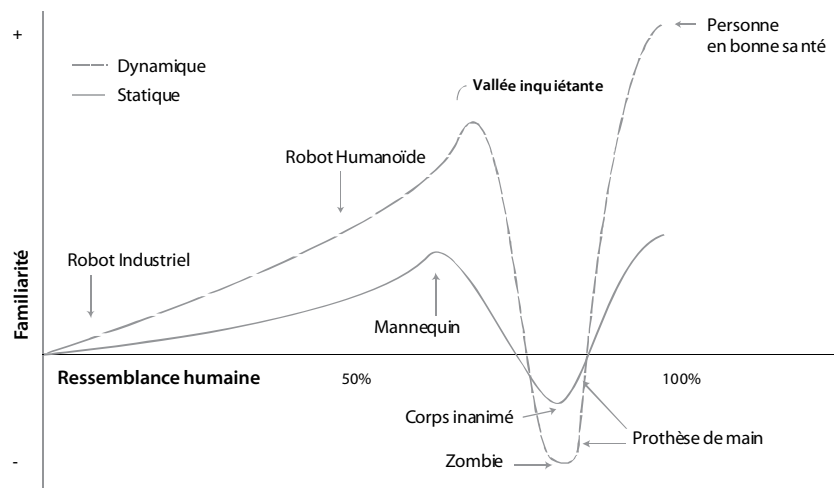
*Illustration 27: Wheel Space Explorer*



même laboratoire développera par la suite un robot nommé JesterBot (PETS, 1999) capable de représenter des émotions dans un cadre de co-construction narrative avec des enfants, notamment autistes. Le projet eMuu (Bartneck, 2001) ou les nombreux robots créés par Hideki Kozima (Infanoid, Keepon) cherchent tous à caractériser le phénomène d'attention conjointe entre des enfants et des robots, afin entre autre de faire progresser la recherche sur l'autisme.

Illustration 28: *Infanoid*Illustration 29: *Infanoid*

Parallèlement à ces recherches universitaires, de nombreux robots humanoïdes sont fabriqués à destination des enfants, comme Nabaztag (Violet, 2004), Nuvo et Pino (Zmp, 2005), Robosapien (Tilden, 2005), Papero (Nec, 2005), Qrio (Sony, 2006), Rogun (Korntech, 2007), NeCoRo (Omron, 2007), ApriAlpha (Toshiba, 2007) ou Probo (Microsoft, 2007). Ce sont des machines qui peuvent bouger mais ne sont pas toutes autonomes. Elles présentent différents niveaux d'interaction avec les enfants qui en général ne peuvent pas les programmer, ils peuvent simplement explorer les différents scénarios conçus par les concepteurs. Notons que toutes ces machines sont destinées à interagir avec des enfants, pas à être des enfants. En 1970, Masahiro Mori distinguait une frontière entre l'humanoïde imparfait et le robot simulacre qu'il nomme la vallée inquiétante (the uncanny valley, en japonais, Bukimi No Tani). Ce concept, largement inspiré par les travaux du psychologue Ernst Jentsch (La psychologie de l'étrange, 1906) et sur la notion Freudienne du « Unheimliche » (l'inquiétante étrangeté, 1919 – réponse directe à Jentsch) évoque une zone variable qui différencie l'homme de la machine, une sorte de test de turing des affordances robotiques.



Certains chercheurs, en grande majorité au Japon, fabriquent des machines étrangement inquiétantes, dont une grande partie sont des machines-enfants ou des enfants-machines. Le projet Child Robot with Biomimetic-Body (CB2, 2007) mené par le professeur Minoru Asafaa a produit un enfant de 33 kg, muni d'une cinquantaine d'actuateurs électropneumatiques (pour des mouvements réalistes) mais qui a besoin d'un humain pour tenir debout (pour compléter l'expérience). Nul doute que cette machine se trouve en plein dans la vallée inquiétante, comme le prouvent les réactions du public Américain qui qualifient cette machine de monstre (freaky, creepy).



Illustration 30: Robot Enfant CB2

À l'inverse, des laboratoires privés japonais, proposent de fabriquer des exosquelettes robotiques électropneumatiques pour les enfants (Samsung, 2007). Une telle technologie permettrait d'augmenter les performances physiologiques de leur corps et les faire courir plus vite, soulever plus de poids, comme dans les jeux vidéos.

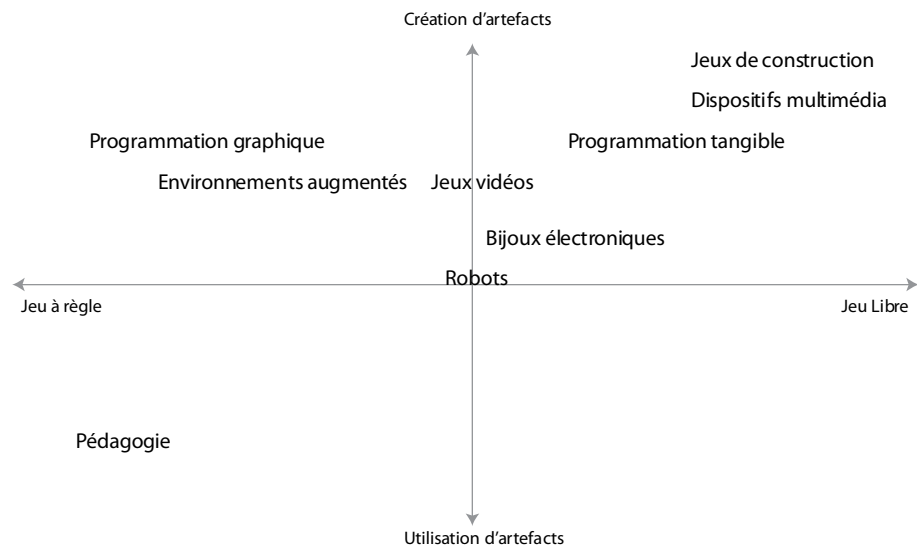
Le domaine de l'Interaction Enfant-Machine regroupe donc une très grande diversité de travaux que ce soit dans le contexte de l'interaction graphique ou tangible. Nous allons maintenant nous intéresser à une classe particulière de dispositifs interactifs que nous avons choisi pour leurs propriétés qui se prêtent à notre étude, les technologies créatives.

#### 1.2.4. Les technologies créatives

Si l'on reprend les différentes catégories et sous catégories présentées ci-dessus, on peut établir un tableau manifestant les dimensions régulées ou libres (au sens de Winnicott) de ces interfaces ainsi que leur potentiel de génération d'artefacts, c'est-à-dire de nouvelles structures ou objets.



Illustration 31:  
Exosquelette robotique



Selon cette classification, toutes les interfaces tangibles permettent de créer des artefacts. Les interfaces graphiques de type pédagogiques sont plus orientées vers l'organisation d'un savoir préexistant, dans un système régulé. Le cas des jeux vidéos est, bien entendu, un peu délicat puisqu'un grand nombre d'entre eux proposent seulement de suivre une narration imposée au départ. Cependant, le développement phénoménal des jeux en ligne et des mondes numériques de communication, permettent de créer de nouveaux codes, de nouveaux objets (Beau, 2007), ce qui leur donne une tendance plus proche de la création. Il convient maintenant de comprendre ce que nous entendons par technologies créatives et comprendre quelles sont, parmi les interfaces que nous venons de décrire, celles qui correspondent à cette définition.

Les définitions classiques de la créativité sont nombreuses et parfois contradictoires. Nous nous référerons à celles préconisées par le journal international *Creativity Research Journal*, créé en 1988 par un comité interdisciplinaire. Nous en retiendrons deux :

« La créativité est l'aptitude à produire à la fois de manière nouvelle et appropriée » Sternberg, 1999.

« La créativité est l'aptitude à délivrer des idées ou des artefacts nouveaux, surprenants et riches » Boden, 2004.

Ces deux définitions insistent donc sur le fait que la créativité est liée à l'apparition de la nouveauté (matérielle ou non) et montrent également qu'elle est plus une aptitude, un comportement humain qu'un ensemble de compétences particulières.

Dans le contexte technologique, peu de définitions ont été proposées, cependant en 1998, Ben Schneiderman proposa un modèle, nommé Genex (IJHCI, 1998) que nous retiendrons également pour ce mémoire. Selon lui, la créativité technologique est définie par quatre étapes : Recueillir, Associer, Créer, Partager (Collect, Relate, Create, Donate). Une interface technologique créative doit remplir ces quatre conditions. Knörig (An investigation into the role of the

human body in creativity and its application to HCI, 2006) a compilé les définitions du Creativity Research Journal et celle de Schneiderman. Nous reprenons ici son tableau pour élaborer ensuite notre définition des IEM créatives.

	Préparation	Génération	Evaluation	Elaboration	Partage
Wallas Poincaré	Préparation	Incubation Illumination	Vérification		
Osborn	Recherche de faits	Recherche d'idées	Evaluation des idées		
Amabile	Présentation du problème	Génération de réponses	Validation des réponses	Développement d'un plan d'implémentation	
Couger	Définition des opportunités et du problème	Génération d'idées	Evaluation Hiérarchisation des idées		
Csikszentmihalyi	Préparation	Incubation Illumination	Evaluation	Elaboration	
Schneiderman	Recueil	Initiation Association	Révision	Evaluation	Partage

L'analyse de ce tableau manifeste des différences entre la conception technologique du concept de créativité et celle classiquement utilisée dans la littérature. Premièrement, la définition de Schneiderman diffère sur la notion de préparation, qui s'apparente plus à une exploration qu'à une problématisation. La phase générative est très subjective dans la littérature alors que la créativité technologique semble être plus associative, sans vision particulièrement centrée sur l'individu. Les phases d'évaluation et d'élaboration sont assez similaires, même si la vision technologique semble être plus itérative, dynamique. Enfin, Schneiderman est le seul à insister sur les aspects de partage des artefacts et des idées.

Dans le cas des enfants, nous pensons que les aspects formels des définitions classiques sur la créativité (notamment celles qui viennent du monde scientifique comme Poincaré) peuvent être remplacés par des approches plus libres. Nous utiliserons par exemple le terme exploration et non problématisation. De même, nous ne parlerons pas d'évaluation, un concept complexe à manier surtout pour les très jeunes enfants, nous lui préférons celui d'itération, décrivant un processus de productions dynamique. Nous pouvons à présent présenter notre définition des technologies créatives :

Les technologies créatives sont des interfaces permettant l'exploration, les associations, les itérations et le partage d'idées et d'artefacts.

Nous allons maintenant classer les différents types d'interfaces exposées plus haut selon cette nouvelle définition. Nous ne retiendrons évidemment que celles qui permettent la création d'artefacts, la nouveauté, comme le précisent Sternberg et Boden. Ce tableau met en perspective les interfaces graphiques et

tangibles dans le cadre du modèle Exploration, Association, Iteration, Partage. Plus les zones sont sombres, plus elles sont appropriées.

	Explorer	Associer	Itérer	Partager
<b>Interfaces Graphiques</b>				
Programmation graphique	████████	██████	████████	████████
Jeux vidéo	████████	████████	██████	████████
<b>Interfaces Tangibles</b>				
Jeux de construction	████████	██████	██████	██████
Dispositifs multimedia	████████	████████	██████	██████
Programmation tangible	██████	██████	██████	██████
Environnements augmentés	██████	██████	██████	██████
Bijoux électroniques	██████	██████	██████	████████
Robots	██████	██████	██████	██████

En parcourant rapidement ce tableau, on se rend compte que les interfaces graphiques semblent être des technologies créatives performantes. Il faut dire que leurs nombreux développements depuis des dizaines d'années leur donnent des avantages (pour le partage par exemple). Les interfaces tangibles qui ont été développées jusqu'à présent ne mettaient pas les aspects réseaux en avant, notamment parce que relier électroniquement des objets tangibles à un réseau n'est pas une chose simple. Les aspects itératifs ne sont pas non plus en la faveur des interfaces tangibles qui souffrent de leur spécificité physique. Dans le monde des interfaces graphiques, on peut copier-coller, recommencer, revenir en arrière. Dans le monde physique, c'est plus difficile. Notons que de nombreux travaux récents essaient néanmoins de transférer ces propriétés aux interfaces tangibles (matériaux à mémoire de forme, auto-organisation et répllication physique).

Nous pouvons donc maintenant dire que *les interfaces graphiques et les interfaces tangibles sont des technologies créatives*. Nous les choisissons donc comme terrain d'étude empirique dans le chapitre 3. Nous allons maintenant détailler pourquoi nous avons choisi les technologies créatives comme terrain d'étude.

### 1.3. Pourquoi étudier les technologies créatives ?

Nos travaux cherchent à manifester, de manière émergente, comment les enfants interagissent avec les machines. Le terme machine implique un grand nombre de terrains possibles comme l'éducation, la communication, ou encore la créativité. Outre le fait que les terrains éducatifs et communicationnels ont déjà été bien traités dans la littérature (Druin, 2000) (Bruckman, 2006), nous avons choisi ce dernier pour trois raisons. La créativité est un mécanisme fondamental pour l'innovation, de plus, le jeu libre (créatif) est un phénomène évolutionniste, enfin,

son caractère dynamique est un atout fondamental pour la manifestation de structures émergentes, au cœur de nos recherches.

### **La créativité est fondamentale pour l'innovation**

Dans le rapport intitulé *Creativity Support Tools* (CST, 2005), la NSF (National Science Foundation) indique que le développement des technologies créatives est un enjeu fondamental pour le développement de la pensée scientifique et artistique, notamment en ce qui concerne les enfants et les jeunes adultes. De nombreux chercheurs ont également montré que la créativité est à l'origine de l'innovation dans de nombreux domaines comme l'organisation (Senge, 1993), la culture et les arts (Gardner, 1994), la psychologie (Finke, 1995), l'économie (Von Hippel, 1998, 2005), le design (Moggridge, 2007) ou les technologies (Resnick, 2007). Comprendre l'interaction entre les enfants et les technologies créatives permet d'explorer les racines de l'innovation notamment en spécifiant si ces dispositifs sont des outils pour produire ou pour penser créativement. De nombreux auteurs ont également montré que l'interaction créative est un des mécanismes fondamentaux de la construction des individus, notamment en ce qui concerne son développement biologique et social.

### **Le jeu libre, créatif est un phénomène évolutionniste**

Selon Brian Sutton-Smith, le jeu libre, non-régulé, est un phénomène évolutionniste<sup>7</sup>. Cette vision du jeu libre contraste avec les théories ludiques classiques (Groos, 1898), utilitaristes et déterministes. Elle se rapproche plus des approches culturelles (Huizinga, 1950), développementales (Piaget, 1962) ou psychanalytiques (Winnicott, 1973). Sutton-Smith fonde d'ailleurs une très grande partie de son argumentaire sur les travaux de S.J. Gould, manifestant les corrélations entre les mécanismes à l'œuvre lors du jeu créatif et les structures de l'évolution biologique. Nous retiendrons que la créativité ludique, tout particulièrement dans le domaine des technologies (Resnick, 2007), est un phénomène dynamique, un processus en évolution. Cette caractéristique nous intéresse particulièrement puisqu'elle facilite l'observation des patterns et des invariants.

### **Un terrain dynamique approprié pour manifester des patterns**

Une des spécificités des technologies créatives réside dans la nature itérative des productions qu'elles transforment ou délivrent. Les artefacts technologiques, qu'ils soient graphiques, sonores, ou tangibles sont fréquemment des objets révisés, évoluant au cours du temps et des contraintes de production. Chaque étape est alors figée sous forme d'une trace (dessin, objet) qui devient alors une archive, un indice, pour son créateur ainsi que pour les chercheurs qui étudient ce terrain. Grâce à l'étude des variations des artefacts, dans l'espace, le temps et le champ social, nous pouvons donc caractériser simplement les dimensions de l'interaction entre les enfants et les machines, dans une perspective émergente, inductive et située. Nous allons maintenant détailler la méthode avec laquelle nous entreprendrons cet examen systématique, notre stratégie de recherche.

---

<sup>7</sup> "Play is the activity through which human adaptation takes place".  
(The Ambiguity of Play, Brian Sutton-Smith, 1997)

---

## 1.4. Stratégie de recherche pour l'étude des technologies créatives

---

Cette thèse examine, dans une perspective qualitative comment les enfants interagissent avec des machines, notamment lors des activités non régulées, comme le jeu libre et les pratiques créatives. Ce travail nous informe sur la manière dont l'interaction entre les enfants et les technologies créatives est un phénomène d'*exaptation*. Elle propose enfin des éléments à prendre en compte pour la conception et l'étude de systèmes d'interaction enfant-machine sur le plan conceptuel et technologique. Afin de comprendre comment les enfants interagissent avec des machines, il semble nécessaire de traiter cette question en utilisant un référentiel théorique approprié. Notons tout d'abord que les chercheurs dans ce domaine ne s'accordent pas sur les approches, hypothèses et méthodes de recherche pour aborder la question. Il existe en effet une myriade de perspectives sur l'interaction entre un être humain et une machine.

Aux théories centrées sur l'individu et la prédiction de son action dans le domaine comportemental, cognitif ou moteur, se sont succédé des approches plus générales, intégrant le contexte, les pratiques sociales et les situations d'usages. Cette diversité se traduit également dans les champs scientifiques et épistémologiques utilisés dans ces recherches. Des mathématiques formelles aux sciences sociales, la communauté scientifique a exploré de nombreuses perspectives pour modéliser et prédire l'interaction entre un individu et une machine que nous détaillerons dans le chapitre suivant.

Certains chercheurs ont également utilisé des méthodes mixtes de recherche, combinant différents aspects théoriques. Récemment, sous l'influence des sciences de la complexité, des méthodes interdisciplinaires, plus exploratoires et moins prédictives, ont montré qu'il est possible de cumuler les apports théoriques et les méthodes provenant de plusieurs disciplines, grâce à une ontologie systématique et rigoureuse. Cette approche théorique et empirique est adaptée à notre terrain puisqu'elle permet d'étudier le caractère non déterministe et dynamique, propre au jeu libre et aux pratiques créatives des enfants dans le contexte des technologies d'interaction.

Nous élaborerons un cadre de recherche suivant la méthode de triangulation (Mackay et al, 1997) qui intègre les différentes perspectives interdisciplinaires nécessaires pour l'étude, la modélisation et la génération de systèmes d'interactions, notamment en intégrant les apports des sciences sociales, de l'IHM et du design. Après avoir dégagé les structures de l'interaction enfant-machine par l'analyse qualitative systématique de situations créatives, grâce à la méthodologie de la Grounded Theory, nous présenterons nos observations sous forme de schéma pour caractériser l'influence réciproque des propriétés et des dimensions conceptuelles de ce phénomène, notamment sous forme de codage ouvert, axial et sélectif des données.

Nous montrerons alors que l'interaction enfant-machine présente des caractéristiques *exaptives* et présenterons les enjeux de cette découverte pour l'étude de l'interaction enfant-machine. Plus précisément, nous examinerons l'intérêt d'étudier l'exaptation machinique dans une perspective réflexive, c'est-à-dire par la médiation de données recueillies par les enfants eux-mêmes, et explorées de manière conjointe avec des chercheurs.

Nous appelons ce cadre d'observation *l'épistémologie créative*, nous en présenterons les fondations et les techniques. Cette approche est fondée sur l'observation et l'exploration de données qualitatives (sonores, visuelles, sensorielles) par les acteurs du terrain, ici, des enfants et leur présentation sélective à des chercheurs. Nous introduirons alors différentes classes d'outils d'observation et d'exploration permettant le contrôle de la capture et de l'analyse de flux audiovisuels grâce aux mêmes techniques d'interaction. Enfin, nous présenterons une boîte à outils appelée EXAPTIVE, dont le but est de faciliter la conception et le prototypage physique de ce type d'outils par les chercheurs, les designers, les éducateurs, les parents et également par les enfants.

## 1.5. Structure de ce mémoire

---

L'introduction qui précède a présenté les différentes contributions décrites dans le corps de cette dissertation : la mise en évidence au chapitre 3 des dimensions conceptuelles et des propriétés exaptives de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives, sa caractérisation et les implications pour l'IEM au chapitre 4, ainsi que la présentation d'une méthode et d'outils pour comprendre l'exaptation technologique au chapitre 5.

Le chapitre 2 présentera le cadre théorique général de cette dissertation, notamment comment intégrer différentes perspectives de recherches, à la fois empiriques, méthodologiques et technologiques. Nous présenterons dans ce chapitre le cadre que nous avons retenu, appelé triangulation<sup>8</sup> (Mackay & al, 1997) qui permet d'effectuer une recherche interdisciplinaire articulant les sciences sociales, l'IHM, et le design.

Le chapitre 6 conclura en revenant sur les contributions empiriques, théoriques, méthodologiques et technologiques de ce travail de thèse. Nous présenterons également les limites de cette recherche ainsi que les implications futures pour l'IEM, pour le design et pour les enfants.

---

<sup>8</sup>We argue that triangulation across scientific and design disciplines is more likely to be beneficial, especially in interdisciplinary fields such as HCI. By triangulating across the scientific and design disciplines that compose HCI, we can increase the validity of our research results and make them more useful to real-world problems. (Mackay, Fayard, 1997).



---

## 1.6. Publications

---

La majorité des travaux présentés dans cette thèse ont été publiés dans des conférences internationales avec comité de lecture. Ci-dessous, une liste de publications dérivée de ces travaux :

### Papiers longs:

J-B. Labrune & W. Mackay. **Telebeads**: Social Network Mnemonics for Teenagers. In IDC 2006 (Interaction Design and Children), Tampere, Finland, 2006.

J-B. Labrune & W. Mackay. **Tangicam**: Exploring observation tools for children. In IDC 2005 (Interaction Design and Children), Boulder, CO, USA, 2005.

### Papiers Courts:

J-B. Labrune & W. Mackay. **Sketchcam**: Creative photography for children. In IDC 2007 (Interaction Design and Children), Aalborg, Denmark, 2007.

J-B. Labrune & W. Mackay. **Could HCI inspire dynamic design?** In DeSForM 2006 (Design and Semantics of Form and Movement), Eindhoven, The Netherlands, 2006.

### Workshops :

J-B. Labrune. **Creative Epistemology**: Towards Creativity Research by Children. In C&C 2007 (Creativity and Cognition), Washington DC, USA, 2007.

W. Mackay, Y. Riche and J-B. Labrune. **Communication Appliances**: Shared Awareness for Intimate Social Networks. In ACM CHI 2005 Workshop on Awareness Systems: Known results, theory, concepts and future challenges, Portland, OR, USA, 2005.

### Livre<sup>9</sup> (chapitre):

J-B. Labrune et Nicolas Nova. **Des jeux vidéo au LifeGames**: Perspectives tangibles et sociales des nouvelles formes d'interactions ludiques. In Franck Beau: "Culture d'Univers" juin 2007, Paris.

---

<sup>9</sup> traduction internationale en cours chez MIT Press.

## 1.7. Synthèse

---

*Les contributions de ce chapitre sont les suivantes :*

Définition de l'**exaptation technologique** et positionnement par rapport à l'adaptation et la co-adaptation.

Etat de l'art de l'**interaction enfant-machine** (IEM) et mise à jour des dimensions graphiques, tangibles et créatives.

Définition de la **créativité** dans le contexte technologique et **taxonomie** des interfaces pour enfants selon cette définition.

## 2. Cadre théorique

*Le but de ce chapitre est de présenter et justifier nos choix théoriques et méthodologiques. Après avoir examiné les différentes théories et approches issues des facteurs humains, nous montrerons comment les méthodes issues des sciences sociales nous paraissent les plus adéquates pour étudier notre terrain. Souvent contestées pour leur manque de contrôle expérimental et leur relative étendue, elles sont également au cœur de notre discipline, comme le rappelle Mackay dans son framework de « triangulation » (Mackay & al, 97) qui permet d'articuler sciences naturelles, interaction-homme machine et conception.*

2.1. L'étude des facteurs humains.....	43
2.2. Analyse et sélection de notre cadre théorique.....	44
2.3. La triangulation.....	45
2.4. Examen triangulé d'un phénomène d'exaptation.....	46
2.5. Stratégie de recherche.....	47
2.6. Synthèse.....	48

### 2.1. L'étude des facteurs humains

Les approches présentées ici proviennent du monde de l'interaction homme-machine qui examine depuis près de trente ans les interrelations entre les humains (appelés aussi agents, acteurs ou opérateurs) et les machines par l'étude de leurs interactions. À l'origine, provenant directement de la psychologie, de la psychométrie ou même de la physiologie, ces études mesuraient l'action et la performance humaines sur des critères somatiques, comportementaux ou cognitifs. L'idée alors étant de trouver les invariants du comportement humain lors de l'interaction avec une machine pour élaborer une théorie, la plus souvent prédictive.

Au fil des ans, ces études dites de « facteurs humains », centrées sur l'individu, ont été complétées par des approches écologiques, situées prenant en compte l'individu dans son contexte, qu'il soit corporel, social, organisationnel, voire inconscient. Cette prise en compte du contexte a permis également d'aborder des aspects moins formels, plus orientés vers la volonté de décrire la complexité et les qualités du monde que de le réduire en un modèle abstrait, quantitatif ou formel. Classiquement (Rogers, 2000), on différencie les théories des frameworks, plus interdisciplinaires et aux approches plus qualitatives, issues de disciplines comme les sciences sociales, l'anthropologie, l'ethnographie ou encore la phénoménologie. Voici donc les différents modèles utilisés pour décrire l'interaction entre les personnes et les machines dans le but de comprendre l'action ou de construire des interfaces.

## Les théories

Modèles cognitivo-comportementalistes (Hutchins, Hollan, Card, Green, Reisner, Barnard)  
Modèles mentaux (Payne, Rogers, Norman, Johnson-Laird, Young, diSessa, Nielsen)  
Cognition externe et artefacts cognitifs (Rogers, Scaife)  
Action située (Suchman, Lave, Wenger)  
Cognition distribuée (Hutchins, Rogers, Pea)  
Théorie de l'activité (Nardi, Bødker, Bannon, Kuuti, Baerentsen, Derycke)  
Interaction Instrumentale (Beaudouin-Lafon, Rabardel, Fuchs)

## Les frameworks

La co-adaptation (Mackay)  
La conception participative (Grudin, Bødker, Mackay, Muller, Wildman, White)  
Technométhodologie (Button & Dourish)  
Les dimensions cognitives (Green)  
Approches ambiguës (Gaver)  
Exploration et réflexion (Rogers)  
La triangulation (Mackay, Fayard)

## Les frameworks spécifiques à l'IEM

L'utilisabilité (Hanna, Risdén, Alexander, Barendregt, Bekker, Tricot)  
La conception participative avec des enfants (Bekker, Sluis-Thiescheffer, Druin, Banathy)  
La conception centrée sur les enfants (Markopoulos, Loh, Radinsky)  
L'analyse récréative (Read, MacFarlane, Xu)  
L'enquête coopérative (Druin, Scaife, Rogers)  
Le constructionnisme (Papert, Solomon, Harel, Ackermann, Resnick, Strohecker)

## 2.2. Analyse et sélection de notre cadre théorique

---

La description de l'interaction entre les enfants et les machines peut donc se faire de multiples manières, à différentes échelles et selon différentes intentions. Les approches cognitivo-comportementales cherchent à définir l'interaction comme un processus interne ou externe en se focalisant sur des points précis d'un modèle de l'être humain comme les représentations mentales, le traitement cognitif de l'information, les plans d'action, les actions motrices, la perception ou encore l'opérationnalisation mnésique. Ils cherchent à comprendre de manière quantitative leur influence lors de tâches et d'activités technologiques dans le but de prédire l'action ou le comportement et parfois de générer de nouveaux systèmes interactifs.

Les approches orientées sur les tâches et l'activité individuelle ou sociale cherchent également à modéliser pour quantifier et prédire, mais à une échelle différente. Nous ne retiendrons pas ces cadres théoriques car ils ne sont pas appropriés pour l'étude émergente de l'interaction entre les enfants et les machines. Leur approche expérimentale contrôlée et leurs procédures quantitatives ne permettent pas l'examen empirique et situé de notre terrain.

Les approches plus qualitatives se divisent en trois catégories. La première s'intéresse à la description systématique du phénomène d'interaction (action



## 2.4. Examen triangulé d'un phénomène d'exaptation

Comme le préconise la méthode de triangulation, nous allons présenter ici les trois composantes de notre travail de recherche. Nous commencerons par analyser notre terrain de manière qualitative à l'aide de la Grounded Theory, puis nous montrerons l'impact de ces résultats pour l'IEM et enfin, nous examinerons différents artefacts ainsi que leurs espaces de design.

### Choix d'une méthode qualitative : la Grounded Theory (GT)

Il existe de nombreuses méthodes qualitatives pour étudier les phénomènes d'interaction entre les personnes et les machines. Provenant d'origines différentes, elles n'ont pas nécessairement les mêmes buts et les mêmes approches scientifiques. Nous présentons dans ce tableau six méthodes très utilisées dans notre domaine : la phénoménologie, l'ethnographie, l'étude de cas, la théorie de l'activité et la grounded theory.

	Phénoménologie	Ethnographie	Etude de cas	Théorie de l'activité	Grounded theory
But des recherches	Décrire l'expérience d'un phénomène par un ou plusieurs individus.	Décrire les caractéristiques culturelles d'un groupe de personnes et manifester les scènes de vie.	Décrire un ou plusieurs cas de manière détaillée et examiner des questions de recherche.	Intégrer un phénomène particulier dans un système de relations global prédéterminé.	Générer de manière inductive une théorie fondée sur le terrain qui décrit et explique un phénomène.
Discipline d'origine	Philosophie.	Anthropologie.	Racines multidisciplinaires, comme le business, le droit, les sciences sociales, la médecine et l'éducation.	Socio-Constructivisme.	Sociologie.
Méthode de collecte d'informations	Interviews détaillées avec 10-15 personnes.	Observation participante sur une période longue (d'un mois à un an). Interviews avec les informants	De multiples méthodes sont utilisées (interviews, analyse de documents, observations)	Interviews et observations dans un cadre ontologique précis (utilisation de conventions de nommage)	Interviews et observations avec 20 à 30 personnes.
Approche d'analyse des données	Lister les déclarations fréquentes, questionner leur signification et identifier l'essence d'un phénomène.	Description globale et recherche de thématiques culturelles dans les données.	Description globale et recherche de thèmes qui éclairent le cas. Comparaison de différents cas.	Intégration du terrain dans un méta-framework construit au préalable.	Commence par un codage ouvert des données puis un codage axial et sélectif.
Résultats	Description riche des structures invariantes ou essentielles de l'expérience humaine.	Description riche du contexte et des thèmes culturels.	Description riche du contexte des cas. Discussion des thèmes, problèmes et conséquences.	Articulation du terrain avec des modèles. Description des structures avec des termes non-liés au terrain.	Décrit un terrain et ses acteurs. Propose une description conceptuelle sur plusieurs niveaux qui manifeste un phénomène.

On remarque en parcourant ce tableau que les approches phénoménologiques, ethnographiques, et socio-constructivistes (théorie de l'activité) possèdent toutes un référentiel d'observation préalable (essence et être, culture, matrice sociale de l'action). Cette approche ne convient pas à notre étude qui cherche à révéler les dimensions et propriétés émergentes de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. Le recours à un cadre d'observation préalable serait un biais informant nécessairement nos observations, en les orientant nécessairement vers sa logique. Les deux approches restantes (Etude de cas, GT) respectent ces conditions.

Nous choisissons la GT car elle garantit un cadre scientifique plus rigoureux que l'étude de cas. En effet, la GT propose une méthode d'examen systématique, sur de multiples niveaux de contrôles conceptuels pour valider les données

observées sur le terrain et leur abstraction sous forme de concepts et de catégories. Nous reviendrons en détail sur la GT dans le chapitre 3.1. où nous en expliquerons les fondations et les méthodes pratiques.

### Implications pour l'étude de l'IEM

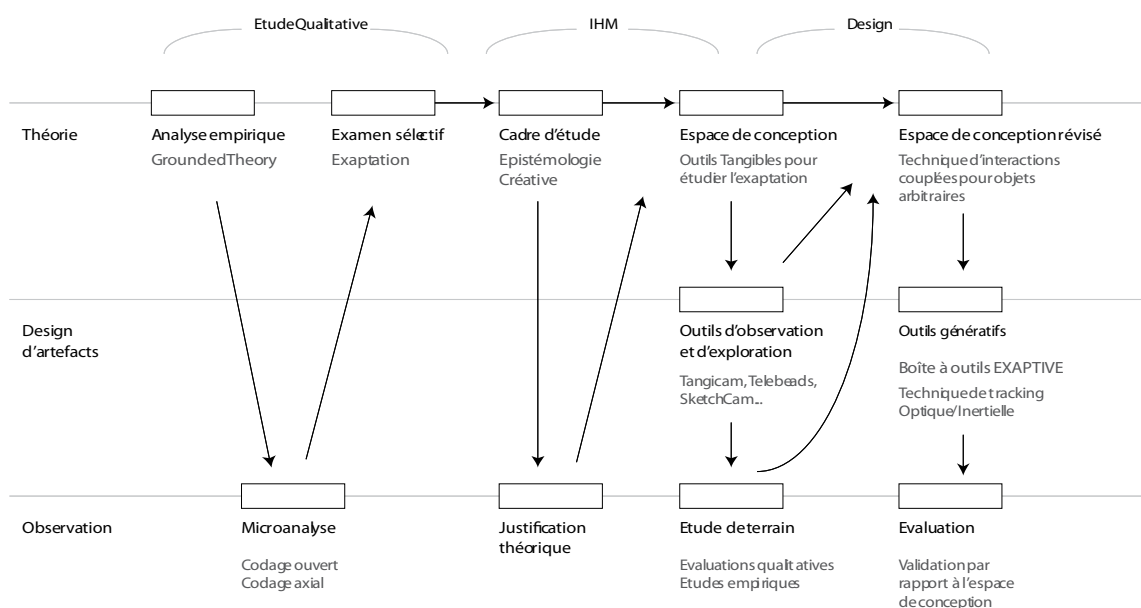
Ce deuxième niveau d'examen triangulé consistera à montrer les implications pour l'IEM des résultats de la Grounded Theory. Nous définirons ainsi un cadre pour observer ce type de phénomènes en reprenant l'approche qualitative effectuée et en la révisant aux vues des résultats obtenus. Nous présenterons une méthode que nous appelons Epistémologie Créative qui permet d'explorer l'interaction entre les enfants et les technologies créatives à partir de données recueillies par les enfants.

### Implications pour le design

Nous montrerons dans cette dernière étape de la triangulation avec quels outils les enfants peuvent observer et explorer leurs interactions avec les technologies créatives. Nous définirons un espace de conception et présenterons différents prototypes d'interfaces de capture et d'exploration audiovisuelle. Nous réviserons ensuite notre espace de conception et présenterons une boîte à outils permettant de générer ce type de dispositifs.

## 2.5. Stratégie de recherche

En reprenant la structure examinée au 2.3, nous pouvons maintenant construire notre stratégie de recherche. Ce schéma présente les trois niveaux de notre étude triangulée : théoriques, technologiques et empiriques.



Après avoir examiné notre terrain sous forme d'une analyse qualitative (Grounded Theory) nous montrerons nos différents résultats élaboré à partir de trois épisodes de codage successifs. Nous présenterons les implications de ces résultats pour l'IEM et l'IHM, ainsi qu'une méthode pour appliquer ces résultats. Nous finirons par l'examen de différentes classes de prototypes ainsi que d'une boîte à outils permettant de faciliter la conception de ce genre de dispositifs.

## 2.6. Synthèse

---

*Les contributions de ce chapitre sont les suivantes :*

Présentation et analyse des différents **cadres théoriques** pour l'étude des technologies créatives en IEM et IHM.

Examen et sélection de la méthode de **Triangulation** qui permet d'articuler études qualitatives, IHM et Design.

Examen systématique de plusieurs **méthodes d'analyse qualitative** et sélection de la méthode de Grounded Theory.



## 3. Etude qualitative

*Ce chapitre présente une étude qualitative de six terrains ainsi que leur codage selon ma méthode de la Grounded Theory. Puis, après différentes analyses, nous manifestont la nature exaptive de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives.*

3.1. Protocole de recherche.....	49
3.1.1. Terrain: technologies créatives et enfants.....	49
3.1.2. Méthodologie.....	51
3.1.3. Stratégie de recherche.....	53
3.2. Etudes de cas.....	54
3.2.1. Etudes préliminaires.....	54
3.2.2. Créativité et interfaces tangibles.....	62
3.2.3. Créativité et interfaces graphiques.....	69
3.3. Analyse.....	80
3.3.1. Codage axial .....	80
3.3.2. Codage sélectif.....	81
3.4. Résultats.....	82
3.5. Synthèse.....	83

### 3.1. Protocole de recherche

#### 3.1.1. Terrain: technologies créatives et enfants

##### Quels enfants ?

La majorité des enfants présents dans les ateliers étudiés ont entre 3 et 12 ans. Ce sont des enfants habitant dans des grandes métropoles et le plus souvent accompagnés par leurs parents aux ateliers. La plupart d'entre eux ont un ordinateur voire plusieurs à la maison et possèdent déjà tout un attirail technologique (consoles de jeu de dernière génération, lecteurs de musique mp3). Si nous avons choisi une méthode d'examen quantitatif, il aurait été plus opportun de scinder cette tranche d'âge en deux groupes (3-7 et 8-12) puisque les motivations et compétences des enfants varient beaucoup entre ces deux périodes. Nous ne l'avons pas fait pour préserver la tendance ouverte de la Grounded Theory qui consiste à réduire son champ d'étude seulement après avoir été à l'épreuve du terrain. Cette décision nous permettra en outre de mettre en évidence les propriétés et dimensions de la communication inter-âges (interaction non-verbale, autorité, démonstration, co-manipulation).

## Quels environnements ?

Les six ateliers étudiés se sont déroulés en intérieur, dans un contexte soit pédagogique (INRIA, MIT Medialab) soit plus ludique (Institut Finlandais) et même artistique (Centre Pompidou, Point Ephémère). Les environnements choisis sont censés représenter les différents types d'interactions créatives que les enfants pratiquent en présence de machines. Dans un premier temps, nous étudierons donc l'interaction avec des objets créatifs, dans un contexte où la présence de technologie est minime. Puis, dans un deuxième temps, nous examinerons l'interaction entre les enfants et les interfaces tangibles, électroniques similaires en de nombreux points aux jouets et interfaces qu'ils utilisent quotidiennement. Enfin, nous observerons l'interaction entre les enfants et les interfaces graphiques, semblables à celles qu'ils ont l'habitude de rencontrer à la maison (ordinateurs, consoles de jeux) ou à l'école.

## Données

Les données que nous avons recueillies sont de quatre types: mémos, photos, vidéos et interviews. Plus de 3000 photos et 10 heures de vidéo ont été produites lors de ces six ateliers. Nous avons également procédé à plusieurs interviews informelles auprès des enfants, soit de manière individuelle soit en groupe. Les mémos et les observations visuelles ont servi de corpus d'étude principal, complétées par les vidéos pour observer un point précis. Notons également qu'une centaine de photos ainsi qu'une dizaine d'interviews vidéo ont été réalisées directement par les enfants, notamment lors des ateliers E2 et E5. Ces données ont été ensuite intégrées au corpus principal. Nos observations photographiques suivent les principes édictés par Collier et Collier dans leur anthropologie visuelle (« Photography as a research method », Collier et Collier, 1986). Nous avons notamment utilisé la méthode de la « photo interview » qui consiste à utiliser l'image comme une médiation avec les enfants. L'usage de la photographie numérique permet en effet de présenter immédiatement le cliché aux enfants. C'est donc un moyen simple d'entamer une discussion sur un sujet ou sur un point précis du terrain étudié. En plus de ses fonctions d'élicitation (verbalisation, élaboration), cette méthode permet également de partager avec les enfants nos observations, transformant notre position de chercheur qui *collecte* en celle de participant qui *donne*.

## Limites

Le cadre particulier d'une thèse ne permet pas d'envisager des études qualitatives longitudinales, spécialement dans le champ de l'interaction enfant-machine. Nos données ont été recueillies de manière systématique et rigoureuse, cependant elles ne peuvent pas prétendre à une généralisation similaire à celle que l'on observe dans les sciences « dures ». La recherche qualitative s'appuie sur des échantillons de faible taille, dans une visée épistémologique exploratoire, et non universelle. Nous reparlerons de ces limites au dernier chapitre, et notamment des méthodes pour dépasser ces limitations.

### 3.1.2. Méthodologie

#### Grounded Theory

La méthode qualitative que nous avons choisie se nomme la Grounded Theory, qu'on pourrait traduire par théorie inductive, théorie ancrée ou encore par théorie fondée sur le terrain. Nous utiliserons cependant le terme anglais de Grounded Theory ou GT, comme le recommandent la plupart des chercheurs en sciences sociales (Guillemette, 2006).

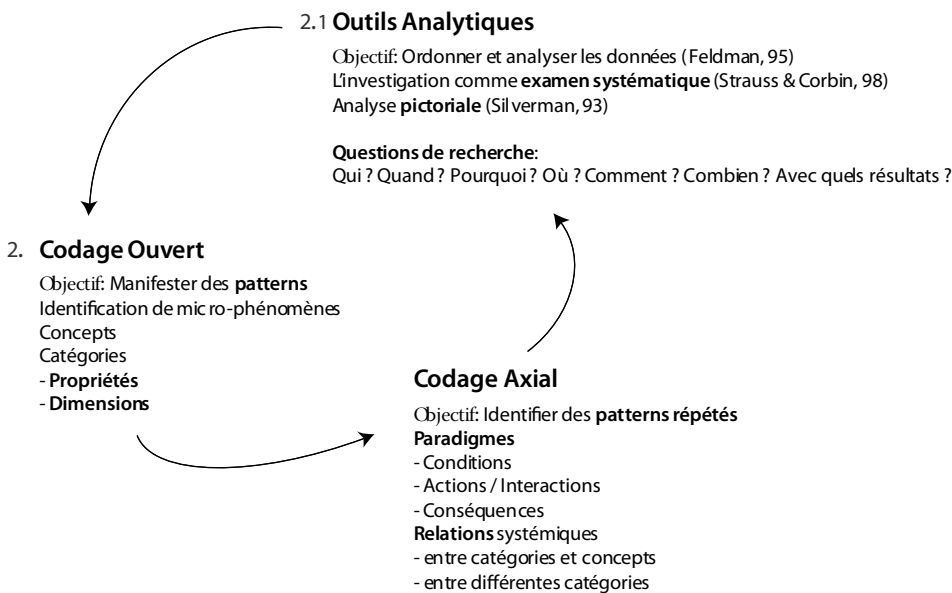
#### Présentation

Dès leur tout premier ouvrage sur la GT, Barney Glaser et Anselm Strauss (1967) ont présenté celle-ci comme une méthodologie générale qui permet de générer de nouvelles théories en sciences humaines et sociales. Dans cet ouvrage, le ton est résolument polémique et le style est celui d'un manifeste pour une façon différente de faire la recherche scientifique (Dey, 1999). Ainsi, la GT est définie en opposition contre les approches hypothético-déductives dans lesquelles les chercheurs partent de postulats a priori pour déduire des explications des phénomènes, les données empiriques ne servant que d'« exemples » dans un processus d'application des théories existantes. À l'inverse, la GT est présentée essentiellement comme une approche inductive par laquelle l'immersion dans les données empiriques sert de point de départ au développement d'une théorie sur un phénomène et par laquelle le chercheur conserve toujours le lien d'évidence avec les données de terrain. Il existe deux grands courants de GT, qui diffèrent notamment sur la manière d'effectuer le codage des données, les critères de validation et l'approche systématique. Nous avons choisi d'utiliser la GT selon Strauss & Corbin (*Basics of Qualitative Research*, 1990), qui propose une méthode empirique systématique, émergente et rigoureuse, pour manifester les multiples dimensions et propriétés d'un phénomène. Issu du courant de l'interactionnisme symbolique, Anselm Strauss a développé une approche dans la lignée des pragmatiques Américains George Mead ou John Dewey, ou de la méthode clinique du Suisse Jean Piaget. La GT selon Strauss et Corbin se compose de plusieurs phases de codage successives des données en commençant par des méthodes linéaires d'analyse, pour aboutir à une vision systémique et narrative des interactions entre les principales catégories et concepts définissant un phénomène. Strauss et Corbin appellent cette progression, l'examen microscopique des données ou méthode microanalytique. Nous allons maintenant détailler les différentes phases de cette méthode.

#### La Méthode microanalytique

La microanalyse commence par une *investigation systématique* des données recueillies sur le terrain, le plus souvent reportées dans des mémos. Le chercheur doit définir des questions afin de réduire la complexité des observations de manière systématique. Ces questions de recherche varient en fonction du phénomène étudié, elles permettent de structurer les observations du terrain. Ces questions fonctionnent comme des outils analytiques préalables à la deuxième phase, nommée *codage ouvert des données*. Cette phase est un processus analytique à travers lequel des concepts sont identifiés et leurs propriétés et dimensions sont découvertes dans les données. Elle consiste à disséquer les données et à exposer les idées, les explications qu'elles contiennent et à le mettre en pièces pour comprendre la logique qui est présente derrière. Les

données sont cassées et comparées. Une fois que plusieurs concepts sont mis à jours, on les met en relation, ce qui permet de former une nouvelle façon de voir les choses et on comprend à travers la manière de relier les concepts ce qui se cache derrière. Les concepts sont ainsi comparés. En faisant cela, le nombre de données est réduit, ce qui permet de mieux les manipuler. Dans la troisième phase appelée *codage axial*, commence le rassemblement des données fracturées par le *codage ouvert*. On cherche alors à comprendre comment les éléments se combinent les uns aux autres ou se chevauchent. Enfin, dans la phase de *codage sélectif*, on spécifie les concepts et catégories suivant leurs interactions et on présente les différentes composantes de ce que Strauss et Corbin appellent un *paradigme*, c'est à dire l'ensemble de cause, actions et conséquences constituant d'un phénomène. Nous allons maintenant détailler les questions de recherche initiales que nous avons choisi pour explorer les données.



## Notre méthode d'enquête

Nous nous sommes intéressés à deux couples de questions, celles qui sont liées à la situation technologique et celles qui sont liées aux productions des enfants, à leurs artefacts.

### Analyse de la situation technologique

Parmi les différentes questions proposées par la GT, nous avons retenu celle du contexte, ou environnement (*où*), et celle des interactions entre les enfants (*comment*). Comme le rappelle Lucy Suchman, l'action pratique est une construction locale (Plans as situated action, 1987). L'étude du rapport entre les enfants et les technologies créatives doit donc manifester les propriétés et les dimensions du *lieu de l'action*. Comme l'a montré Lucy Suchman, les ressources de l'environnement autorisent l'improvisation circonstancielle et la renégociation des intentions et désirs d'agir (Human-Machine Reconfigurations, 2007). Nous examinerons alors comment les enfants agissent sur le contexte et communiquent entre eux ces différentes improvisations et renégociations.

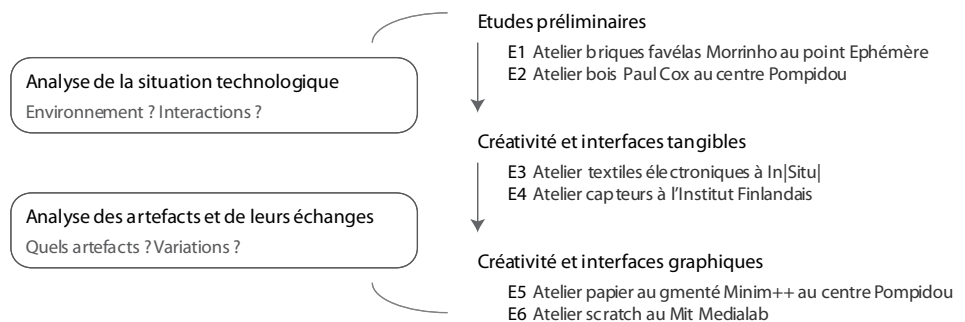
## Analyse des artefacts et de leurs échanges

Une fois le processus et le contexte manifesté, il nous semble important d'examiner les productions des enfants (artefacts), et leur évolution dans le temps. Ce sont les questions *quoi* et avec *quelles variations*, proposées par la GT. Le mot Artefact, dans sa définition stricte désigne un effet (factum) artificiel (artis), produit dans des conditions expérimentales, souvent indésirable, comme les parasites lors d'une transmission radio. Nous utiliserons ce terme dans son acception anglo-saxonne, c'est-à-dire celle d'un produit ayant subi une modification humaine et se distingue ainsi d'un autre provoqué par un phénomène naturel. Récemment, suite aux travaux de la philosophe allemande Nicole C. Karafyllis (Biofakte: Versuch über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen, 2003), de nombreux chercheurs ont proposé l'utilisation du terme Technofact pour pointer le caractère particulier de ces productions. Nous ne ferons pas cette distinction dans notre étude, le terme Artefact nous semble préférable car plus flexible pour reporter nos observations. Il englobe en effet les productions technologiques et les créations matérielles.

### 3.1.3. Stratégie de recherche

#### Investigation initiale

Afin d'organiser nos données de manière systématique, nous allons donc examiner six terrains d'études à travers quatre questions (où? comment ? quoi ? avec quelles variations ?).



#### Objectifs

Les objectifs de ces études sont triples, il s'agit en effet de :

- Identifier les propriétés et les dimensions de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives.
- Produire des concepts et des catégories conceptuelles qui organisent ces propriétés et dimensions.
- Observer des motifs réguliers dans les différentes situations étudiées en ce qui concerne ces concepts et catégories.

Au terme de cette investigation initiale, nous intégrerons ces différents concepts et catégories dans des schémas conceptuels présentés en annexe à la fin de la thèse. Cette organisation nous permettra alors de réorganiser les différentes catégories en fonction de leurs similarités (comparaison entre les différentes catégories) pour dégager les propriétés et dimensions des micro-phénomènes observés aux cours de ces études.

## 3.2. Etudes de cas

Les six études présentés ici recouvrent plus de deux ans de recherches qualitatives. Comme expliqué en 3.1, ces terrains ont été choisis pour leur représentativité des modes d'interactions entre les enfants et les technologies créatives. Après avoir examiné l'interaction entre les enfants et les objets créatifs (peu de technologie) lors de deux études préliminaires (E1 et E2), nous étudierons l'interaction entre les enfants et les interfaces tangibles (E3 et E4) et enfin, entre les enfants et les interfaces graphiques (E5 et E6).

### 3.2.1. Etudes préliminaires

#### E1. Atelier briques favélas Morrinho au point Ephémère

##### Situation

##### *Environnement*

Depuis dix ans, plusieurs adolescents brésiliens fabriquent une réplique en miniature de leur ville, une favéla située à Rio de Janeiro, appelée Pereirão. Le projet Morrinho, du nom de l'ONG qu'ils ont créée, consiste à organiser des visites touristiques de leur ville par des étrangers. La maquette leur sert de carte de visite en 3D, incitant les échanges culturels dans les domaines de l'audiovisuel (leur communauté possède une chaîne de télévision gérée par des adolescents et des enfants) ainsi que ceux de l'éducation, de l'art et de la connaissance de la culture brésilienne.



La maquette originale fait plus de 300 m<sup>2</sup>, et lors de leurs expositions internationales, ils reconstruisent une version réduite, composée de briques de terre et de sable. Lors de ma visite en décembre 2005, j'ai pu assister à l'élaboration d'une version composée de plus de 2000 briques empilées les unes sur les autres, sensées reproduire l'architecture de leur lieu de vie. La structure comporte ainsi des routes entre les immeubles, des maisons à plusieurs étages, mais également des éléments de végétations, et des commerces avec leurs visiteurs matérialisés par des briques de Lego. De nombreuses petites voitures sont également présentes dans les interstices et routes de la maquette.

##### *Interactions*

Lors de l'exposition de la maquette, de nombreux enfants en bas âge (4-6 ans) sont venus accompagner leurs parents venus s'informer sur le projet. Entièrement en libre accès, la maquette s'est donc transformée en terrain de jeu

pour les enfants qui en règle générale s'emparaient immédiatement des petites voitures lors de leur premier contact avec la structure. A noter que la majorité des enfants observés étaient des garçons. Evoluant en manipulant ces objets, ils procédaient à l'exploration quasi-systématique des ruelles et autres espaces vacants à l'aide de cette médiation ludique. Les petites voitures, et leurs règles propres (collées au sol, petite taille) leur ont permis de faire une sorte de cartographie physique de leur environnement.



Cet assemblage très simple d'éléments quasi-identiques pourrait sembler inintéressant pour les enfants. En fait, nous avons observé de nombreux enfants jouer pendant plus de deux heures avec la structure, pendant que leurs parents discutaient avec les organisateurs du projet. Bien que minimale, cette maquette possède une complexité certaine, de nombreux objets assemblés de telle manière que de nombreuses contraintes intéressantes pour les enfants ont été créées comme les routes, les dénivelés, mais également les endroits difficiles d'accès, présentant un défi pour les enfants.

## Artefacts

### *Quels artefacts ?*

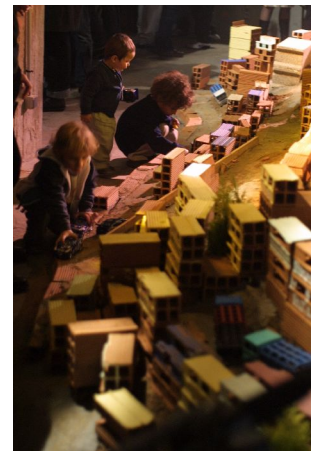
Peu d'artefacts physiques ont été créés lors de cette installation. La nature artistique de la structure et le faible nombre d'objets avec lesquels les enfants pouvaient interagir ne permettaient pas de produire des objets matériels, mais seulement des comportements sociaux. Pour la plupart, nous avons observé une tendance à découvrir la maquette de manière solitaire, à l'aide d'une petite voiture. Puis, dans un deuxième temps, le jeu à plusieurs permis de se familiariser avec les autres enfants, et de partager le même terrain de jeu et d'explorer ensemble ses contraintes spatiales qui constituaient autant d'avantages ludiques.

Lors du passage du jeu individuel, solitaire au jeu social, à plusieurs, nous avons observé très souvent des comportements d'imitation dans la manière de déplacer les objets ou de naviguer dans une partie de la maquette avec leurs petites voitures, sortes de "mains sur roulettes", ou d'yeux situés au ras-du-sol. En fait, une grande partie de la communication s'effectuait de manière non-verbale, par le biais de gestes simples comme la translation en avant et arrière de la voiture ou sa rotation par rapport à des briques constituant la maquette. La plupart de ces instructions silencieuses ont un fort pouvoir génératif: elles déclenchaient en général de nouveaux types de jeux, prenant en compte les contraintes spécifiques de l'environnement.

### *Variations ?*

Au cours de nos observations, plus de 25 enfants sont venus interagir avec la maquette. En général accompagnés par leurs parents, ces jeunes enfants commençaient par recevoir une explication détaillée du projet, de la nature de la maquette ainsi que ce qui était autorisé ou non de faire avec celle-ci. Ces explications données par les adultes intéressaient peu les enfants qui préféraient alors découvrir par eux-mêmes la structure. Ces activités exploratoires ont entraîné un grand nombre de jeux très similaires. Les activités ludiques étaient soit initiées par le matériel de jeu présent (petites voitures, Lego) soit par les aspects ouverts de la structure, comme les routes et autres interstices, que les enfants pouvaient investir avec leurs propres jouets apportés avec eux.

La moitié des jeux observés avaient une structure de type compétition (agonistique), où le parcours d'une partie de la maquette devait se faire en un temps minimal. Dans la grande majorité des cas, l'instruction ludique, la règle, est implicite, communiquée de manière non-verbale, par l'exemple. En général, cet exemple est gestuel, le plus souvent opéré directement sur le jouet d'un enfant par un autre. Ils communiquent par la manipulation conjointe d'éléments ludiques, ici, les petites voitures.



## **E2. Atelier bois Paul Cox au centre Pompidou**

### **Situation**

#### *Environnement*

Pendant quatre mois, de février à mai 2005, l'artiste Paul Cox a proposé à des enfants de partager avec lui un immense jeu de construction installé au centre Pompidou à Paris. De vastes tables en bois peint et aux contours ondulants, montées sur une forêt de tréteaux, supportent des milliers de petits blocs de bois et de mousses colorées que le visiteur, grand ou petit, est invité à manipuler pour construire édifices, routes, villes et ponts. Là où les tables sont trop grandes pour atteindre leur centre à bout de bras, la manipulation des modules se fait à l'aide de longues raclettes ou de pinces de préhension, le paysage évoluant, au gré des constructeurs, entre rigueur architecturale et désordre de chambre d'enfants.

A dix reprises, nous avons visité cet espace pendant des séances de deux heures. Nous avons effectué plusieurs types d'observations, sous la forme de photos, de vidéos et également d'interviews, au cours desquelles nous demandions aux enfants de parler de ce qu'ils étaient en train de faire, de décrire ce que signifiait cet environnement pour eux et de détailler leurs constructions. Nous avons





également demandé à trois reprises à des enfants de faire des observations avec une mini-caméra qui permettait de faire des photos et des vidéos. Nous leur avons demandé de prendre des photos des objets qu'ils trouvaient intéressants, de prendre des photos plus générales du lieu et également d'interviewer d'autres enfants, avec les mêmes questions que nous leur posons nous-même (description verbale du lieu, du processus et des artefacts).



### *Interactions*

Le lieu, un espace de plus de 500 m<sup>2</sup>, comportait 15 tables très grandes sur lesquelles étaient posées des milliers de bouts de bois de couleurs, de tailles, et de formes différentes. D'une certaine manière, ces éléments étaient un mélange entre les kaplas (blocs de bois unis pour la construction) et les blocs mathématiques colorés du set Montessori. Pour un enfant, rentrer dans un espace aussi riche est un peu comme rentrer dans l'usine qui fabrique les lego, une sorte de caverne d'ali-baba du jeu et de la construction, où il y a plus d'éléments qu'on ne pourrait jamais l'imaginer. L'apparente simplicité du matériel de jeu contraste donc avec l'ampleur et le nombre d'éléments ludiques. C'est plus la richesse des interactions possibles entre les éléments que le détail de chaque instance qui est manifeste dans cet environnement.



Pour pouvoir fabriquer des objets, les enfants déposaient des pièces les unes sur les autres, jusqu'à un point quasi-cyclique où les édifices s'effondraient dans un vacarme très apprécié. Les cycles de construction étaient donc rythmés par les opérations volontaires ou accidentelles de destruction, comme une sorte d'horloge sonore qui au lieu de marquer les heures, manifestait l'alternance entre l'édifice et la table rase. Ce vacarme assommant pour les parents, était au contraire le signe pour les enfants qu'un nouvel espace de construction était disponible. J'ai observé très souvent des masses d'enfants courir précipitamment vers les vestiges d'une construction, en se guidant avec le bruit. En général, à ce moment là, ils proposent leur aide pour soit continuer le projet détruit soit partir sur un nouveau type de projet.

## Artefacts

### *Quels artefacts ?*

Pour bien comprendre la nature des artefacts créés lors de ces quatre mois, il faut tout d'abord noter l'organisation des rôles familiaux lors de la visite de cet espace. La plupart des enfants venaient accompagnés par leurs deux parents ou par leurs deux grands-parents, plus rarement par une seule personne. Les femmes s'asseyaient en général sur le bord de la pièce sur des chaises disposées à cet effet et observaient leurs enfants jouer tout en discutant avec leurs voisines. Les hommes s'impliquaient activement dans le jeu de construction, sans toutefois partager les projets de enfants, ils fabriquaient leurs propres structures. Un élément remarquable dans ces structures masculines est leur propension à la verticalité. Les pères et grand-pères fabriquaient quasi-exclusivement des tours, la plus haute possible, jusqu'à ce que le plafond mette une limite physique à l'édifice. J'ai ainsi observé un très grand nombre de tours gigantesques, quasi identiques lors de mes dix visites. Une autre régularité dérivée de ces artefacts est le comportement de protection qu'ils engendrent. Là où la majorité des constructions des enfants tombent en pièce au bout de quelques dizaines de minutes, ces tours étaient "défendues" par leurs auteurs et leur autorité.



*Illustration 32: Tour et machine*

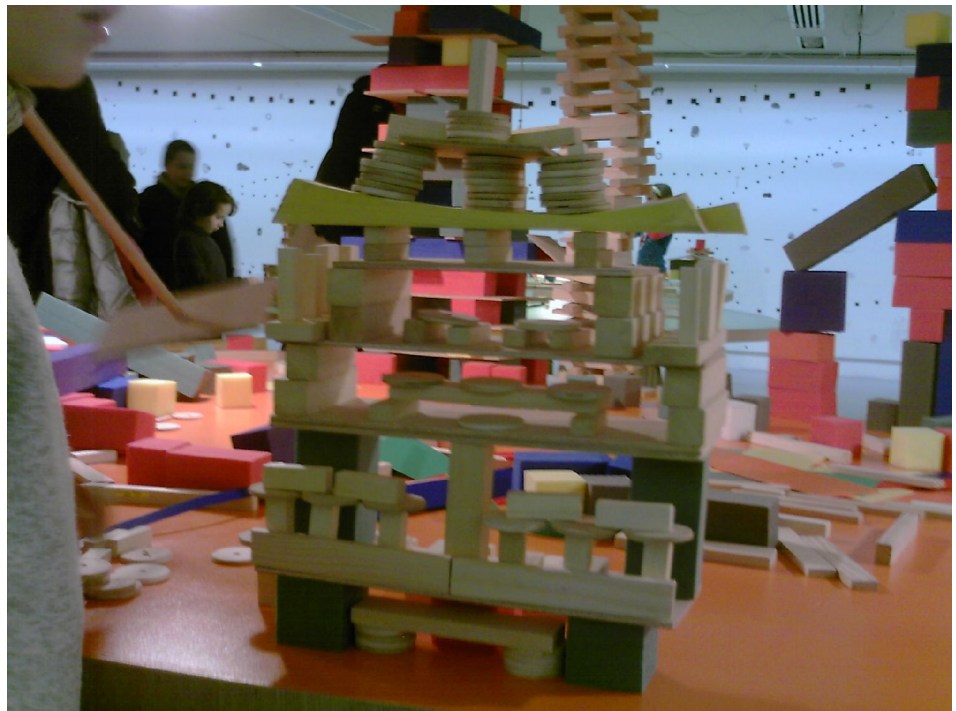
Les enfants quand à eux, fabriquaient généralement deux types d'artefacts, des machines et des ponts pour relier les tables entre elles. Lors des interviews faites avec et par les enfants, ces machines de bois étaient le centre de l'attention. Quelle structure voulait-on fabriquer, quel mécanisme interne (symbolisé par des couleurs), que produisait-elles... Pas beaucoup de réponses claires, mais un net intérêt pour le mécanisme en tant que tel, l'action d'une chose sur une autre, la production médiatisée par un système. Notons que la très grande diversité des

affordances (propriétés perçues) des blocs de bois ont permis la fabrication de structures très variées, reprenant il est vrai très souvent l'esthétique du robot, à mi-chemin entre la symétrie axiale humaine, et l'orthogonalité des blocs de bois.



*Illustration 33: Ponts*

Les enfants passaient également beaucoup de temps à fabriquer des ponts pour à la fois relier les tables, couper la circulation dans les allées (et donc forcer les autres enfants à passer sous les ponts et sous les tables) et également créer une séparation entre différents territoires (le mien et le tien). Ces ponts, structures horizontales, contrastaient fortement avec la verticalité des énormes tours fabriquées par leurs pères. Au contraire des aspects défensifs manifestés par les adultes (pères, grands-pères), les ponts sont des lieux sociaux, où la collaboration de plusieurs enfants est nécessaire à la construction. Les pièces de bois employées sont souvent très longues et lourdes pour les plus jeunes, notamment pour les attraper lorsqu'elles sont au centre des grandes tables. Le concepteur de l'espace avait prévu des pinces de préhension pour attraper ce genre de pièces distantes. Une bonne idée cependant nous avons observé que les enfants préféraient utiliser d'autres bouts de bois manipulés à plusieurs pour faire glisser les pièces dans un endroit accessible. Les pinces étaient plus souvent utilisées pour communiquer avec les autres enfants (taper sur l'épaule) ou carrément pour détruire des constructions, leurs formes ainsi que leurs gâchettes et leurs poignées rappelant celle d'une arme (fusil, revolver). Les bouts de bois comme les pinces à gâchette sont donc détournés de leurs fonctions initiales, pour avoir une nouvelle fonction dérivée des propriétés de la fonction initiale.



*Illustration 34: Usine*

### *Variations ?*

Lors de mes dix visites, j'ai pu suivre et comparer plusieurs groupes similaires venus visiter l'exposition. Notamment, les groupes constitués d'une famille avec les deux parents et deux enfants, ainsi que les groupes avec un adulte et un

enfant. En moyenne les groupes passaient le même temps dans l'exposition, c'est-à-dire une heure. Les parents, le plus souvent les pères, fabriquent une structure très complexe, avec beaucoup d'attention et de minutie. La tendance est à la persistance. À l'inverse, les enfants élaborent des structures temporaires. Ils fabriquent en moyenne une dizaine d'édifices ou participent à la co-construction de structures (ponts, machines) avec d'autres enfants. Une des grandes activités lors de ces co-constructions consistant à trouver en un minimum de temps une pièce identifiée par le groupe ("il nous faut un grand bloc de bois bleu") pour solidifier ou améliorer la structure. A noter que les enfants très jeunes pouvaient également participer avec les autres simplement en amenant une "pierre à l'édifice", ici un bout de bois. Ces interactions non verbales entre les enfants se retrouvent également très fréquemment lors de la construction de structures entre des enfants jeunes (3-4 ans) et plus âgés (6-7 ans), où la transmission du plan de l'édifice à construire se fait par démonstration. L'enfant plus âgé montre le type de pièce à chercher ou à agencer. Au lieu de dire comment faire, les enfants montrent comment faire.

### Codage ouvert E1-E2

À l'issue de l'investigation systématique des terrains E1 et E2, nous avons organisé de manière hiérarchique les micro-phénomènes observés lors des études et nous les avons regroupés sous des noms les définissant, appelés selon la GT, des concepts. Puis, après avoir retravaillé leur distribution dans cette hiérarchie (suppression des concepts similaires, réorganisation au sein de la hiérarchie), nous avons regroupé ces concepts au sein des catégories suivantes, comme le préconise l'étape de codage ouvert de la GT. Le schéma conceptuel précisant ces opérations se trouve en annexe (CO-E1E2).

#### Complexité du terrain:

*propriétés*: nombre d'objets, complexité intrinsèque  
*dimensions*: peu d'objets à masse d'objets présents

#### Espace ouverts:

*propriétés*: possibilité d'interaction, produit dérivé des contraintes de l'environnement  
*dimensions*: peu de possibilité à beaucoup d'interactions possibles.

#### Contraintes physiques:

*propriétés*: exploration de l'environnement, objet  
*dimensions*: peu à beaucoup d'exploration, utiliser ou non les fonctions et les propriétés d'un objet

#### Détournement:

*propriétés*: réorganisation, transformation, déconstruction, jeu sur les contraintes  
*dimensions*: possibilité petite ou grande de détournement, flexibilité des contraintes

### Interactions non-verbales:

*propriétés:* démonstration, imitation, manipulation conjointe

*dimensions:* richesse de la communication non-verbale, possibilité d'agir à plusieurs de manière non-verbale plus ou moins grande.

### Reconfiguration:

*propriétés:* création de nouvelles fonctions matérielles

*dimensions:* cohérence avec la fonction précédente, aptitudes de l'objet à permettre une nouvelle fonction

### Création ludique:

*propriétés:* jeux libres, jeu social, jeu solitaire

*dimensions:* imitation, appropriation, détournement, invention

### Itérations:

*propriétés:* processus structural

*dimensions:* persistance, provisoire, destruction, construction

## Résultats

On note déjà quelques tendances dans cette première analyse qui explore l'interaction entre les enfants et les objets créatifs. Comme prévu par les théories classiques en psychologie développementale, les enfants les plus jeunes abordent le monde par l'exploration motrice, physique et sensorielle. Cet exploration de l'environnement se fait souvent grâce à des médiations comme les jouets ou les outils créatifs présentant un certain nombre de contraintes qui permettent de réduire le nombre de choix à faire en terme d'actions possibles. Une fois le monde cartographié physiquement, avec ses contraintes et ses espaces ouverts, il s'agit de l'investir bien sûr, et de détourner ses contraintes pour les transformer ou encore d'en explorer les espaces ouverts. Très souvent, nous avons observé que ces différents comportements sont catalysés par des instructions extérieures transmises par d'autres enfants sous la forme de démonstrations gestuelles, haptiques, ou encore sonores. Ces interactions non-verbales étant manifestes lorsque des enfants de groupe d'âge différents doivent communiquer entre eux.

Enfin, selon nos observations, le processus d'interaction créative est très peu linéaire, les itérations successives étant le plus souvent interrompues par des épisodes de destruction, par d'autres activités, mais également souvent par l'alternance entre la préservation simultanée de structures provisoires et de structures persistantes. Les environnements créatifs et les artefacts en résultant ne varient pas seulement de manière linéaire par sélection et optimisation, mais également par fragmentation, dans un maillage intriqué, non-linéaire et étonnamment complexe. Même si les objets de l'environnement sont simples, leur très grand nombre entraîne souvent une masse de relations et de possibilités gigantesques, plongeant les enfants dans un monde en plusieurs dimensions.

### 3.2.2. Créativité et interfaces tangibles

#### E3. Atelier textiles électroniques à In|Situ|

##### Situation

##### Environnement

À l'occasion de la visite de Nwanua Elumeze, chercheur américain provenant du laboratoire L3D, dans le Colorado, nous avons organisé un petit atelier sur le thème des textiles électroniques. Nous avons ainsi exploré l'idée de pouvoir programmer ses vêtements en leur ajoutant des petits circuits électroniques. Pour ce faire, nous avons utilisé le Kit Aniomagic, développé par lui-même et sa collègue Leah Buechley. Ce petit kit ressemble à un set de couture et permet de faire de l'électronique sans utiliser un fer à souder, ce qui le rend idéal pour des enfants. A la différence d'un kit de couture, les boutons sont ici des switches (éléments qui laissent ou non passer le courant), les fibres textiles sont résistives (laissent passer le courant avec une certaine conductance) et les accessoires décoratifs sont remplacés par des LEDs aux pattes recroquevillées pour permettre des noeuds avec le fil résistif.

Le but de l'atelier était d'utiliser ces technologies créatives dans une philosophie de "crafting", c'est-à-dire de transformation d'objets du quotidien des enfants dans un but fonctionnel ou décoratif. A l'aide du kit de couture électronique, les enfants devaient personnaliser leurs vêtements et accessoires en leur ajoutant la possibilité de s'éclairer ou de vibrer (à l'aide de petits moteurs). Plutôt que d'utiliser des objets aux interactions préconçues par leurs concepteurs, l'idée ici était plus de permettre aux enfants de créer eux-mêmes les manières d'agir et de programmer leurs interfaces, ici des vêtements. Cette approche est très répandue en IHM ou en design, on parle alors de design centré sur l'utilisateur ou de design participatif.

##### Interactions

L'atelier a commencé par un exercice très simple qui consistait à tester la continuité d'un circuit électrique avec un multimètre. A l'aide de bouteilles de jus de fruit et des switches, les enfants ont pu se familiariser avec l'architecture d'un circuit, en particulier son aspect orienté et ses propriétés de continuité/discontinuité. Plutôt que de faire des hypothèses abstraites, les enfants exploraient le matériel à leur disposition et produisaient beaucoup d'erreurs, comme des circuits qui selon eux étaient bien reliés mais ne fonctionnaient pas (la led ne s'allume pas). Ces erreurs étaient le plus souvent dues à la mise en place de courts-circuits ou à la mauvaise orientation des composants (une led est une diode, elle ne s'allume que lorsqu'elle est disposée dans un certain sens). Un des enfants ne comprenait pas pourquoi certains composants avaient une orientation et émit l'idée que les composants devraient tous fonctionner dans les deux sens.

Ceci est une aberration pour un électronicien, qui sait qu'une diode électroluminescente possède une jonction PN qui doit être polarisée en sens direct lorsqu'on veut émettre de la lumière. Cependant, l'idée de fabriquer une led à double sens est très intéressante, et facilement réalisable à l'aide de



Illustration 35: Kit eTextile



Illustration 36: Kit eTextile

quelques composants additionnels à câbler autour d'elle. Les erreurs et fausses interprétations des enfants peuvent donc être appréhendées en même temps de manière pédagogique (expliquer ce qui se passe) et créative (dépasser les limitations et contraintes et créer un nouveau cadre).



Les enfants font des erreurs car l'électricité est invisible, et en général impalpable. Contrairement aux propriétés du monde physique comme les couleurs, les sons, ou les formes, il faut passer par une médiation, un appareil de mesure ou un composant pour y accéder et révéler sa nature. Soit cette médiation est cognitive (un système conceptuel décrivant l'électricité, souvent une analogie hydraulique pour les enfants) soit cette médiation est physique, expérimentale. Notons que nous retrouvons ici les deux arguments épistémologiques classiques, c'est-à-dire la découverte déductive et l'exploration inductive. Soit on prédit de manière abstraite le comportement d'un système (et l'on vérifie notre prédiction), soit on expérimente d'abord le système en tentant de comprendre ce qui s'y passe et en dégagant des lois, théories ou modèles issus de l'expérience.

Notons que les enfants présents dans cet atelier ont fait un peu des deux, alternants entre prédictions et découvertes empiriques (souvent liées à des erreurs). La majorité des principes appliqués par les enfants étaient montrés par un instructeur, en face à face, puis reproduit par les enfants. En général ça ne marchait pas, et alors l'instructeur revenait pour expliquer pourquoi cela ne fonctionnait pas après un examen à deux du circuit pour trouver les endroits à problèmes ("debugger"). Ce débogage conjoint, ou co-débogage est un élément essentiel où les adultes aident les enfants à faire seuls. C'est une interaction très riche où les questions sont alternées par des épisodes de démonstration, et d'expérimentation.

## Artefacts

### *Quels artefacts ?*



La nature binaire du switch (on/off) a informé le processus de conception si bien que la grande majorité des artefacts étaient de type ouvert/fermé, analogies physiques de ce principe simple. Notons également que l'environnement de l'atelier (une salle sans décoration, avec très peu d'objets) n'invitait pas forcément les enfants à d'autres types d'associations. Le cadre était presque exclusivement centré autour des possibilités technologiques et de leur interactions possibles avec les vêtements et accessoires qu'ils avaient apporté avec eux. Un des enfants a donc réalisé un porte-monnaie qui est éclairé à l'intérieur lorsqu'on l'ouvre, permettant ainsi d'y voir clair pour retrouver ce qu'il contient. La principale difficulté dans cet assemblage consistait à coudre sur un matériau qui comportait des parties textiles et des parties plastiques (polymère quasi-rigide). Après plusieurs essais, le porte-monnaie comportait donc plusieurs circuits de fils conducteurs, créant de fréquents courts-circuits. Considérée au départ comme un désavantage, cette fonction fut bientôt adoptée comme un mécanisme permettant d'allumer ou non le circuit en pliant certaines parties de l'interface, ou d'éteindre en créant un court-circuit. Là encore, c'est une aberration électronique car la pile va se décharger très vite, cependant, si ce mécanisme est régulé par quelques composants (condensateur, système d'hystérésis), c'est une idée intéressante qui permet d'utiliser toute la structure du porte-monnaie comme un énorme switch. L'exploration des propriétés physiques de l'objet (plasticité, déformation) a permis aux enfants de sélectionner des techniques d'interaction qui auraient été impossibles dans une perspective simplement électronique ou abstraite.

Parmi les autres projets réalisés, un enfant voulait créer un parapluie qui fait de la lumière quand on l'ouvre car il fait souvent sombre lorsqu'il pleut. Relativement difficile à réaliser du fait de la complexité du mécanisme du parapluie, ce projet a donc été modifié pour fabriquer un parapluie avec un bouton lumière, intégré dans la poignée. Un switch textile a donc été intégré dans le manche et des fils reliaient le circuit à la toile ou des LEDs ont été cousues. Enfin, un des enfants les plus jeunes, très motivé par l'activité, et très attentif, a réalisé un sac dont le motif s'éclaire lorsqu'on le tien par un endroit précis de la poignée. Cette réalisation simple en apparence a demandé de la patience et de la motivation. Coudre n'est pas évident pour un jeune enfant, sans compter comprendre comment un circuit fonctionne. Après une heure de travail rigoureux, le sac s'éclairait enfin, et illuminait certaines parties du motif déjà présent sur sa surface. Au lieu de cacher les fils qui servent à faire passer le courant, les enfants préféraient généralement les utiliser de manière esthétique, créant des formes et des dessins avec, ralentissant d'autant le processus mais leur laissant la possibilité de s'exprimer avec tous les éléments du système.

#### *Variations ?*

La nature même de l'atelier et son aspect unique n'a pas permis de voir beaucoup de variations. Au contraire, un grand nombre d'artefacts reposaient sur le même principe d'interaction, celui du bouton, ou du switch. Apparemment simple, ce mécanisme de programmation à deux états est pourtant très apprécié par les enfants qui y voient un moyen de manifester leur action sur le monde et leur capacité à déclencher un événement en fonction d'une interaction précise. Les conceptions les plus élaborées consistant à utiliser un microcontrôleur et qui auraient pu permettre la création d'interactions plus sophistiquées n'ont pas été développées ici. La puissance de ce composant est en effet liée à un apprentissage complexe qui dépassait les limites du temps imparti lors de cet atelier. On note également que l'environnement de l'atelier comportait peu d'objets physiques, ce qui a limité les variations en termes de support pour les expérimentations des enfants.

## E4. Atelier capteurs à l'Institut Finlandais

### Situation

#### *Environnement*

Cet atelier s'est déroulé lors du festival Mal-au-pixel ( PixelAche ) en avril 2006 à l'institut Finlandais, dans le centre de Paris. Une dizaine d'enfants de 4 à 8 ans, ainsi que trois adultes ont expérimenté des capteurs électroniques dans un espace utilisé habituellement pour des expositions artistiques et transformé à l'occasion en studio. L'exposition en cours à ce moment là, était l'oeuvre Mystère réalisée par l'artiste Amande In en collaboration avec le CEDUS (Centre National d'Etude et de Documentation du Sucre). Tous les murs de la pièce (50m<sup>2</sup>) étaient recouverts par 200 kg de sucre glace. Le début de l'atelier fut fortement influencé par cet élément, les enfants explorant tous les qualités glucidiques de l'environnement. Une fois les appétits rassasiés, nous avons installé une cinquantaine de capteurs différents sur une table, pour permettre aux enfants de se familiariser avec leur aspect et essayer de comprendre ce qu'il pouvait faire. Parmi ces capteurs, il y avait des télémètres à ultrason pour mesurer une distance, des capteurs de lumière, de température, mais également des micros,

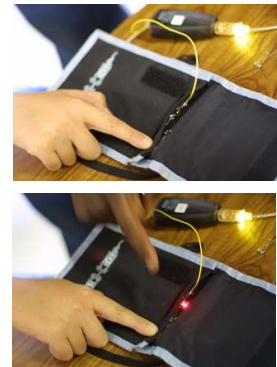
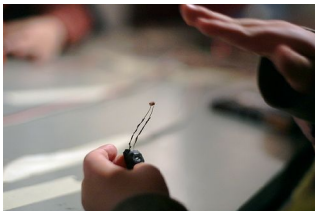
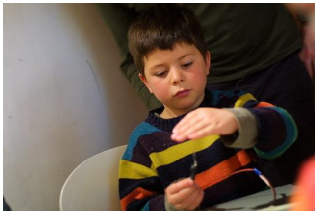


Illustration 37: Mur en sucre



des piezos, des capteurs de capacitance (effet Hall), des accéléromètres, des capteurs d'inclinaison (tilt), des fibres optiques. Il y avait également quelques transducteurs, à la fois capteurs et effecteurs (Leds utilisées comme des capteurs de lumières, moteurs générant de l'électricité).

Les enfants disposés autour de la table pouvaient explorer librement les différents capteurs qui étaient tous reliés à une carte électronique permettant d'avoir un retour auditif sur l'activité du capteur. Une joyeuse cacophonie s'est donc installée très rapidement, chaque enfant essayant de faire plus de bruit que son voisin grâce à son capteur. Les enfants ne se connaissaient pas au départ, et cette compétition sonore a permis rapidement de former des petits groupes opposant les uns aux autres. Nous avons ensuite demandé aux enfants si ils avaient déjà vu des capteurs, et aucun ne savait ce que c'était. Certains ont dit que cela ressemblait aux interrupteurs qu'ils avaient à la maison, d'autres aux portes des grands magasins et enfin, beaucoup d'enfants nous ont parlé des téléphones portables, autre objet technologique qui reste assez "magique" pour eux. Une fois cette activité d'environ une heure terminée, nous avons commencé à expliquer la fonction de chaque capteur avec des exemples.



### *Interactions*

Deux adultes spécialisés dans les technologies pour le spectacle vivant (équipements sensoriels pour les danseurs, installations plastiques interactives) ont expliqué aux enfants en leur montrant (avec des gestes lorsque c'était possible) l'utilisation de chaque élément. Les capteurs de lumière par exemple, que l'on active en rapprochant plus la main eurent un franc succès, tout comme les micros, un des seuls capteurs familier pour les enfants. D'une manière générale, les adultes montraient une interaction possible et l'effet associé, généralement un simple beep selon l'intensité ou un moteur vibrant sur la table. Les enfants essayaient alors de reproduire ces démonstrations afin d'obtenir un résultat similaire. Les plus doués ayant droit au respect des autres et aux applaudissements et rires. Ces derniers aidant ensuite ceux qui n'y arrivait pas en leur tenant littéralement les mains pour qu'ils réussissent le geste nécessaire pour déclencher la captation.

Un point intéressant, à partir d'un certain moment, tous les enfants ont commencé à vouloir manger les capteurs ou interagir avec la bouche et non les mains. Bien que la fonction première d'un capteur n'est pas d'être utilisé dans de telles conditions, il se trouve que certaines caractéristiques de capteurs se trouvaient en cohérence avec ce désir de la part des enfants. Les capteurs de lumière envoyaient un signal si on les met dans la bouche, de même que les thermistors (capteurs de température) et les capteurs de distance. De même, les enfants qui soufflaient pour actionner un micro ont eu un résultat car l'air déplacé par le souffle produit une onde acoustique captée par le microphone. Par contre, avec d'autres capteurs (tilt, résistances variables, capacitance), les résultats étaient mitigées, parfois concluants parfois non. On peut se poser la question de savoir si l'activité précédent l'atelier (dégustation des murs en sucre) n'a pas influencé tout le groupe et invité ses membres à essayer de manger les capteurs.

### Artefacts

*Quels artefacts ?*

Le cadre très exploratoire de l'expérience n'a pas permis de générer beaucoup d'artefacts matériels. Cependant, on peut considérer que les jeux et comportements générés lors de l'atelier sont des artefacts du groupe, des comportements créés par les enfants. Parmi ceux-ci, dans un groupe exclusivement composé de garçons, notons la création de beaucoup de jeux de compétition, où l'on doit manifester qu'on est le plus fort ou le plus apte à utiliser telle ou telle fonction proposée. Des jeux très compétitifs donc, et également des activités destinées à mettre en scène leur capacité d'agir sur le monde. Le capteur comme relais de la propre puissance individuelle, montrée au groupe, miroir social. De la même manière que le microphone, capteur et amplificateur de voix, donne une place privilégiée au chanteur, tout dispositif de captation maîtrisé, investit son possesseur d'une sorte d'aura temporaire, celle de celui qui peut agir différemment des autres et contrôler des événements, programmer le monde par son action.



A la fin de la journée, nous avons utilisé le logiciel Isadora qui permet de relier les capteurs à des effets graphiques et sonores via le protocole OSC (open sound control). Par exemple, en criant dans un micro, les enfants pouvaient faire tourbillonner une image. En approchant plus ou moins leurs mains d'un capteur de lumière, transformer toutes les couleurs d'une image les représentant. Les enfants nous ont demandé si nous pouvions les aider à réaliser un système qui permettrait de comparer différentes grimaces et voir celui qui aurait fait celle qui est la plus "horrible". A l'aide des capteurs, l'étape suivante serait de déformer (morphing) cette grimace pour la rendre "monstrueuse" (littéralement, que l'on montre du doigt, que l'on désigne). Les enfants ont joué pendant une heure environ à ce jeu qui consistait à passer devant une webcam, crier le plus fort possible pour que la webcam prenne une photo (micro reliée à la fonction capture) puis voter et enfin déformer la grimace choisie.



### *Variations ?*

Deux grands types de variations sont apparues lors de cet atelier. Des variations dans la façon d'envisager la fonction des capteurs, et des itérations successives au sein des jeux créés par les enfants. Alors que les instructions données par les

adultes étaient claires quant au fonctionnement des capteurs et de leurs limites, les enfants n'ont eu cesse de chercher à trouver de nouvelles utilisations et fonctions, notamment en explorant leur environnement par la médiation des capteurs. Un capteur de lumière est devenu successivement un objet comestible, une surface sur laquelle on tape (comme un piezo), une baguette de batterie, bref toutes sortes de fonctions que la forme des capteurs inspiraient aux enfants. Les noms des capteurs ont également stimulé l'imaginaire des enfants qui ont fait évoluer un grand nombre de capteur de leur fonction initiale vers de nouvelles applications, changeant leur nom et synthétisant le plus souvent leurs fonctions, que ce soit possible électroniquement ou non.

### Codage ouvert E3-E4

A l'issue de l'investigation systématique des terrains E3 et E4, nous avons organisé de manière hiérarchique les micro-phénomènes observés lors des études et nous les avons regroupés sous des noms les définissant, appelés selon la GT, des concepts. Puis, après avoir retravaillé leur distribution dans cette hiérarchie (suppression des concepts similaires, réorganisation au sein de la hiérarchie), nous avons regroupé ces concepts au sein des catégories suivantes, comme le préconise l'étape de codage ouvert de la GT. Le schéma conceptuel précisant ces opérations se trouve en annexe (CO-E3E4).

#### Exploration

*propriétés:* physiques, électroniques

*dimensions:* affordances physiques, possibilités électroniques

#### Démonstration

*propriétés:* imitation, variations, transfert de compétence

*dimensions:* degré de similarité, nombre de variations, novice vs experts

#### Jeux compétitifs

*propriétés:* socialisation, mise en scène, représentation de soi

*dimensions:* place dans le groupe, niveau d'expertise

#### Crafting

*propriétés:* modification, transformations physiques

*dimensions:* échelles des ressources disponibles pour modifier, degré de personnalisation

#### Utilisation de capteurs

*propriétés:* mesures, erreurs, fausses hypothèses

*dimensions:* plage de calibration, cohérence électrique

#### Programmer le monde réel

*propriétés*: instrumentation, reconfiguration, créations  
*dimensions*: cohérence physique/électronique, échelle de reconfiguration possibles

### Débuggage

*propriétés*: composants comme outils de test, co-débuggage  
*dimensions*: cohérence électrique, possibilités d'interagir à deux (physiques, culturelles)

### Changement de la fonction des capteurs

*propriétés*: réinterprétation de la fonction, manipulation  
*dimensions*: cohérence de mesure, possibilité matérielle, croisements avec l'environnement

## Résultats

Cette deuxième analyse est centrée sur l'interaction entre les enfants et les technologies créatives tangibles ainsi que l'utilisation d'éléments électroniques par les enfants. Comme dans les deux études E1 et E2, les enfants commencent tout d'abord par explorer les propriétés physiques de l'environnement, ainsi que celles des technologies créatives. Ils dégagent un ensemble de possibilités et de contraintes qu'ils perçoivent ouvrant ainsi un espace d'interaction. Dans les deux études présentées ici, la présence d'adultes donne lieu à des démonstrations des fonctions des différentes technologies créatives et de leurs possibilités. Par des procédés d'imitation et de variation, et en fonction du niveau de compétence de chaque enfant, ces possibilités technologiques sont valorisées dans le groupe par le moyen de mise en scènes ludiques souvent menées par les experts. Alors qu'on pourrait s'attendre à ce qu'ils expérimentent les technologies dans l'espace d'interaction proposé par les adultes, les enfants cherchent au contraire à relier des propriétés des éléments du monde réel aux propriétés technologiques. Par le biais du crafting, de la personnalisation matérielle, ils vont ensuite essayer d'instrumenter des objets avec des capteurs et des effecteurs.

Nous avons observé à ce point que les enfants utilisent ces composants dans le cadre de leurs fonctions initiales lorsqu'ils arrivent à les faire fonctionner correctement (la led s'allume, le moteur tourne). Cependant, nous avons observé fréquemment un grand nombre d'erreurs et de fausses hypothèses sur la nature de ces fonctions, leurs contraintes et leurs conséquences. Les adultes essaient à ce moment-là soit de "debugger" avec les enfants, c'est à dire expliquer pourquoi cela ne fonctionne pas et réviser le système, soit de laisser les enfants développer leurs fausses hypothèses et d'essayer d'intégrer les interactions désirées par les enfants dans un système cohérent électriquement, c'est à dire fonctionnel. Cette deuxième attitude conduit à la réinterprétation des fonctions, à la reconfiguration de fonctions existantes pour créer une nouvelle fonction à partir d'anciennes, tout en restant cohérent. Lors de ces épisodes de reconfiguration, la logique et la théorie électroniques sont mises de côté pour laisser place aux possibilités d'associations des objets avec l'environnement. Lorsque les possibilités matérielles ne rentrent pas en conflit avec les contraintes électriques, il y a alors possibilité de croisement avec l'environnement, de reconfiguration écologique.

### 3.2.3. Créativité et interfaces graphiques

#### E5. Atelier papier augmenté Minim++ au centre Pompidou

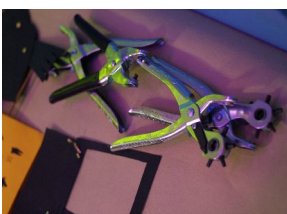


##### Situation

##### Environnement

Le duo d'artistes japonais Minim++, spécialiste des applications de réalité augmentée (utilisation de projection vidéo pour amener le monde virtuel dans le réel) a organisé un atelier au Centre Pompidou en juillet 2005 sur le thème du jeu avec des ombres ("Play with Shadows"). Une dizaine d'enfants entre 4 et 7 ans ont passé une après-midi ensemble dans le but de réaliser des marionnettes de papier, dans la tradition du théâtre d'ombre, très populaire en Asie. Une forte lumière projette les ombres des objets sur une grande toile, où les enfants peuvent créer des histoires en animant les personnages qu'ils ont découpés. Une nuance cependant, dans le cas de Minim++ , le projecteur lumineux est un vidéo projecteur, ce qui permet aux artistes de rajouter des animations graphiques autour des ombres, continuant ainsi en couleur, les histoires imaginées par les enfants.

L'atelier s'est déroulé dans une très grande salle du centre possédant un système de lumière très sophistiqué composé de dizaines de néons de couleurs pilotés par un tableau interactif. L'ambiance générale était très colorée et lumineuse, un peu comme sur un plateau de télévision. La disposition générale était également très spectaculaire, les enfants jouant sur une scène, sous l'oeil attentif de leurs parents disposés autour, comme un public. Dans les coulisses, plusieurs tables ateliers comportant un très grand nombre de matériaux et d'outils pour fabriquer les marionnettes. Du papier bien sûr, mais également un grand nombre de petits éléments métalliques pour fabriquer des articulations, des très grands bouts de bois (bambous) pour faire des tiges ou des structures plus grandes que la taille des enfants.



##### Interactions

Les artistes ont expliqué aux enfants qu'ils allaient partager trois types d'activités ensemble. Premièrement, faire des ombres directement avec les mains, en suivant les modèles écrits sur une feuille d'exemple, comportant une vingtaine de figures animales à reproduire. Le système technologique mis en place par les artistes est en effet préprogrammé, il ne réagit qu'à certaines primitives formelles. Si les enfants ne reproduisent pas ces formes, le système ne les reconnaîtra pas. Deuxièmement, utiliser des outils comme des pinces à emboutir (pinces à emporte-pièce, pinces à avoyer, pinces à ferrer...) pour fabriquer facilement des découpages standard qui serviront à fabriquer des marionnettes. Là encore, ces outils sont choisis car ils standardisent la production des enfants dans le but de permettre à l'ordinateur de suivre ("tracker") ces objets. Enfin, la troisième activité consiste à organiser un jeu qui consiste à courir tout autour de la pièce pour suivre des animations projetées sur les murs. À l'aide d'un prisme monté sur un moteur, les animations réactives aux ombres des marionnettes peuvent ainsi être projetés sur tous les murs de la pièce. Les ombres et les animations peuvent donc "prendre vie" dans un cadre gigantesque, à savoir tout l'espace de la pièce.



Notons que les enfants étaient intégralement sous l'oeil de leurs parents ou d'autres adultes (artistes, encadrants du centre pompidou) pendant toute la durée de l'atelier. Les adultes les aidant ainsi à fabriquer les pièces, à utiliser les outils parfois très gros pour les petites mains des enfants mais également manipuler leurs créations à deux. La manipulation conjointe des marionnettes entre un parent et son enfant est un moyen d'écrire une histoire à deux, d'utiliser une marionnette comme une médiation non-verbale dans l'espace d'autres petites histoires créées par d'autres enfants. L'atelier alternait des épisodes où tout le groupe pouvait s'exprimer en même temps et d'autres, plus séquentiels,



où seulement un enfant (ou un enfant et un de ses parents) pouvait raconter une histoire. Le caractère transitionnel de l'ombre (mi-figuratif, mi-abstrait) engageait fortement les enfants à se mettre en scène tout en restant dans l'ombre, permettant ainsi aux enfants les plus timides (souvent les plus jeunes) d'être au même niveau que ceux qui aimaient être en public (souvent plus âgés).

## Artefacts

### *Quels artefacts ?*

Les enfants ont produit plusieurs types d'artefacts, des ombres avec leurs mains, des marionnettes de papier, des ombres et des histoires issues de l'interaction entre les ombres et le système informatique des artistes. Les ombres faites avec les mains ressemblaient à des animaux, cependant, très peu d'enfants réussirent cet exercice complexe, nécessitant de l'entraînement pour aboutir à un résultat proche du modèle qu'on leur avait donné. Le système de reconnaissance de formes a très mal fonctionné sur ce type d'ombre, l'intérêt était limité pour les enfants. De plus, très vite, les enfants ont commencé à produire des formes arbitraires souvent en s'imitant les uns les autres. Ces formes, très abstraites, ne rentraient pas dans les catégories des adultes, et ne ressemblait à rien de connu. J'ai essayé pendant une demi-heure de les reconnaître, mais elles ne m'ont rien évoqué. J'ai également posé la question aux enfants qui m'ont expliqué toutes sortes d'histoires imaginaires liées à ces formes mais dont aucune n'était réellement reliée aux formes des ombres. J'ai eu l'impression que les enfants se servaient des ombres comme d'un miroir, le simple fait de contempler une représentation d'eux-mêmes suffisant à provoquer l'hilarité et le jeu. Puis, le grand jeu des enfants était de tenter de reproduire les formes miroirs d'autres enfants pour les déformer, un peu comme pour se dire entre eux: "regarde, je représente ta représentation de toi-même".



La deuxième activité au contraire fut plus fructueuse technologiquement. Les artefacts produits grâce aux machines à emboutir correspondaient parfaitement au logiciel de suivi ("tracking") vidéo des artistes. Les marionnettes ainsi

produites ressemblaient toutes à des petits personnages, avec une tête, deux bras mobiles grâce à une petite articulation métallique, ou deux ailes et parfois des petites jambes. Plusieurs bouts de bois permettait à l'enfant de brandir sa marionnette et de la contrôler dans le même espace que les autres enfants. Alors que la marionnette remplissait une zone de l'écran, différents motifs apparaissaient donc autour d'elle comme des fleurs, des arcs-en-ciel ou des papillons et des oiseaux. Notons que beaucoup d'enfants ont fabriqué (découpé) des marionnettes avec des formes libres, souvent des motifs abstraits ou de couleurs. Dès que ces objets étaient repérés par les encadrant du centre Pompidou, ils invitaient les enfants à arrêter de produire ces formes et les réorientaient vers les machines, produisant des éléments standards, reconnus par le logiciel. Les enfants n'écouter pas les encadrants, ceux-ci se dirigeaient alors vers les parents pour qu'ils disent à leurs enfants d'arrêter et de produire des formes standard. Tous ces artefacts non sélectionnés furent regroupés dans un endroit spécifique, sorte de poubelle, de "galerie des refusés", ceux qui ne passeraient jamais sur la scène.

### *Variations ?*



Les trois types de projets proposés aux enfants étaient des activités dirigées. Du fait de la présence d'un logiciel de reconnaissance de formes, tous les artefacts produits devaient nécessairement répondre à des contraintes en terme de forme et de couleurs (obligatoirement noir). Les variations étaient donc volontairement minimisées, contrôlées, un peu comme dans une expérimentation de laboratoire. Cependant, le jeu avec des ombres, initialement prévu pour produire des figures animales a en fait généré de nombreuses variations sur le thème de la représentation de soi et du détournement de l'image de l'autre. La fabrication des marionnettes s'est soldée par deux types d'objets. Un premier groupe constitué de trois types de personnages sensés représenter les enfants et un deuxième groupe (celui des "refusés") plus libre, évoluant au gré de l'inspiration des enfants et de leur appréhension du dispositif de projection. A la fin de la journée, tous les enfants sont repartis avec une marionnette standard qui aurait pu être fabriquée par les artistes et non par eux, que l'on retrouve d'ailleurs dans d'autres ateliers organisés au Japon par Minim++.





## E6. Atelier scratch au Mit Medialab

### Situation

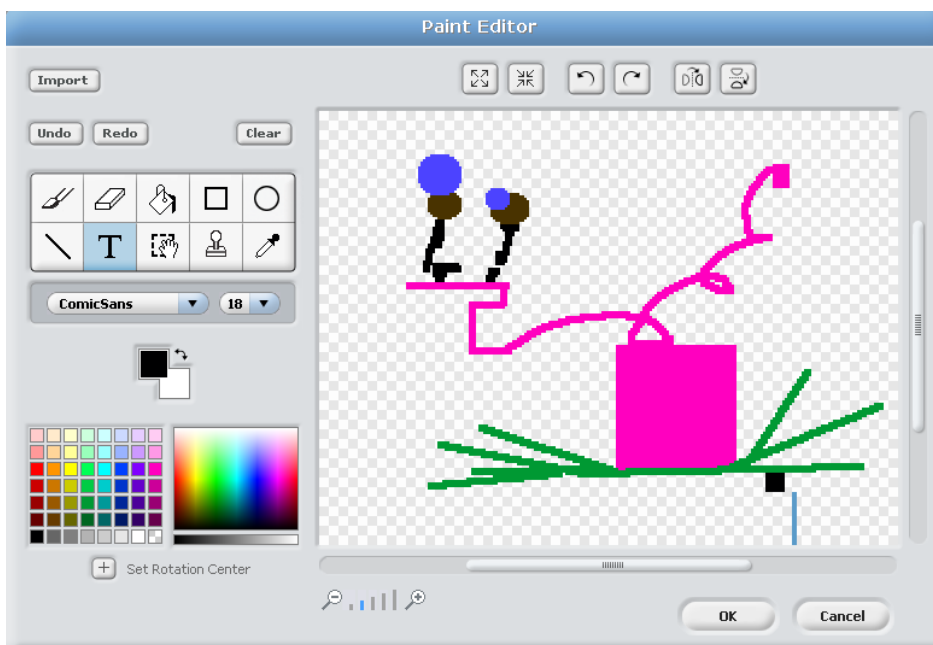
#### *Environnement*

À l'occasion d'une présentation de mes travaux de thèse au laboratoire de recherche sur les technologies créatives pour enfants du MIT Medialab appelé le LLK (Lifelong Kindergarten: la maternelle tout au long de la vie), j'ai pu rencontrer d'autres chercheurs intéressés comme moi par l'interaction entre les enfants et les machines. Un de ces chercheurs, Jay Silver, m'a demandé un soir si je voulais participer à un atelier le lendemain avec un magicien (Magic Seth), ce à quoi j'ai immédiatement répondu oui. Technologie et magie vont bien ensemble, surtout pour des jeunes enfants, je voulais donc en savoir plus. L'atelier s'est déroulé au mois de juin 2007 près de Harvard Square, avec des enfants du quartier, dans le sous-sol d'un centre communautaire, très vaste (500 m<sup>2</sup>), entièrement à la disposition des enfants. Alternant activités de plein air (jeux d'eaux, activités ludiques dans la ville) et activités en intérieur, ce centre propose chaque jour un environnement créatif et technologique aux enfants.



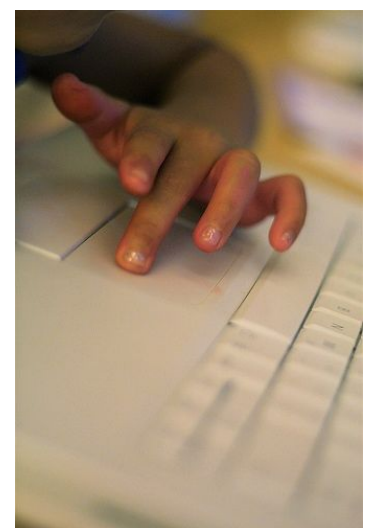
Des ordinateurs sont à disposition et toutes sortes de jouets comme des milliers de Lego dont les mindstorms (programmables), des interfaces musicales, toutes sortes de canons, jeux de plateaux, bref, un eldorado ludique. De plus, toutes sortes de vieilles machines électroniques sont également présentes dans le but d'être disséquées, démontées, reconfigurées et intégrées à d'autres machines. De vieux magnétoscopes côtoient des jeux de cartes, des pistolets à eau et des billes de couleurs. Un environnement complexe donc, composé d'objets de différents types en très grand nombre (une bonne quinzaine d'armoires remplies d'objets est à la disposition des enfants). Un jouet très populaire parmi les enfants était l'écran magique ("etch-a-sketch"), observation singulière si l'on considère que cet objet a été créé il a bientôt cinquante ans (en 1959, par un français, Arthur Granjean) et ressemble à un petit ordinateur bimanuel.

Le but de cet atelier était de présenter un logiciel de programmation pour enfants dénommé Scratch, développé au MIT Medialab. Ce logiciel permet de créer simplement des animations et des jeux vidéos de manière algorithmique par le biais d'un langage de programmation visuel, à l'aide de blocs emboîtables à l'écran. Sept enfants de 4 à 8 ans ont passé une après-midi à découvrir ce logiciel ludique, héritier du fameux Logo créé dans les années 80 par Seymour Papert. Le logiciel Scratch est une sorte de jeu de construction logicielle, qui permet d'explorer un micro-monde ("microworld") sensé développer la pensée scientifique et informatique. Il comporte quatre zones: une contenant les instructions logicielles (contrôles, mouvement, sons, variables...), une recevant ces instructions et permettant différents assemblages, une scène ("stage") où sont exécutées les instructions et un répertoire d'éléments graphiques appelés "sprites". Il y a également un éditeur graphique ("paint editor") qui permet aux enfants de fabriquer eux mêmes leurs "sprites".



### Interactions

Le début de l'atelier a commencé par une introduction au logiciel où les instructeurs ont demandé aux enfants de nommer les différentes zones de l'interface graphique du logiciel. Puis, ils ont montré différents projets réalisés par d'autres enfants dans des ateliers précédents, des sortes de petites histoires animées ou interactives. A la fin de cette introduction rapide, ils ont dit aux enfants qu'ils allaient pouvoir fabriquer eux-même ce genre d'animations. Les instructeurs ont ensuite montré à chaque enfant installé derrière son propre ordinateur (un ordinateur par enfant) comment faire déplacer ou tourner sur lui-même un personnage, comment choisir un personnage dans la bibliothèque graphique livrée avec Scratch et comment créer eux-même leurs personnages grâce à l'éditeur graphique. Les enfants ont ensuite commencé à utiliser le logiciel, mais pendant plus d'une heure, ils ne faisait pas grand chose, car ils étaient trop concentré à essayer de bouger la souris des ordinateurs. Les machines à leur disposition étaient en effet des portables, comportant un pointeur de type "trackpad" ou "touchpad" peu évident à manier pour des enfants ou des novices en informatique. Le début de l'atelier a donc consisté à explorer les contraintes physiques du dispositif afin de pouvoir en saisir les dimensions. La plupart des enfants n'avaient jamais utilisé de "trackpad" (sauf un)



et on peut noter qu'au bout d'une heure la plupart arrivait à pointer très lentement certes, mais avec une certaine précision. On retrouve ici les mêmes résultats que les études de Hourcade sur les micro-mouvements de pointage chez les jeunes enfants ("sub-movement analysis" IDC 2006).

Les enfants ont ensuite commencé à utiliser le logiciel, notamment pour faire des petits dessins ou utiliser les possibilités de mouvement pour animer des "sprites" collectés dans la bibliothèque graphique. Dès qu'un enfant réalisait quelque chose qu'il estimait être particulièrement intéressant, tout l'atelier s'arrêtait, tous les autres enfants le rejoignait pour voir ce qu'il avait produit. Une vingtaine d'événements de ce type se sont produits, parfois pour voir une belle création graphique parfois pour montrer un code informatique complexe ou produisant un effet inattendu, amusant. Ces interruptions collectives, facilitées par la disposition des ordinateurs autour de la table, et encouragées par les instructeurs, ont permis ensuite de répliquer ces "trouvailles" chez tous les enfants. Dès qu'un élément ou une fonction logicielle était rendue publique, les enfants voulaient savoir comment faire pour l'utiliser à leur tour dans leur propre espace logiciel. Il s'agit donc de contempler la production de l'autre pour ensuite se l'approprier avec son propre matériau (graphique, logiciel).



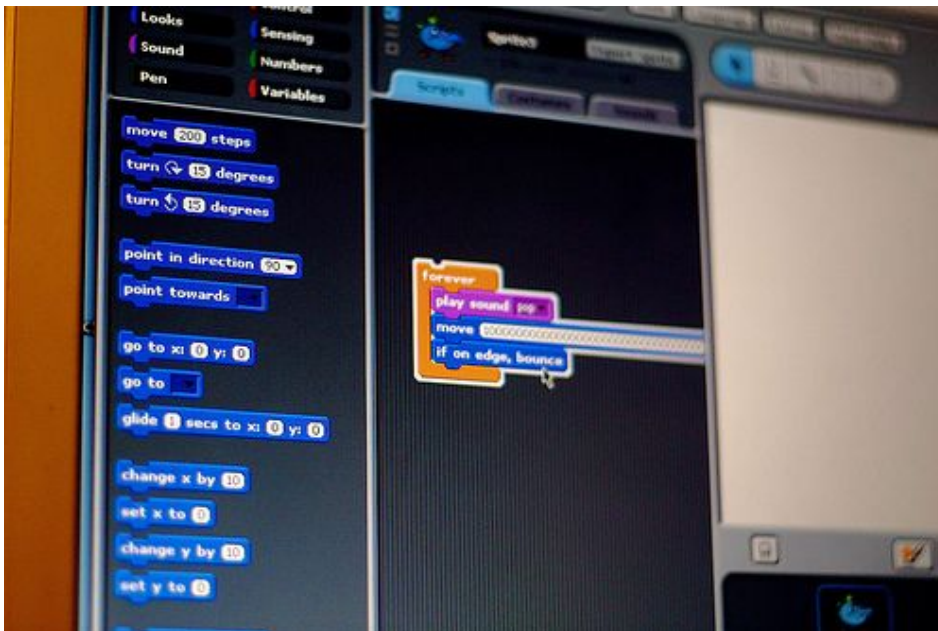
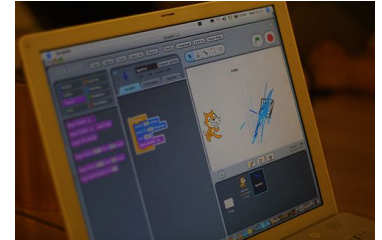
L'auteur expert cède donc une partie de sa production (autorité) aux non-experts. Une économie symbolique est donc à l'oeuvre ici: l'enfant expert échange un moment de gloire éphémère (mise en scène de sa production) contre le partage avec le groupe (possédant des compétences différentes). L'insight individuel est récompensé par un statut prestigieux dans le groupe, qui bénéficie à son tour de la diffusion de structures remarquables. Le logiciel Scratch permet de soutenir ce genre de phénomènes de manière asynchrone. Il existe en effet un site internet où les enfants peuvent partager leurs créations, puis les autres enfants vont visiter leur page et peuvent s'ils le souhaite récupérer directement le code de l'animation ou du jeu interactif. Le nombre de visiteurs et le nombre de téléchargements agissant comme des indicateurs de popularité similaires à ce qu'on observe lors d'un atelier.



## Artefacts

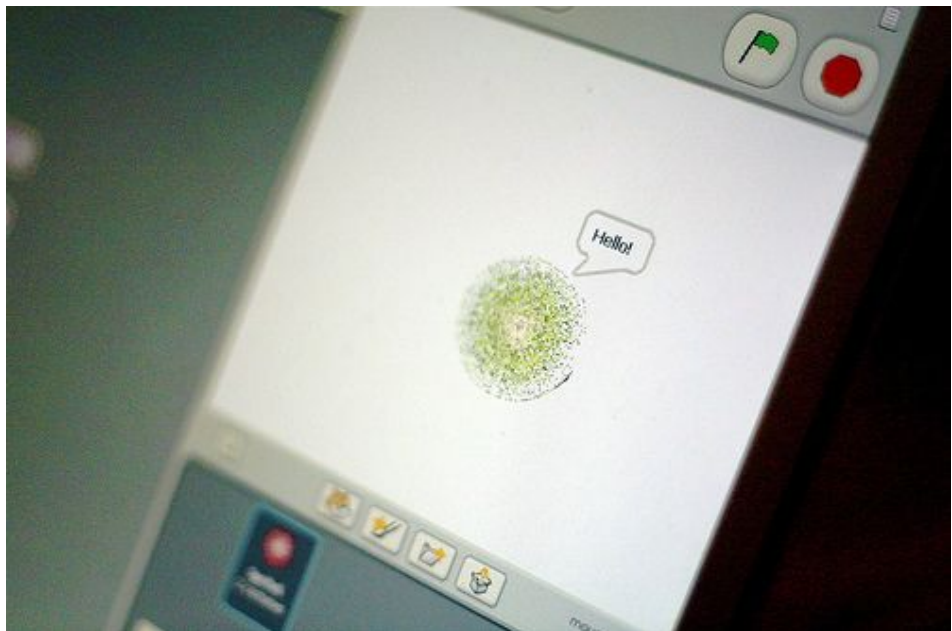
### Quels artefacts ?

La plupart des animations produites par les enfants étaient très simples. Une rotation combinée avec un mouvement, un changement de couleur, souvent pas d'animation mais simplement un petit dessin. Ils n'ont pas essayé d'explorer la combinaison des fonctionnalités du logiciel mais plus l'exploration parfois radicale de chaque fonction disponible. Au lieu d'intégrer plusieurs fonctions pour créer un assemblage complexe, ils ont au contraire poussé le logiciel dans ces retranchements comme pour mieux en saisir les limites, les contours, c'est-à-dire le cerner. Une des animations qui a eu beaucoup de succès est cette rotation ultra-rapide des sprites pour qu'il ne reste à la fin que des figures géométriques. La combinaison de ce genre d'instructions avec le déclenchement d'un son à pour effet de quasiment bloquer l'ordinateur, lui demandant beaucoup plus qu'il ne peut en faire, limite très appréciée par les enfants. Un autre exemple concerne l'utilisation des cases de saisies de valeurs numériques. Leur petite taille indique qu'il semblerait logique d'y installer un nombre entre 0 et 1000, cependant nous avons observé fréquemment les enfants remplir la case en laissant les doigts appuyés, générant des valeurs à trente chiffres. Les enfants exploraient donc chaque élément du logiciel jusqu'à un point de rupture, où soit le logiciel ne fonctionnait plus, soit la zone d'entrée de la fonction n'était plus visible. C'est une forme d'exploration méthodique des dimensions de la fonction, provoquant généralement beaucoup d'effets inattendus, surtout pour les adultes dont certains étaient les concepteurs du système.



Nos observations se sont également concentrées sur les interactions avec les éléments graphiques du logiciel. En plus des quelques "sprites" de base du logiciel, les enfants peuvent naviguer dans une riche collection de "sprites" rangées dans différentes catégories (animaux, personnages fantastiques, objets du quotidien...). Une fois chargés dans l'éditeur d'image, ces objets peuvent être modifiés, c'est à dire recoloriés, déformés ou encore redessinés. Les encadrants de l'atelier ont fréquemment conseillé aux enfants d'utiliser ces images comme

base de départ à modifier, avec dans l'idée de permettre aux enfants de s'exprimer et de ne pas les contraindre à utiliser des motifs ou des images qui ne leur correspondaient pas. Par exemple, de nombreux exemples montrés contenaient des voitures, sensées être animées par les enfants pour faire par exemple des petites animations ou des jeux de course. Nos observations ont montré que les enfants préféraient créer à partir de rien des formes très abstraites, n'évoquant rien de connu (non-figuratives). Un certain nombre reproduisant notamment des formes de type "Etch-a-sketch", aux motifs orthogonaux et plus ou moins aléatoires. D'autres fabriquaient plutôt des images pointillistes, méticuleusement composées d'assemblages de points de couleurs dispersés. D'une manière générale, leurs productions graphiques étaient beaucoup plus simples que celles proposées par le logiciel, cependant, une fois animées par les fonctions du logiciel (rotation, morphing...) elles produisaient des résultats tout à fait étonnants.



### *Variations ?*



Les dessins et animations produites par les enfants ont été modifiés au cours des itérations successives et des interruptions décrites plus haut. Un grand nombre de fonctions ont été détournées de leur usage initiale dans une perspective exploratoire, radicale, de recherche de limites jusqu'à une certaine ligne de rupture. De plus, les enfants n'ont pas utilisé l'application de dessin pour modifier des personnages existants dans la bibliothèque mais plus pour créer des formes abstraites à partir d'une surface vierge, ouverte. Cependant, ces formes ressemblaient à d'autres éléments dans le contexte des enfants, comme leurs jouets ("Etch-a-sketch", Lego) ou des objets désassemblés, déconstruits pour voir comment sont constitués leurs mécanismes internes. Les variations successives des dessins des enfants partaient donc d'éléments logiciels pour devenir de plus en plus des représentations d'éléments du monde extérieur, une tension s'établit donc entre collection techno-logique et répertoire éco-logique. Enfin, les itérations du code et des instructions logicielles ont bénéficié d'épisodes sociaux, de collaboration et de célébration. Plus que la médiation technologique, c'est bien une médiation humaine qui a permis d'échanger certaines structures logicielles et graphiques.

## Codage ouvert E5-E6

A l'issue de l'investigation systématique des terrains E5 et E6, nous avons organisé de manière hiérarchique les micro-phénomènes observés lors des études et nous les avons regroupés sous des noms les définissant, appelés selon la GT, des concepts. Puis, après avoir retravaillé leur distribution dans cette hiérarchie (suppression des concepts similaires, réorganisation au sein de la hiérarchie), nous avons regroupé ces concepts au sein des catégories suivantes, comme le préconise l'étape de codage ouvert de la GT. Le schéma conceptuel précisant ces opérations se trouve en annexe (CO-E5E6).

### Ressources de l'environnement

*propriétés:* objets, espaces, activités

*dimensions:* jouabilité, potentiel de détournement, public/privé, intérieur/extérieur

### Utilisation d'outils

*propriétés:* outils libres, exploration, standardisation

*dimensions:* vitesse, erreurs, cohérence

### Démonstration

*propriétés:* programmation, vidéos

*dimensions:* niveau de difficulté, modalités de communication

### Interaction avec les adultes

*propriétés:* jeu, manipulation conjointe, surveillance

*dimensions:* degré d'interaction, possibilités d'interaction, échelle de bienveillance

### Insight

*propriétés:* partage, transfert, autorité, égo

*dimensions:* degré de partage, niveau de transfert, indice de popularité

### Postures manuelles

*propriétés:* représentation de soi, détournement de l'image de l'autre, improvisation

*dimensions:* figuration/abstraction, réflexivité, imitation, transformation

### Fabrication d'objets standards

*propriétés:* cohérence avec le système, compatibilité

*dimensions:* degré de cohérence, indice de compatibilité

## Détournements

*propriétés:* objets, fonctions

*dimensions:* transformation, similarité avec des fonctions précédentes

## Exploitation de zones libres

*propriétés:* intégration systémique, transferts écologiques

*dimensions:* cohérence avec le système, similarité avec l'environnement

## Exploration radicale

*propriétés:* limites, ruptures, déconstruction

*dimensions:* niveau d'exploration, nombre de bugs, indice d'introspection

## Résultats

Cette troisième analyse nous montre que les ressources de l'environnement permettent d'encourager la jouabilité, le détournement ainsi que toutes sortes d'activités mélangeant le public et le privé, l'intérieur et l'extérieur. L'utilisation d'outils physiques par les enfants manifeste combien la tension est grande entre la production d'artefacts standards, conformes aux outils et les approches plus exploratoires, souvent plus lentes, avec plus d'erreurs et moins cohérentes. Lors de démonstrations, les adultes encadrants et instructeurs tentent d'ailleurs de minimiser la plupart du temps ces productions à contre-courant, ils standardisent la créativité, le plus souvent avec des raisons légitimes. À l'inverse de ces comportements surveillants, certains adultes sont au contraire bienveillant, au sens où ils ne cherchent pas à appliquer une règle standard mais plutôt à augmenter l'interaction ludique et utilisent fréquemment la manipulation conjointe, pour transférer des compétences aux enfants. Lorsque ceux-ci produisent quelque chose qu'ils estiment être remarquable, nouveau ou intéressant, ils rendent alors cet insight public. En échange du don des structures de leur production, ils bénéficient du respect de leur autorité.

Notons également que les enfants fabriquent souvent des objets "standards", respectant la cohérence du système dans lequel ils se trouvent. Cependant, ces objets sont souvent des détournements, objets ou fonctions transformées, aux usages nouveaux. Parfois encore, la présence d'une fonction originale n'est pas nécessaire, il y a alors exploitation d'une zone libre, ouverte, à remplir en relation avec l'environnement, dans une perspective écologique. Enfin, notons le transfert de l'exploration physique, courante chez les enfants, vers le monde du logiciel. De la même manière qu'un enfant brise un jouet pour mieux comprendre comment il fonctionne, nous avons observé que les enfants poussent les fonctions logicielles jusqu'à leurs limites, leur point de rupture, pour mieux les déconstruire et ainsi les cerner, les comprendre.

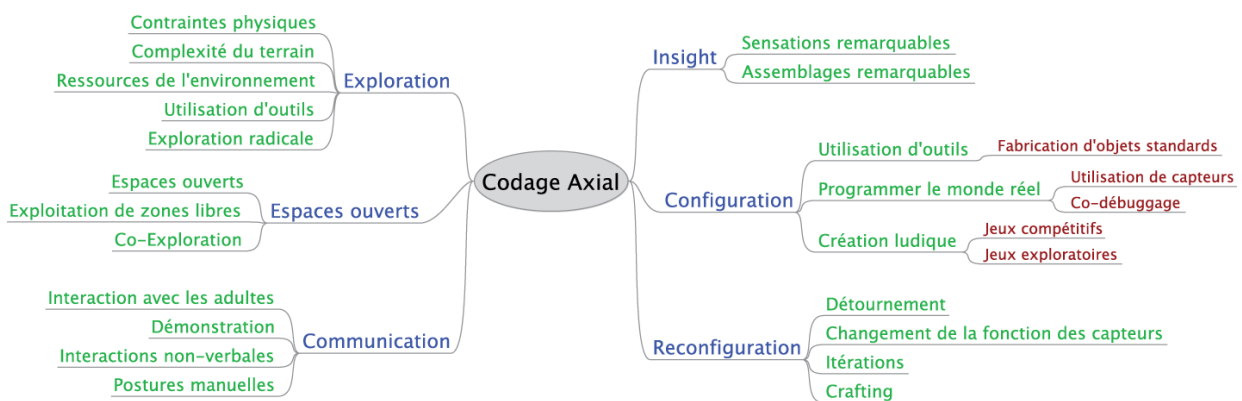
Nous allons maintenant regrouper tous les résultats de nos analyses ouvertes pour mettre en perspective les différentes propriétés et dimensions conceptuelles des catégories présentées plus haut.

### 3.3. Analyse

Comme le préconise la Grounded Theory, la phase de codage ouvert doit être suivie de deux phases comparatives et complémentaires, le codage axial et le codage sélectif.

#### 3.3.1. Codage axial

Cette phase consiste à rassembler les données fracturées par le codage ouvert. On cherche alors à comprendre comment les éléments se combinent les uns aux autres ou se chevauchent. Afin de manifester les combinaisons possibles entre différentes catégories et concepts, nous avons choisi d'élaborer une carte conceptuelle. Cette représentation non-hiérarchique des éléments nous a permis d'identifier six catégories principales ainsi que leurs propriétés et dimensions.



Ce schéma manifeste la nature complexe de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives, notamment les composantes :

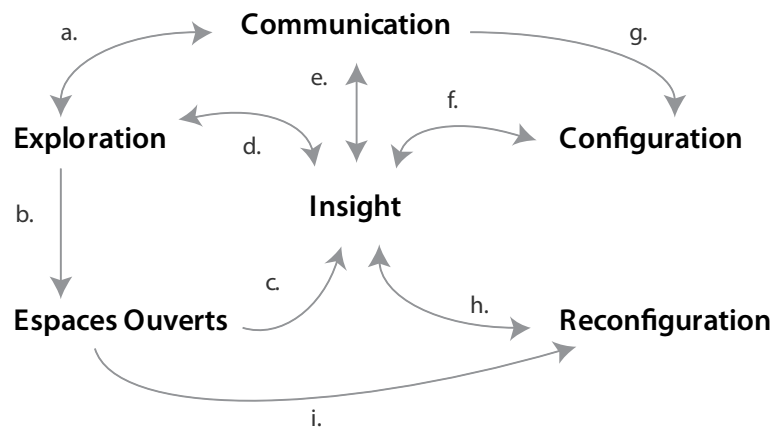
- individuelles (exploration, espaces ouverts, insight)
- sociales (communication, insight de groupe)
- objectales (configurations, reconfigurations)

Pour comprendre comment ces composantes sont liées entre elles, il faut se placer non pas dans une perspective hiérarchique (comme dans ce schéma) mais plutôt dans une perspective de graphe, manifestant la nature des échanges entre ces différentes propriétés. Nous allons donc maintenant analyser comment ces différentes catégories sont agencées les unes par rapport aux autres, comme le préconise la GT.



### 3.3.2. Codage sélectif

Dans cette phase, nous allons spécifier les concepts et catégories suivant leurs interactions et présenter les différentes composantes de ce que Strauss et Corbin appellent un paradigme, c'est à dire l'ensemble de causes, actions et conséquences constituantes de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. En reprenant les résultats du codage axial, et en le comparant à nos données, nous pouvons maintenant établir un graphe relationnel, manifestant les interactions entre différentes catégories conceptuelles.



L'analyse de ce schéma nous permet maintenant de comprendre plus en détail les causes, les processus et les conséquences de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. Nos observations montrent que lors de nos six ateliers, les enfants commencent très souvent par explorer l'environnement et les technologies autour d'eux, souvent en utilisant certaines technologies pour ces explorations. Cette appréhension des contraintes physiques et de la complexité du terrain leur permet d'apprécier les ressources présentes. Cette exploration est très souvent radicale : les enfants cherchent des lignes de ruptures pour cerner les contours de leur potentiel d'interaction. Notons que cette phase est souvent sensorielle, située dans un contexte d'intégration transmodale, parfois synaesthétique. Ces explorations entraînent alors soit la manifestation d'espaces ouverts (flèche b.) soit la communication (flèche a.) avec d'autres enfants, notamment par le biais d'interactions non-verbales, souvent par démonstration et parfois par l'utilisation de postures manuelles et la manipulation conjointe d'objets. Si cette communication permet un insight (flèche e.) il y a alors, possibilité de revenir à l'exploration (flèche d.) ou à la co-exploration notamment d'espaces ouverts (flèche b.). La communication peut également entraîner directement la configuration (flèche g.) c'est-à-dire l'agencement sélectif de propriétés fonctionnelles de l'interface utilisée par les enfants. Enfin, les reconfigurations sont soit des configurations qui sont transformées après un insight (flèches f. et h.), soit directement dérivées d'un insight après exploration ou communication (flèches d. et h. ou e. et h.). Notons qu'une reconfiguration puis un insight peut aboutir grâce à la communication à un insight groupal en termes d'exploration ou de configuration et reconfiguration. Un enfant qui reconfigure devient alors un modèle pour les autres qui changent alors leur action en fonction de leur expérience de l'expérience de l'autre. Cette intersubjectivité médiatisée par les artefacts permet de renégocier la motivation groupale ainsi que les possibilités d'insight chez chaque enfant.

Nos résultats paradigmatiques sont donc les suivants :

### Causes

Les origines de l'interaction entre les enfants et les machines reposent en grande partie par un attrait et un désir d'explorer l'environnement qui les entoure, notamment de manière sensorielle et radicale.

### Interactions

Les enfants configurent et reconfigurent les technologies créatives soit par sélection, soit par transformation. Ils découvrent également des espaces ouverts qui leur permettent de créer de nouvelles configurations.

### Conséquences

La communication par l'exemple, non-verbale et co-manipulatoire des reconfigurations et explorations permet d'influencer l'insight et la motivation individuelle et groupale.

## 3.4. Résultats

Les terrains étudiés ont révélé à leurs manières les différentes dimensions et propriétés de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives, qu'elles soient graphiques ou tangibles. Les différents niveaux d'abstraction, de comparaison et d'analyses conceptuelles effectués dans le cadre de la Grounded Theory nous ont permis de manifester les relations entre les différentes composantes individuelles, sociales, et objectales de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. Nous pouvons donc maintenant montrer précisément comment s'articulent ces différentes composantes grâce à un système composé de six catégories conceptuelles. Ce système montre notamment comment les enfants reconfigurent les interfaces technologiques créatives et également créent de nouvelles fonctions sans recours à une fonction préexistante, notamment par l'utilisation d'espaces ouverts. En reprenant notre définition de l'exaptation technologique au chapitre 1.1 nous pouvons donc maintenant dire que :

L'interaction entre les enfants et les technologies créatives est donc un phénomène d'exaptation.

Les enfants reconfigurent les technologies à partir de fonctions existantes (adaptation co-optée) et créent des fonctions qui n'ont pas d'origine fonctionnelle (cooption). Les espaces ouverts facilitent l'élaboration de fonctions de ce type, elles sont donc comparables aux Ecoîçons (« Spandrels ») de Gould, puisque ces espaces n'ont pas de fonction propre, elles sont des zones

interstitielles radicales, à la marge : des « functionless byproducts ». Nous avons montré de plus comment la communication ainsi que l'insight individuel et groupal articulent l'élaboration et la dissémination de ces transformations et créations fonctionnelles.

### 3.5. Synthèse

*Les contributions de ce chapitre sont les suivantes :*

Présentation de la **Grounded Theory** et de la méthode **microanalytique** qui permet différents niveaux de codage des données (ouvert, axial, selectif).

Elaboration d'une **grille d'examen qualitatif** sur deux niveaux: analyse de la **situation** technologique (Environnement, Interactions) et analyse des **artefacts** et de leurs **échanges** (Nature, Variations)

**Examen systématique de six terrains** et manifestation de micro-phénomènes regroupés sous forme de catégories articulées autour de propriétés et de dimensions.

Intégration des résultats sous forme d'un schéma regroupant les catégories principales ainsi que leurs sous-catégories (codage axial). **Manifestation de la nature individuelle, sociale et objectale de l'interaction** entre les enfants et les technologies créatives.

Elaboration d'une **représentation relationnelle des catégories** et examen **paradigmatique** (causes, interactions, conséquences) des six terrains.

**Manifestation de la nature exaptive** de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives, notamment de la différence entre reconfigurations adaptives et configurations nouvelles à partir d'espaces ouverts (spandrels).



## 4. Exaptation

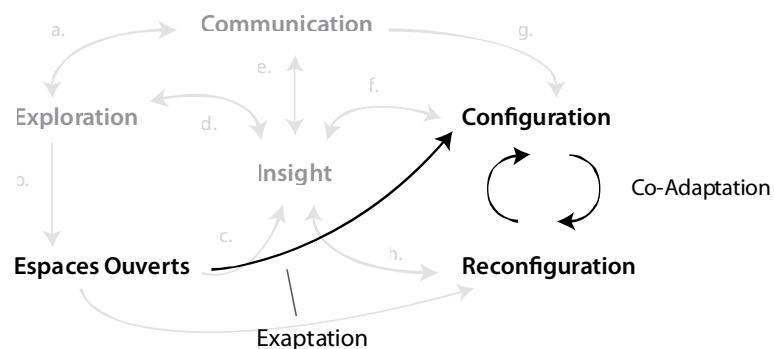
*Ce chapitre expose notre thèse ainsi que ses implications pour l'IEM et l'IHM.*

4.1. Thèse.....	85
4.2. Discussion.....	86
4.3. Implications pour l'IEM et l'IHM.....	87
4.4. Synthèse.....	88

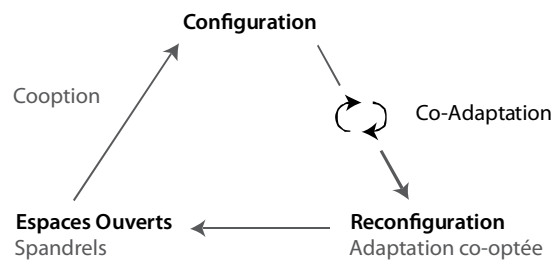
### 4.1. Thèse

L'interaction entre les enfants et les technologies créatives est un phénomène d'exaptation

Les résultats de notre analyse qualitative (chapitre 3.4) de six terrains montrent en effet que dans des situations d'interaction technologique, les enfants configurent et reconfigurent les interfaces créatives soit en modifiant des fonctions existantes soit en créant des fonctions à partir d'espaces ouverts, non-fonctionnels. Nous avons suivi la méthode de la Grounded Theory pour révéler six propriétés fondamentales de l'IEM créative. Nos résultats manifestent non seulement la nature exaptative de ce phénomène mais également le cadre paradigmatique (Strauss & Corbin, 1998) dans lequel il se déroule, c'est à dire ses origines, ses processus et ses conséquences, sous forme de système. Nous les avons exposé au chapitre 3.3 dans un schéma que nous pouvons maintenant réviser en fonction de notre thèse d'exaptation.



Ce schéma montre les liens entre espaces ouverts, configuration et reconfiguration technologiques. Il manifeste notamment la dimension co-adaptative (Mackay, 1990) de l'interaction entre les enfants et les technologies, c'est-à-dire comment les enfants non seulement utilisent les technologies mais les modifient par des agencements fonctionnels sélectifs (configuration) ou des transformations (reconfiguration). Il met également en évidence que les coadaptations ne sont pas l'unique source de créations fonctionnelles mais que les espaces ouverts, non-fonctionnels permettent également de créer des fonctions (cooption) qui peuvent par la suite être reconfigurées (adaptation co-optées). L'exaptation manifeste ainsi la nature des différents types de reconfigurations fonctionnelles ainsi que leurs origines et leurs conséquences individuelles, sociales et objectales. Nous pouvons à présent établir un schéma simplifié de nos résultats qualitatifs, manifestant la dynamique de l'exaptation technologique dans le cas des interfaces créatives pour enfants.



Nous allons maintenant examiner la nature du processus d'exaptation, notamment ses propriétés paradigmatiques (origines, interactions, conséquences) manifestées dans notre étude. Nous discuterons ensuite des implications de ce phénomène pour le domaine de l'IEM et également de l'IHM.

## 4.2. Discussion

Les enfants transforment et créent de nouvelles fonctions lorsqu'ils interagissent avec des interfaces créatives. Ce phénomène d'exaptation technologique est tout d'abord un processus, il se déroule dans le temps de l'action enfantine, différent de celui des adultes. L'exaptation est souvent précédée de phases exploratoires, sensorielles et radicales, permettant la manifestation remarquable (insight) d'assemblages ou d'espaces ouverts (spandrels). Leur découverte peut alors entraîner soit la création d'une fonction nouvelle soit la communication à d'autres enfants que cet espace ouvert existe, ainsi que l'invitation à l'explorer à plusieurs, conjointement, parfois dans le même mouvement. C'est une sorte de discours topologique récité avec le corps: un topologue<sup>10</sup>. La communication de ces propriétés se fait souvent de manière non-verbale et ne peut donc pas être manifestée seulement par une transcription des paroles des enfants ou par l'étude de leurs artéfacts. Les origines de l'exaptation échappent aux observations qualitatives classiques (Analyse Conversationnelle) ainsi qu'aux

<sup>10</sup> néologisme inspiré d'un célèbre article de René Thom à propos de la géométrie existentielle chez les philosophes grecs (Aristote topologue, 1996).

analyses qui se fondent sur l'étude des artefacts (Ethnographie, Techno-anthropologie).

Étudier l'origine des exaptations, c'est donc comprendre comment l'expérience enfantine de l'espace et de ses ressources s'agence au niveau individuel et social.

Les usages et modifications technologiques révèlent également leur nature dynamique, temporelle. De nombreux facteurs influencent les différents types d'exaptation (cooption, adaptation co-optée) qu'il convient donc d'étudier en tant que processus. Les épisodes de configuration et reconfiguration technologiques sont inscrits dans un contexte. Le simple « monitoring » ou enregistrement des versions logicielles ou matérielles successives ne suffit donc pas à révéler leur nature et leur inscription dans un processus complexe, intriqué.

Étudier le processus d'exaptation nécessite donc de capturer à la fois des indices technologiques mais également des structures au niveau individuel et social.

Les conséquences de l'exaptation se manifestent en termes d'insight et de motivation. L'insight est l'expérience d'un changement qui affecte les relations structurant la situation (pour un individu ou pour un groupe) : c'est une restructuration (Ohlsson, 1984). Cette description de l'insight se fonde sur l'argument préalable de l'existence d'une perception organisée du monde chez l'enfant, un ensemble nommé Gestalt (Kohler, 1925) qui a été manifestée par Wertheimer (Productive Thinking, 1959) chez les enfants. Deuxième conséquence de l'exaptation, l'influence sur la motivation. Nous retiendrons la définition du psychologue américain Mihaly Csikszentmihalyi (Flow, 1990) pour qui la motivation est l'aptitude à affronter l'altérité (challenges) en fonction de compétences (skills). Chez les enfants, la motivation est optimale lorsqu'il y a un équilibre entre ces deux facteurs. Les composantes de cet état, appelé Flow ressemble beaucoup à celles décrites par Winnicott (Jeu et réalité, 1971) à propos de l'expérience du jeu libre chez l'enfant<sup>11</sup>.

Étudier les conséquences de l'exaptation nécessite donc d'examiner les différents changements de perspectives affectives et cognitives de la situation chez les enfants (restructurations) ainsi que les dimensions de l'expérience créative en termes de challenges et de compétences.

Nous avons montré dans ce paragraphe quelles sont les caractéristiques du paradigme d'exaptation technologique chez les enfants. L'étude des causes, processus et conséquences de l'exaptation implique donc une approche scientifique appropriée, respectant la nature *expérientielle*, *contextuelle* et *perspectiviste* de ce phénomène. Nous allons maintenant examiner quelles sont les implications de cette approche pour la discipline de l'IEM et également pour l'IHM.

### 4.3. Implications pour l'IEM et l'IHM

L'exaptation technologique définit l'interaction entre les enfants et les machines comme un phénomène contingent, non déterministe. De nombreux auteurs en IHM ont souligné que les systèmes interactifs, intégrant des personnes humaines,

<sup>11</sup> les dimensions affectivo-cognitives de l'espace potentiel.

ne sont pas prédictibles, et que les concepteurs d'applications et dispositifs proposent des fonctions technologiques sans être sûrs qu'elles seront utilisées de la manière dont ils avaient prévu (Mackay, 1990, Letondal, 2000, Dourish, 2001). Très souvent en effet, les utilisateurs, la situation et le contexte d'usage perturbent leurs désirs. Afin de concevoir des systèmes, ces auteurs préconisent l'étude émergente de l'interaction, dans une perspective qualitative. Ils préconisent également de fabriquer les systèmes avec leurs utilisateurs (conception participative) et de favoriser la modification ou la programmation *flexible* du système par l'utilisateur final (end-user programming). Dans cette lignée, nous pensons que l'étude de l'exaptation doit se faire de manière complexe, et émergente, en respectant un pluralisme méthodologique. Nous avons montré en 4.2 que cette étude nécessite le respect des composantes existentielles, contextuelles et perspectivistes en jeu lors de l'interaction entre les enfants et les machines.

Étudier l'exaptation en IEM ou en IHM doit donc être un exercice de recherche mixte, convoquant des méthodes et théories provenant de multiples disciplines (quantitatives, qualitatives, complexes) voire de prendre en compte des données recueillies par les acteurs du terrain.

Nous allons donc présenter dans le chapitre suivant une méthode d'étude de l'exaptation à partir d'observations faites par les enfants, ainsi que des dispositifs technologiques leurs permettant de documenter et d'explorer leurs processus créatifs, ainsi qu'une boîte à outils permettant de concevoir ce type de dispositifs.

#### 4.4. Synthèse

*Les contributions de ce chapitre sont les suivantes :*

**Énoncé de notre thèse: l'interaction** entre les enfants et les technologies créatives **est un phénomène d'exaptation.**

Examen systématique des différences entre **adaptations co-optées** et **cooption**, et mise en relation avec le mécanisme de co-adaptation.

Présentation des **implications** de ce résultat pour l'IEM et pour l'IHM.



## 5. Outils méthodologiques et technologiques

*Ce chapitre présente une méthode pour l'étude de l'exaptation appelée Epistémologie Créative ainsi que des outils d'observation et d'exploration multimédias et tangibles permettant ces études. Afin de permettre aux enfants et aux designers de prototyper ces outils, nous examinerons également une boîte à outil mixte qui facilite la génération de ces interfaces.*

5.1. L'épistémologie créative.....	89
5.1.1. Définition.....	89
5.1.2. Approche : La créativité vue par les enfants.....	92
5.2. Outils d'observation et d'exploration.....	93
5.2.1. Définition d'un espace de conception.....	93
5.2.2. Observation et exploration individuelle.....	95
5.2.3. Observation et exploration sociale.....	107
5.2.4. Evaluation.....	115
5.2.5. Discussion.....	116
5.3. Outils génératifs.....	118
5.3.1. Définition d'un espace génératif.....	118
5.3.2. La boîte à outils EXAPTIVE.....	120
5.3.3. Evaluation.....	128
5.3.4. Discussion.....	129
5.4. Synthèse.....	130

### 5.1. L'épistémologie créative

#### 5.1.1. Définition

Comme nous l'avons montré au chapitre précédent, la nature exaptive de l'interaction entre les enfants et les technologies impose d'adopter une stratégie particulière pour comprendre les phénomènes de ce type ainsi que pour concevoir les dispositifs pour enfants. Etudier la créativité dans le contexte technologique nécessite donc une méthode et des outils appropriés. Nous proposons ici une méthode que nous appelons l'Epistémologie Créative (EC) et que nous définissons comme :

L'étude de l'exaptation à partir de données recueillies par les enfants.

Nous avons choisi le terme épistémologie en référence au savoir que les enfants construisent lors de leur interaction avec le monde. Edith Ackermann rappelle en effet à propos de la tension entre instruction et construction<sup>12</sup> : le savoir est une expérience à construire. Plus spécifiquement, cette méthode propose d'étudier l'interaction entre les enfants et les technologies créatives de manière:

- Réflexive
- Complexe
- Co-exploratoire

### **Perspective Reflexive**

C'est une méthode réflexive, insistant sur la spécificité de respecter le point de vue des acteurs du terrain. Au lieu de collecter des observations seulement depuis l'extérieur, comme dans les méthodes qualitatives classiques (utilisabilité, conception participative), cette méthode propose de recueillir également la perspective des enfants. Ce renversement du regard trouve ses origines dans de nombreuses disciplines, comme la phénoménologie (Les objets nous regardent, Merleau-Ponty, Les Relations avec autrui chez l'enfant, 1964), également l'ethnométhodologie (Garfinkel, *Studies in ethnomethodology*, 1967), la psychologie (Perspective-Taking and object Construction, Ackermann, 1996) ou encore l'éducation expérimentale (Reggio Emilia, *Hundred Languages of Children*, 1998). En plus des données extrinsèques au terrain, observables depuis le lieu des adultes, l'idée est ici de convoquer les capacités d'observation et d'exploration des enfants pour documenter leurs processus et artefacts créatifs. Le but n'est pas ici de réfuter l'importance des observations faites par les adultes, mais de manifester en quoi la présence de chercheurs dans un milieu d'enfants peut être un biais. En comparant des données issues d'adultes et celles collectées par les enfants, nous pourrions alors mieux comprendre certaines problématiques: Est-ce que le regard des adultes modifie le comportement des enfants, notamment leurs intentions, et leur sens de l'autonomie. Jouent-ils de la même manière s'ils sont observés ou non (par des adultes, ou bien par des machines comme les caméras de vidéosurveillance ou les systèmes dits de « monitoring »).

### **Observation Complexe**

Comme nous l'avons montré au 4.2, l'étude des causes, processus et conséquences de l'exaptation implique une approche scientifique appropriée, permettant de capturer les dimensions expérientielles, contextuelles et perspectivistes de ce phénomène. L'Epistémologie Créative est donc une méthode qui recommande l'observation complexe du terrain afin d'intégrer ces différentes dimensions. Par complexe, nous définissons un cadre scientifique ouvert, articulant observations qualitatives et quantitatives mais n'ayant pas comme but l'élaboration d'un modèle abstrait ou déterministe du terrain étudié. Il s'agit plutôt de trouver d'identifier des structures remarquables, voire des corrélations ou des invariants, comme dans certaines pratiques scientifiques modernes mais sans nécessairement les inscrire dans un modèle. De nombreuses

---

<sup>12</sup> Knowledge is not information to be delivered at one end, and encoded, stored, retrieved, and re-applied at the other end. Instead, knowledge is experience to be constructed through interactions with the world (people and things) (Constructing knowledge and transforming the world, in *Sharing representations and flow in collaborative learning environment*, M.Tokoro & L. Steels Eds. 2004)

disciplines comme la physique quantique, ou bien l'astrophysique, l'économie ont ainsi réfuté l'approche déterministe comme unique approche scientifique. Niels Bohr montre ainsi comment il a utilisé le principe de correspondance (« correspondance principe ») pour effectuer ses recherches alors qu'il ne pouvait pas construire de modèle scientifique adéquat. Un grand nombre de ses recherches descriptives prirent tout leur sens des années plus tard, lorsque les cadres théoriques permettant l'élaboration de modèles permirent d'intégrer ses données. De la même manière, nous pensons que l'étude de l'expérience créative, de l'environnement ou des différentes perspectives des enfants lorsqu'ils interagissent avec des technologies créatives ne peut pas facilement être modélisée avec les référentiels scientifique actuels. Nous proposons donc, dans l'attente de ces modèles, de produire des descriptions qui manifestent les différentes perspectives et niveaux de détail de l'expérience subjective des enfants et de l'exploration de leur environnement. Ces descriptions peuvent prendre la forme de représentations qualitatives (enregistrements audiovisuels, stéréoscopiques, gestuels, artefacts numériques ou physiques) ou plus quantitatives (données de capteurs, données de systèmes).

### Co-Exploration

Co-explorer, c'est permettre aux chercheurs en créativité, aux concepteurs, de questionner le point de vue des enfants par l'« exploration conjointe » des données recueillies et sélectionnées par les enfants. Nous utilisons ce terme en référence au concept psychologique d'attention conjointe c'est-à-dire la capacité de l'enfant à orienter son regard dans la même direction, vers le même objet que le regard de son partenaire adulte. Afin d'accéder à l'expérience exaptive des enfants, il ne suffit pas d'observer les données qu'ils ont observées, mais plutôt d'explorer avec eux la manière dont ils se voient dans le monde, de regarder leur regard. Accéder à l'expérience de la construction du monde par les enfants, nécessite donc d'observer ce que Tomasello (*The cultural origins of human cognition*, 1999) appelle la « scène attentionnelle conjointe », un espace où l'enfant met en scène la représentation de lui-même et de ses constructions incidemment à celle de l'autre, ici un chercheur adulte. En représentant leur action et en désignant des objets, les enfants manifestent leur expérience en la comparant à celle des adultes. En explorant conjointement, les adultes peuvent ainsi représenter les intentions des enfants par un processus d'identification interchangeable, qui n'a lieu que lorsque le sujet accède au statut de narrateur et d'acteur de l'épisode ou du récit dont il fait l'expérience en jouant simultanément les deux rôles (Ricoeur, in Mansour-Robaey, 2005). L'espace constitué des observations recueillies par les enfants et explorées conjointement avec les adultes agissent ainsi comme « théâtre externe », permettant l'observation de leur subjectivité. De plus, en laissant le soin aux enfants de choisir ce qu'ils veulent montrer ou non, cette démarche leur permet de différencier les éléments qu'ils veulent garder pour eux (intimité) de ceux qu'ils désirent communiquer aux chercheurs (extimité<sup>13</sup>). Ce mécanisme permet d'éviter les situations de panoptique (Foucault, 1975) courantes dans les études menées classiquement avec des enfants. Par exemple, pour les six études menées au chapitre 3, nous avons la plupart du temps demandé aux parents si nous pouvions prendre des photos, nous n'étions pas obligé de le faire avec les enfants (éthiquement et légalement). Cependant, comme expliqué au chapitre 3.1, nous l'avons quand même fait car le fait de leur demander et de leur montrer les photos que nous prenions a permis de créer une économie symbolique, facilitant l'élicitation (méthode de la photo-interview).

<sup>13</sup> L'intimité surexposée, Serge Tisseron, 2002

Nous allons maintenant préciser l'approche pour opérationnaliser l'Épistémologie Créative, une méthode d'observation réflexive, permettant de recueillir des données complexes et des explorations conjointes.

### **5.1.2. Approche : La créativité vue par les enfants**

Pour que les enfants puissent recueillir, sélectionner et parcourir des données empiriques concernant leur expérience créative, il leur faut des dispositifs d'observation et d'exploration appropriés et pas seulement des éléments théoriques comme ceux présentés plus haut. Peu d'interfaces numériques permettent actuellement de réaliser ces objectifs, la plupart des outils qualitatifs utilisés avec des enfants étant des objets analogiques (appareils photos jetables par exemple). Cependant, suivant l'approche constructionniste (Microworlds, Papert, 1980), des chercheurs ont montré que les enfants pouvaient fabriquer eux-mêmes des dispositifs numériques d'investigation scientifique quantitative (Beyond Black Boxes, Resnick & al, 2000) (World Sthetoscop, Hayashi, Abe & Kay, 2003). Dans le domaine qualitatif, des recherches comme celles menées au Smart Toys Lab (Intel + Mattel, 2001) ou encore par Cati Vaucelle (Moving Pictures, 2005) ou Elisabeth Sylvan (AskMobi, 2006) ont proposé des interfaces technologiques permettant de capturer des vidéos et de les explorer ensuite, de manière individuelle ou en groupe, à l'aide d'interfaces tangibles permettant littéralement de manipuler les séquences vidéos (de manière physique). Cette tendance montre deux aspects : les enfants peuvent participer à la démarche de la science (children as scientists) et ils peuvent directement produire des observations du monde s'ils utilisent des outils appropriés.

C'est ce même double constat que nous avons établi au début de cette thèse en 2004, notamment sous l'influence des objets fabriqués par le Smart Toys lab comme le célèbre microscope USB Intel Play QX3 ou la caméra Digital Movie Creator, des jouets totalement fonctionnels, qui ne se résument pas au « faire semblant » mais permettent de faire. D'une certaine manière, ces dispositifs sont des descendants d'objets tels que la caméra PixelVision PXL2000 (Fisher price, 1987) ou encore du Dynabook d'Alan Kay (A computer medium for all ages, 1972) dont la vision était de donner aux enfants la capacité de lire mais également d'écrire des programmes et des images. Beaucoup de recherches liées aux technologies interactives pour enfants cherchent à améliorer les compétences littéraires des enfants. Cependant, dans un monde computationnel et médiatisé, il est intéressant de comprendre également comment ils peuvent déconstruire ces discours en maîtrisant la lecture et l'écriture de code informatique et de récits audiovisuels, deux formes différentes mais néanmoins similaires de « programmes » (littéralement écrire ou raconter à l'avance : pré-dire des possibles).

Si l'on considère donc que les enfants sont des scientifiques (Alison Gopnik, The Scientist as a Child, 1996), il faut comprendre quel type d'outils sont le plus appropriés pour leurs investigations. Nous pensons qu'une approche adéquate pourrait se nommer « la créativité vue par les enfants » qui consiste en l'exploration réflexive, complexe et la co-exploration grâce à des dispositifs de captation numérique. L'avantage de ces objets est de faciliter la mise en perspective, l'exploration et la documentation (dans un sens patrimonial) par la liaison forte entre programmation computationnelle et récit audiovisuel. Il s'agit donc de fabriquer des dispositifs de description, d'enregistrement, de récits plutôt que des technologies de monitoring. Il convient également de célébrer le point de vue des enfants lorsqu'ils agissent les images plutôt que de filmer leurs activités ou enregistrer leurs artefacts de manière automatique (datalogging). Pour guider l'élaboration de ces dispositifs, nous reprendrons certains résultats de notre étude qualitative présentée au chapitre 3. Notamment les dimensions

tangibles, d'imitation, de co-manipulation et d'exploration dégagées lors de l'examen des différents terrains.

Nous allons maintenant présenter différents prototypes de dispositifs permettant d'étudier l'exaptation en permettant aux enfants d'observer et d'explorer leurs processus, artefacts et environnements créatifs.

---

## 5.2. Outils d'observation et d'exploration

---

Dans ce chapitre, nous allons proposer différentes classes de dispositifs permettant l'étude de l'exaptation dans le cadre défini par l'Epistémologie créative. Après avoir présenté un espace de conception indiquant les choix que nous avons faits pour concevoir ces interfaces, nous présenterons des technologies permettant l'observation et l'exploration individuelle et sociale.

### 5.2.1. Définition d'un espace de conception

Afin de concevoir et d'évaluer différents outils pour l'étude de l'exaptation, nous allons dans un premier temps explorer systématiquement les différentes propriétés et dimensions des interfaces d'observation et d'exploration pour enfants en les organisant à l'intérieur d'un espace de conception (design space). Cet espace est informé par l'identification des « observables », à la fois par l'analyse systématique de la littérature dans le domaine des interfaces graphiques et tangibles, effectuée au chapitre 1.2. mais également par les résultats de notre étude empirique de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives présentée au chapitre 3.4. Nous ne retiendrons pas toutes les catégories dégagées lors de ces analyses mais celles qui nous semblent adaptées pour la conception d'outils d'observation et d'exploration, notamment:

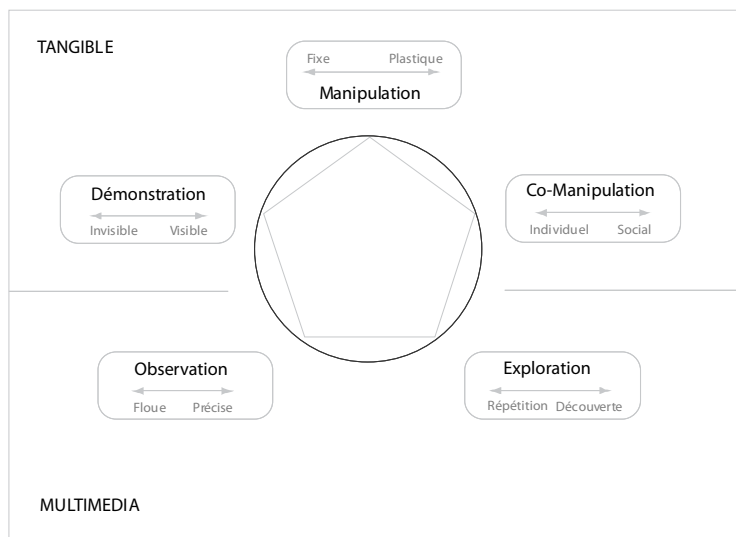
- *L'environnement* (Exploration, Espaces ouverts, Co-Exploration)
- *La communication* (Démonstration, Imitation, Non-Verbale, Gestuelle)
- *L'expérience créative* (Insight)
- *Les artefacts* (Configurations, Reconfigurations)

En croisant ces objets à observer et les différentes classes de dispositifs présentées au chapitre 1.2. nous pouvons maintenant choisir quelles seront les propriétés et dimensions qui informeront les dispositifs que nous allons concevoir. Nous choisissons donc de créer des interfaces *tangibles*, qui permettent la manipulation physique, la co-manipulation et la démonstration dans le but d'inciter à l'imitation (non-verbale, gestuelle).

Nous choisissons également de créer des interfaces *multimédia*, utilisant les flux audiovisuels, car ils sont appropriés pour manifester les propriétés complexes de l'environnement, documenter les artefacts et mettre en scène l'insight. Les interfaces multimédias seront définies selon deux dimensions, *l'observation*, et *l'exploration*. Le tableau suivant présente les propriétés de notre espace de conception ainsi que leurs dimensions.

Propriétés	Dimensions
<b>Tangible</b>	
Manipulation	Fixe ←————→ Plastique
Co-Manipulation	Individuel ←————→ Social
Démonstration	Invisible ←————→ Visible
<b>Multimédia</b>	
Observation	Floue ←————→ Précise
Exploration	Répétition ←————→ Découverte

Nous pouvons donc représenter l'espace de conception sous forme de graphique. Nous reprendrons cette représentation radar à la fin de ce paragraphe pour caractériser les différents dispositifs que nous avons conçus selon ces propriétés et dimensions. Le pentagone au centre du cercle est un exemple idéal d'un dispositif qui permettrait une manipulation plastique, une co-manipulation sociale, des démonstrations visibles, des observations précises et des découvertes exploratoires.



Nous allons maintenant présenter différents types de dispositifs qui permettent l'étude de l'exaptation au niveau individuel et qui ont été conçus selon l'espace

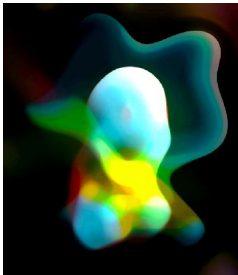
de conception tangible et multimédia.

### 5.2.2. Observation et exploration individuelle

#### Explorations initiales

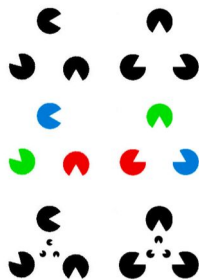
Afin de comprendre les dimensions tangibles de l'espace de conception, nous avons commencé nos recherches par une phase exploratoire. Ces aspects n'étant pas courant en informatique (classiquement centrée sur le développement d'interfaces graphiques), il convenait de se familiariser avec ce mode d'interaction physique et d'éprouver leurs caractéristiques. Nous avons donc exploré la notion de tangibilité à travers trois prototypes non-fonctionnels.

#### Interfaces amorphes

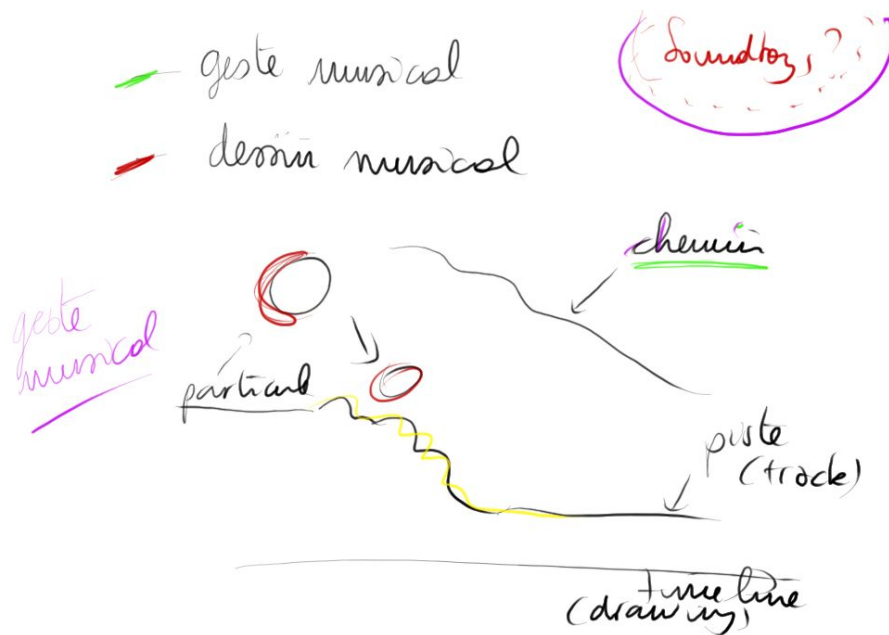


Les matériaux plastiques ont des propriétés intrigantes, notamment celle d'être amorphes, c'est-à-dire sans organisation structurale particulière. L'interaction physique, la manipulation de ces objets permet d'informer un ordre, un agencement. Après avoir exploré de nombreux matériaux de ce type (polymères, silicones) nous avons notamment étudié les possibilités offertes par la silly putty, un dérivé plastique siliconé, composé essentiellement de PDMS (polydimethylsiloxane) qui est un liquide viscoélastique. Ce matériau a pour originalité de présenter différents états en fonction de l'énergie qu'il reçoit. Il peut notamment passer de l'état liquide à l'état élastique et de l'état élastique à l'état solide. Nous avons réalisé plusieurs concepts d'interfaces possédant ces propriétés, notamment un petit objet anthropomorphe qui pourrait contrôler des flux vidéos lorsque on change sa forme physique (une sorte de filtre physique). Ces recherches nous ont amenés à considérer l'espace constitué par le voisinage de l'objet, lieu de l'interaction et de la publication des possibilités d'interaction. Nous avons particulièrement étudié les rapports entre l'action manuelle et la perception de l'objet par rapport à son contexte, comment la manipulation permet de mettre un ordre dans la perception visuelle, et de séparer l'objet qu'on touche avec les mains, de son environnement qu'on touche avec les yeux. Aucune interface n'a été réalisée mais cette étude nous a montré l'importance de la transmodalité perceptive (synesthésie) et des aspects d'ensemble (gestalt) dans la conception d'interfaces manipulables.

#### Dessin musical



Cette deuxième étude préliminaire, toujours dans le but d'appréhender la notion de tangibilité, s'est orientée vers les aspects synesthésiques, gestaltistes, et temporels de l'interaction physique. Nous avons élaboré plusieurs scénarios d'interfaces tangibles pour la création et l'exploration couplée entre les couleurs et le son. En se fondant sur l'étude de dessins de jeunes enfants, nous avons questionné la notion de partition musicale physique : qu'entendrions-nous si nous pouvions écouter les dessins d'enfant ? Si un objet pouvait utiliser les traits colorés comme des portées musicales, quelles invariants noterions nous entre des structures ondulatoires visuelles et des vibrations acoustiques ?



Nous avons donc conçu un scénario très simple d'objets optosoniques permettant d'explorer l'environnement (comme les dessins d'enfants) et les transformer en son. En couplant le geste, la couleur et le son, nous avons pu remarquer l'importance de certaines configurations spatiales lors de l'interaction, qui lorsqu'elles sont dans un certain ordre, font naître des contre-formes de leur agencement. Cette notion, issue de la Gestalt, souligne que lors de la démonstration spatiale, de la manifestation des propriétés d'objets physiques, tout ce qui n'est pas l'objet montré compte autant que l'objet lui-même, que l'objet montré montre surtout tout ce qu'il n'est pas. Cette notion importante sur le cadre et la perspective se retrouvera plus tard dans nos travaux sur les caméras tangibles.



## Plush Microprobe

Enfin, nous avons exploré la tangibilité sous l'angle des possibilités matérielles et électroniques, notamment en réfléchissant à l'élaboration d'un objet très simple, une balle, qui serait informée de sa position au monde, capable de connaître sa position et son mouvement (proprioception) mais également de connaître ses réactions situées (kinesthésie) à l'aide de capteurs de différents types dont un gyroscope. Cet objet sonde (probe) pourrait être en textile élastique à l'extérieur, constitué d'une couche solide de plastique à l'intérieur (bi-injection) et renfermer un noyau composé de capteurs et d'électronique miniaturisée. Un tel objet permettrait d'explorer l'environnement comme les enfants le font déjà avec leur main ou leurs yeux, mais la différence est que cet objet, contrairement aux parties de leur corps, est mobile, détaché d'eux, à distance (médiatisé). Cette propriété le rend donc échangeable, en particulier avec d'autres enfants qui pourraient également s'en servir pour faire leurs observations avec ce même objet.

Motivé par les récentes avancées dans le domaine des moteurs gyroscopiques, nous pensions qu'il était possible de permettre à cette balle de se déplacer toute seule, en roulant par énergie cinétique perpétuée dans le gyroscope. Certaines voitures fonctionnent bien selon ce principe, et même certains robots comme



RoBall (Michaud, 2000). Cette Microsonde est donc une sorte de robot dont la texture extérieure (douceur, propriétés textiles) lui confèrent un aspect affectif, comme certains objets auxquels s'attachent les enfants: un doudou-robot. Cependant, cette recherche ne dépassa pas le stade conceptuel car il était très difficile à prototyper (notamment pour des raisons d'intégration électronique et d'énergie, courantes à cette échelle).

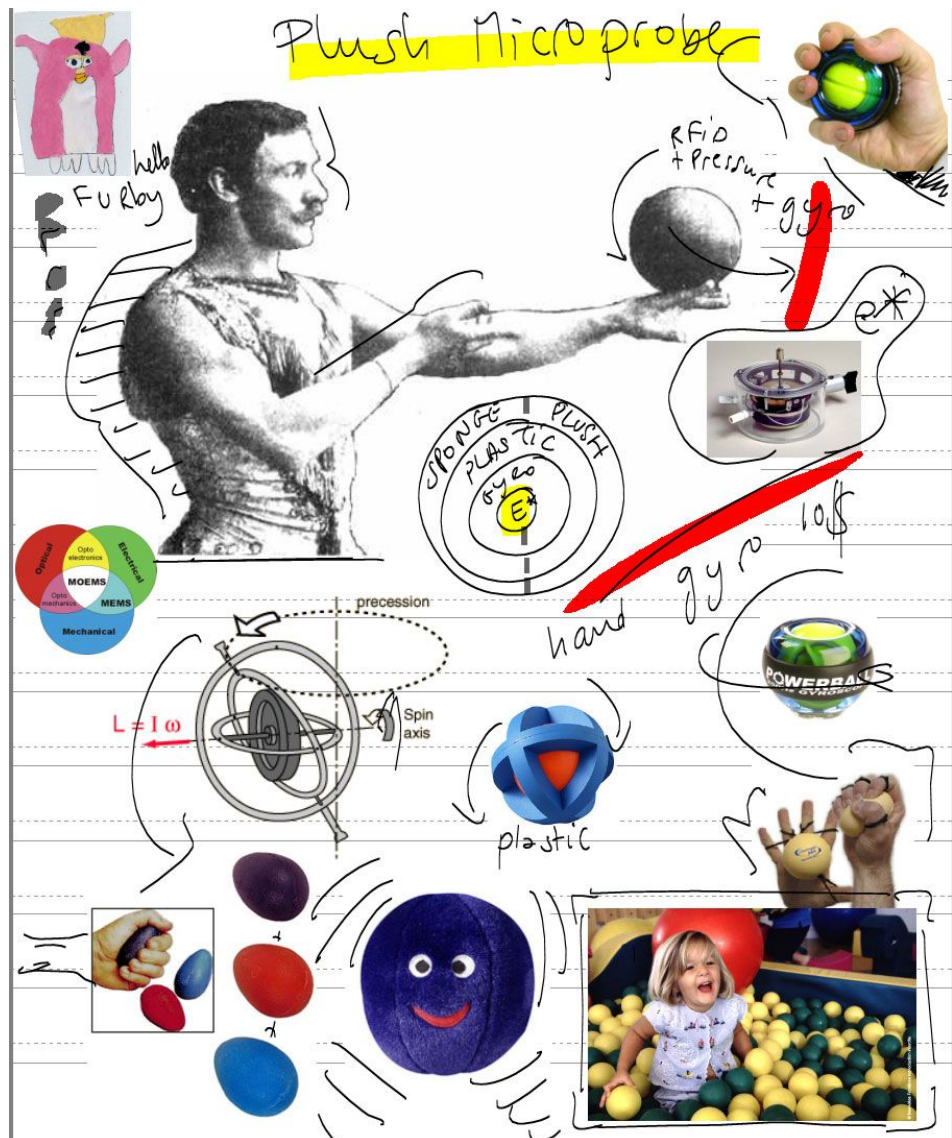


Illustration 38: Plush MicroProbe

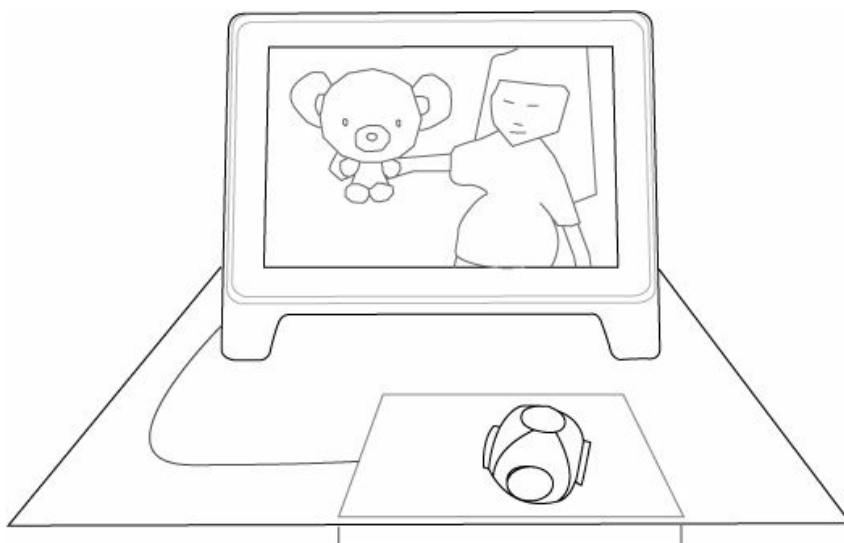
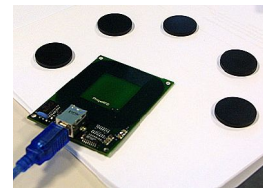
Les résultats de ces explorations préliminaires nous montrent que la tangibilité impose certaines contraintes, notamment en ce qui concerne l'intégration de composants électroniques ainsi que pour les problématiques d'énergie électrique. Ces interfaces manifestent également des propriétés intéressantes en terme de manipulation (couplage visu-moteur), de simplicité d'utilisation et de nouveaux types d'interaction. Nous présentons maintenant deux contrôleurs vidéo tangibles s'inspirant de ces résultats.

## Contrôleurs tangibles

Un contrôleur est un dispositif qui permet d'agir sur des objets numériques. Il est appelé encore dispositif d'entrée, car il permet à un utilisateur de piloter un système par le biais de différentes commandes. Dans le cas de l'exploration de flux vidéo, ces commandes sont par exemple la lecture (play), la pause, etc. Nous avons décidé d'isoler chacune de ces commandes et de comprendre quel serait un bon moyen de les activer à l'aide d'une interface tangible. Nous présentons ici deux interfaces de ce type, la première qui permet de contrôler six commandes d'exploration vidéo, et la deuxième, qui contrôle en même temps la prise de vue et l'enregistrement.

### VideoCube

Cette interface matérialise les fonctions de lecture, pause, enregistrement, retour rapide, avance rapide et ralenti sous forme des six faces d'un cube dans lesquelles sont insérés des tags RFID (Phidget). Ces tags (puces électroniques) émettent un signal capté par une antenne placée en dessous de la surface d'une table sur laquelle est posée un écran. Inspiré par les crayons multicolores utilisés par les enfants et qui permettent de changer rapidement de couleur par rotation manuelle, nous avons fabriqué cet objet très simple dans l'objectif de rendre possible notamment la manipulation mais également la co-manipulation pour l'exploration de flux vidéo. Les tags RFID, une fois insérés et préalablement isolés magnétiquement entre eux par une feuille de papier métallique permettent une manipulation très rapide et le passage quasi instantané entre l'état de lecture et celui d'arrêt (comme la barre d'espace des logiciels de montage vidéo) mais également à celui d'avance rapide, de retour rapide et surtout d'enregistrement. Dans nos évaluations informelles avec les enfants, c'est cette possibilité de s'enregistrer puis revenir en arrière, se revoir, se réenregistrer très rapidement qui les a intéressé. Un peu de la même manière qu'on peut revenir sur ce qu'on dit, ou répéter en utilisant le langage oral, cette caractéristique liée aux affordances de l'objet permet d'élaborer un discours visuel rapide, de parler les images. Sur une camera vidéo classique ou sur un appareil photo doté de fonctionnalités vidéo, ces deux interactions sont généralement séparées, dans deux modes différentes (bouton rond rouge rec et bouton vert triangulaire play).



Le VideoCube permet de passer très rapidement du mode play au mode rec. C'est une interface tangible inspirée par les nombreux kits de construction tangibles présentés au chapitre 1.2. qui se différencie notamment par son orientation audiovisuelle mais également par le fait que ce système ne demande pas d'énergie dans le cube pour fonctionner. Les tags sont alimentés par induction électromagnétique (par l'antenne), ils ne doivent pas être rechargés et peuvent être insérés à l'intérieur d'un objet qui peut être totalement scellé, et donc approprié même pour de jeunes enfants. Cette propriété rend également l'objet très solide, on pourrait imaginer fabriquer des objets ludiques de ce type qui pourraient avoir la forme de balles rebondissantes ou de jouets.

### Baguette Magique



Afin d'accélérer encore le passage entre les deux modes d'enregistrement et de lecture, nous avons fabriqué une baguette magique (Magic Wand) composée d'un tube de plexiglas et d'un accéléromètre deux axes (Phidget). Reliée à un écran surplombé d'une caméra vidéo, ce dispositif permet de contrôler la distorsion plane de l'obturateur de la caméra pour obtenir des effets de type slit-scan. Ce procédé inventé au début du siècle et utilisé par de nombreux photographes comme Doisneau, Andrew Davidhazy, Ansen Seale ou des réalisateurs (Kubrick, 2001 l'odyssée de l'espace) permet de fabriquer des photos où tous les éléments présents dans la photo n'ont pas été enregistrés en même temps. Un visage pris en photo alors qu'il tourne sera alors représenté avec les yeux et les oreilles sur le même plan, comme dans certaines peintures de Picasso. En manipulant la baguette de bas en haut ou de gauche à droite, ils peuvent donc composer des photos comportant plusieurs instances d'eux-mêmes. Classiquement, cette action nommée copier-coller doit se dérouler dans un logiciel de retouche d'images. En matérialisant cette fonction et en permettant l'interaction en temps réel, nous avons observé que les enfants profitaient de l'effet de feedback pour repositionner leur corps et ajuster l'effet produit, chose impossible avec un logiciel de retouche d'image, qui sépare la prise de vue de la modification logicielle. Ici, le couplage de l'enregistrement et de la transformation permet de modifier instantanément l'action, on peut capturer et lire en même temps, ainsi que « remonter dans le temps » de l'image par une simple action physique.



Illustration 39: Baguette Magique

La simplicité de l'interaction a également entraîné de nombreuses démonstrations utilisant la gestuelle. Pour prendre une photo et figer les pixels mobiles de la vidéo, il faut faire passer la baguette d'un état horizontal à un état vertical, d'une certaine manière, elle se manie comme un pinceau, on peut peindre une photo. Pour expliquer le fonctionnement de cette interface, les enfants utilisaient des explications orales décrivant l'effet produit, mais également des démonstrations en utilisant les mains et la baguette pour expliquer l'interaction, souvent en mettant la baguette dans la main d'un autre enfant et en la déplaçant à deux, par co-manipulation. L'illustration ci-contre montre une séquence de démonstration mixant explication orale, démonstration et co-manipulation.

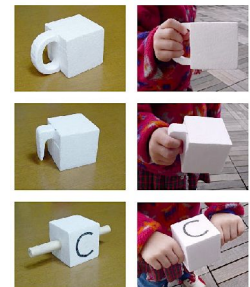


Ces deux contrôleurs tangibles permettent d'explorer des flux audiovisuels et en même temps de réduire le temps nécessaire pour passer dans un mode de capture, d'enregistrement. Ils matérialisent des fonctions comme la composition, la navigation temporelle ou la capture en liant un geste à une action de l'interface. Cette chosification a pour effet de faciliter la démonstration, la manipulation et la co-manipulation. Nous allons maintenant présenter deux dispositifs non-pas centrés sur l'exploration mais sur l'observation, deux caméras vidéo tangibles.

## Caméras tangibles

### Tangicam

Cette caméra tangible, ou tangible camera (Tangicam) est l'évolution de l'interface VideoCube et de la baguette Magique. Dans l'optique de créer une caméra, nous sommes tout d'abord parti de l'idée de fabriquer un cube similaire au VideoCube mais qui intégrerait en plus une ou plusieurs caméras vidéos embarquées. De nombreuses caméras cubiques ont déjà été développées, notamment dans le domaine de la photographie panoramique comme l'élégante landscape caméra de Sam Hecht et Ipei Matsumoto (Industrial Facility & RCA, 2002) ou encore la caméra cubique pour enfants de l'innovant projet européen Pogo (Decortis, 2003). Nous allons choisir cette forme, mais la lecture des travaux réalisés à l'institut de design d'interaction d'Ivrea par Rajesh Dahiya changea nos hypothèses initiales. Dahiya montre de manière empirique que lors d'activités de conceptions participatives d'objets cubiques avec des jeunes enfants, cette forme n'est pas appropriée pour les enfants. Elle n'est pas facile à manier, les enfants préférant rajouter des poignées aux dispositifs, notamment pour manipuler l'objet à plusieurs. Les enfants ont ainsi conçu différentes poignées à ajouter à l'objet cubique qu'ils concevaient (un cube permettant d'afficher l'alphabet, inspiré du « movable alphabet » de Maria Montessori). Nous avons donc revu notre design cubique initial pour le faire progresser vers un objet qui ressemble aux caméras analogiques Fischer-Price (Perfect Shot 35mm) munies de deux poignées. Après différentes itérations présentant un cube avec deux poignées, nous avons décidé de conserver les poignées et d'y intégrer deux caméras vidéo miniatu-risées Philips (Key019).



Le design final est maintenant très simple, un simple cercle, une sorte de poignée géante, qui permet aux enfants de cadrer la scène à filmer. Cette matérialisation du cadre et la simplicité de l'appareil réduit l'interaction à une unique action : orienter l'appareil vers la scène désirée et presser les poignées de l'appareil pour prendre une photo (une pression) ou filmer (pression maintenue). La forme de l'appareil permet également de voir la personne qui prend la photo, alors que les appareils classiques masquent l'observateur.

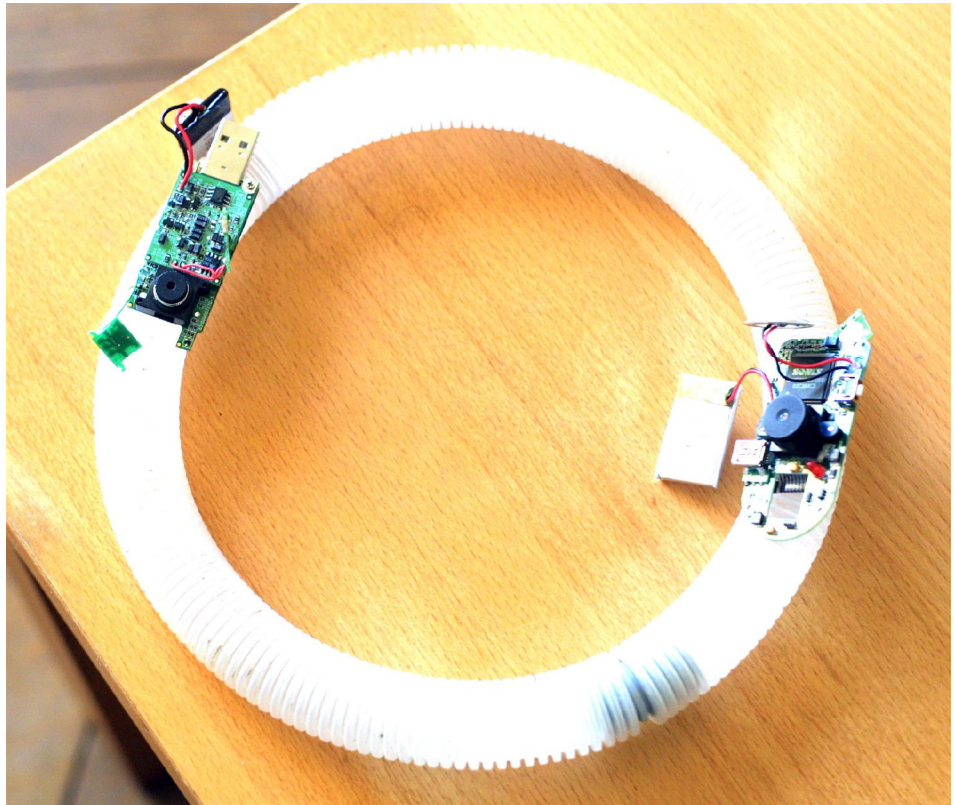
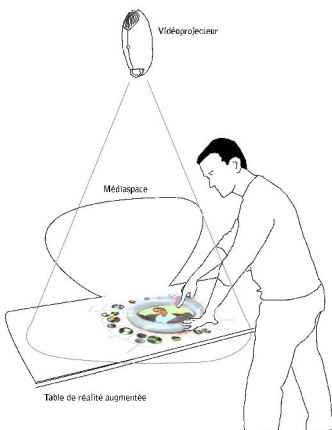


Illustration 40: Tangicam: Prototype Photo

Ce design n'inclut pas d'écran numérique comme c'est le cas avec des appareils photos numériques. L'écran est ici remplacé par une fenêtre ronde, un cadre très robuste et lumineux, adapté aux pratiques des enfants et permettant à l'appareil de consommer très peu d'énergie (une recharge des batteries intégrées permet de filmer pendant 2 heures en continu et de rester plus d'une semaine en veille, un peu comme un téléphone portable). Afin de permettre l'exploration vidéo, nous avons conçu un système de réalité augmentée (Mackay, 1993) utilisant la Tangicam comme contrôleur tangible.



Ce système est constitué d'une table interactive DiamondTouch (Merl, 2003) utilisant le système DiamondSpin, une Toolkit Java développé par Frédéric Vernier, qui nous a prêté assistance pour la réalisation de cette partie du projet (DiamondSpin, 2004). Un vidéoprojecteur haute-résolution projette les photos sur une table sur laquelle est posée la Tangicam. En manipulant l'appareil (rotation), les enfants peuvent faire défiler les photos ou les vidéos qu'ils ont prises, la Tangicam devient alors un slider circulaire. Ils peuvent également toucher les images avec leurs doigts, la surface étant sensible aux manipulations de plusieurs utilisateurs à la fois (Système MultiTouch).

Nous avons évalué l'appareil au cours de la fête de la science 2004 à Orsay sur le plateau de Saclay. Plus de 600 enfants ont pu manipuler l'appareil au cours de ces trois journées. Nous avons pris plus de 500 photos et deux heures de vidéo pour observer comment les enfants utilisaient l'appareil. La tranche d'âge des enfants était répartie entre les 5-8 ans, les 10-12 ans et les plus de 13 ans. Les enfants venaient en groupe correspondant à leur école et accompagnés de leur enseignant. Nous nous sommes intéressés lors de ces observations à deux facteurs : les affordances de l'objet perçues par les enfants et la communication entre les enfants des fonctions de l'appareil. À chaque fois que nous donnions l'appareil à un enfant, nous avons systématiquement demandé « qu'est-ce que c'est ? » et ensuite donné une instruction, qui consistait à ne donner l'appareil à un autre enfant qu'après lui avoir expliqué comment il marche. Les résultats de cette enquête systématique montrent que les enfants ont pour la plupart associé la Tangicam à un objet que l'on peut porter sur soi ou avec soi.



Illustration 41: Tangicam: Prototype Video

Les notions de chapeau ou d'anneau sont revenues fréquemment, de nombreux enfants installant d'ailleurs l'appareil autour de leur cou ou sur leur tête, filmant ainsi le plafond qui était rempli de ballons gonflés par le stand voisin, celui d'air liquide. D'autres pensaient que cet objet était un freesbee, n'hésitant pas à le lancer en l'air ou entre eux, créant des prises de vues très intéressantes. Nous avons noté que la forme circulaire de l'appareil facilitait la co-manipulation par les enfants, parfois même les conflits pour savoir qui utiliserait l'appareil. Fréquemment, jusqu'à huit enfants pouvaient attraper la Tangicam en même temps. Les parents ont également co-manipulé l'appareil pour montrer son fonctionnement, spécialement aux plus jeunes enfants. Enfin, l'instruction que nous avons donné a été respectée. Lors du passage de relais, c'est-à-dire la transmission de l'appareil d'un enfant à un autre, il y a eu explication de son fonctionnement. Nous avons noté que les enfants expliquaient oralement son fonctionnement pendant quelques secondes et très vite abandonnaient les explications orales pour directement montrer comment utiliser l'appareil, allant même jusqu'à co-manipuler le dispositif avec d'autres enfants.



Enfin, les deux prototypes que nous avons présentés ici permettent l'observation photo de bonne qualité (2 MegaPixels) mais pas d'observation vidéo en haute résolution. Nous avons également réalisé un prototype à écran qui permet de réaliser des vidéos en haute qualité (640 x 480 à 30 fps). Voici un résumé visuel des différents prototypes que nous avons réalisés:



*Illustration 42: Tangicam: Premier Prototype Formel*



*Illustration 43: Tangicam: Prototype Photo*



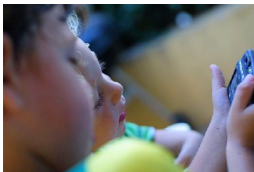
*Illustration 44: Tangicam: prototype Video*



*Illustration 45: Tangicam: Prototype Video Haute Définition + Ecran*



## SketchCam



Après avoir réalisé la Tangicam, une caméra sans écran, nous avons entrepris une étude qualitative de l'utilisation des appareils photos numériques par les jeunes enfants. Nos observations d'enfants entre 3 et 6 ans ont montré que l'utilisation de ces dispositifs peut se résumer à un élément unique: l'écran. Les enfants s'en servent à la fois pour cadrer et également après la prise de vue pour montrer le résultat, la photo qu'ils viennent de prendre. Nous avons alors exploré l'idée de construire un dispositif qui n'aurait qu'un seul élément, un écran. Cette prise de position a généré un grand nombre de questions concernant l'interaction avec ce dispositif, notamment celle de la prise de vue : comment faire pour prendre une photo s'il n'y a pas de bouton déclencheur ? Nous avons donc choisi d'utiliser un écran tactile (Samsung Q1) et créé une application en java permettant aux enfants de prendre des photos en dessinant sur l'écran avec leur doigt. Cette caméra s'appelle donc SketchCam (caméra à dessins). De la même manière qu'on peut tracer un contour dans un logiciel de retouche d'image ou d'illustration, les enfants peuvent définir une zone de l'écran qui affiche la vue vidéo donnée par une caméra intégrée au dos de l'appareil. Une fois ce contour tracé, lorsqu'ils relâchent le doigt, l'image dessinée est enregistrée. Pour conserver cette image, les enfants peuvent cliquer dessus, elle se range alors automatiquement dans une zone périphérique sur le coté de l'écran. S'ils ne veulent pas la conserver, ils cliquent hors de la photo. À tout moment, en cliquant sur la zone périphérique, ils peuvent revoir une photo qu'ils viennent de prendre. L'écran combine donc dans la même zone et le même mode deux modes habituellement séparés sur les caméras numériques, à savoir l'enregistrement et la lecture.



Illustration 46: SketchCam

Nous avons évalué l'appareil de manière quantitative et qualitative avec des enfants entre trois et six ans. Nous avons notamment comparé l'utilisation de la SketchCam en mode dessin avec celle de la SketchCam transformée pour l'occasion en appareil photo numérique classique par l'ajout d'un bouton de déclenchement. En conservant le même dispositif, nous avons donc contrôlé les facteurs qui changent (variables dépendantes) de ceux qui ne changent pas

(variables indépendantes). Les résultats quantitatifs montrent que le mode dessin augmente le nombre de prises de vue tout en conservant un même taux d'erreur (effacer une image accidentellement par exemple). En mode bouton déclencheur, ils ont produit environ quarante images par heure et le double en mode dessin. Une explication possible pour cette différence provient peut-être du fait que la physicalité de l'interaction leur rappelle plus d'autres activités qu'ils ont l'habitude de faire (dessiner), ou bien même qu'ils ont plaisir à faire. Là où le fait d'appuyer sur un bouton propose une émotion instantanée (discrète), le dessin à main levée invite à une interaction continue. L'analyse qualitative a cherché à déterminer si les artefacts produits par le mode classique étaient les mêmes que ceux du mode dessin. Nous avons élaboré deux prédictions concernant la nature de ces artefacts :

- P1 : Les sujets des photographies prises dans les deux modes sont similaires
- P2 : Les enfants utiliseront le cadre libre pour tracer le contour des objets.

Nos résultats montrent que P1 n'est pas supportée et P2 ne l'est que partiellement. Les enfants ne prennent pas le même genre de photos avec le mode classique qu'avec le mode dessin. Dans le premier mode, les enfants ont tendance à réaliser des photos d'ensemble, composées de plusieurs objets. Dans le mode dessin au contraire, ils se concentrent sur des objets spécifiques comme une peluche ou un meuble. La prédiction P2 est partiellement supportée. Les enfants tracent effectivement le contour d'objets spécifiques mais utilisent également le tracé pour s'exprimer, pour communiquer une propriété à l'image. Par exemple, au lieu de tracer le contour d'une figurine représentant un chat, ils ont décidé de l'intégrer dans une forme de cœur. La liberté du cadre permet donc d'ajouter des méta-données à l'image, précisant ainsi l'intention lors de la prise de vue.

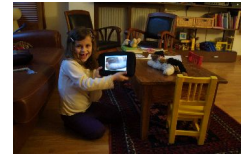


Illustration 47: SketchCam



Notons que cette utilisation inattendue est une reconfiguration de la fonction de contour en fonction narrative, une exaptation (adaptation co-optée). Là où les systèmes de méta-données classiques intègrent en général des éléments factuels (date, focale) ou textuels (label à rentrer avec un clavier), la SketchCam permet de créer des méta-données visuelles, produites dans le même mouvement que la prise de vue, couplant ainsi la capture et l'expression signifiante. Cette continuité sémio-pragmatique nous semble intéressante car elle manifeste un peu plus l'intention des enfants. De plus, la facilité avec laquelle les enfants peuvent passer du mode de prise de vue à celui de sélection des images complète cette continuité et permet à SketchCam d'être appropriée non seulement à l'observation, mais à l'exploration sélective et signifiante en intégrant la triade Batesonienne (Steps to an Ecology of Mind, 1972) :

Morphogenèse -> Schismogenèse -> Sémiogenèse

SketchCam est une interface tangible qui permet la manipulation, la démonstration, et également l'intégration couplée de l'observation et de l'exploration visuelle par les enfants. Comme la Tangicam, c'est une interface qui permet à un enfant de manifester son environnement, son processus et ses artefacts créatifs. Nous allons maintenant présenter des interfaces pour réaliser des observations et exploration sociales.

### 5.2.3. Observation et exploration sociale

#### Bijoux interactifs

Les interfaces présentées ici sont des objets que l'on peut porter sur soi, comme des bracelets, des bagues ou des accessoires. Nous avons intitulé ce paragraphe bijoux par souci de catégorisation, mais nous désignons plus généralement les accessoires portables, que les anglais et américains appellent des « wearables ».

#### Atelier Wearable

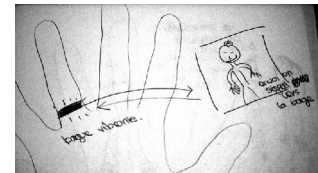
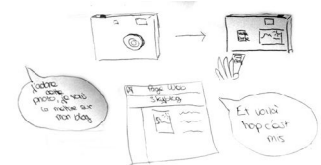


Lors de cet atelier, dont l'étude a déjà été présentée au chapitre 3.2. nous avons proposé à des enfants entre 7 et 12 ans de réaliser des objets en utilisant un kit électronique nommé Aniomagic. Cet exercice a été co-organisé avec Nwanua Elumeze de l'Université de Boulder, Colorado, qui effectue des recherches dans le domaine du « crafting », c'est à dire de l'appropriation physique des technologies portables par les enfants. C'est d'ailleurs l'un des créateurs de ce Kit (en collaboration avec Leah Buechley, Computation and Construction Kits: Toward the Next Generation of Tangible Building Media for Children, 2004). Les résultats de cet atelier montrent que les technologies portées (« wearables ») s'intègrent naturellement dans l'univers des enfants, constitué d'accessoires de mode ou de technologies qu'ils modifient et s'échangent. La possibilité de représenter son identité est très importante, comme celle de signifier son activité aux autres, de signaler. Les objets réalisés étaient en effet destinés à communiquer avec d'autres enfants, de se rendre visible dans un groupe social, de signaler sa présence. Cet élément important nous a conduit à reconsidérer les perspectives individuelles de l'observation et de l'exploration créative pour envisager alors un niveau de représentation groupal, celui de l'interaction sociale. Nous présentons maintenant un prototype fonctionnel d'interface d'observation et d'exploration sociale, les Téléperles (Telebeads).

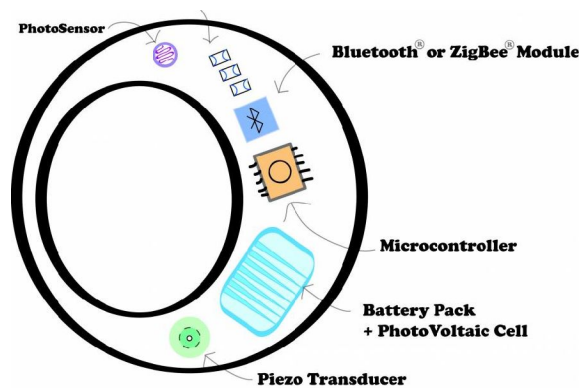
## Telebeads

Dans cette recherche, nous avons exploré la dimension sociale des observations et explorations créatives. Un atelier de conception participative ainsi que des interviews avec des enfants de 11 à 14 ans ont manifesté l'étendue des réseaux sociaux dans la culture des enfants. Nous avons ainsi observé que les carnets d'adresses de leurs téléphones portables avaient régulièrement plus de deux-cent contacts ainsi que ceux de leurs logiciels de messagerie instantanée. En collaboration avec les enfants, nous avons donc exploré différents moyens de réduire la complexité de ce réseau social notamment par l'utilisation d'interfaces tangibles. Un des systèmes réalisés dans notre laboratoire (In|Situ|) permet de représenter un réseau social intime ou familial sous forme de cartes intégrant des tags RFID (FamilyNet, 2005). Après avoir présenté ce système aux enfants, ils ont indiqué que la taille des cartes (format carte de crédit) ne leur plaisait pas car elles étaient trop grandes pour être portées sur eux.

Ils ont commencés par redessiner les cartes en réduisant leur taille, mais très vite est apparue l'idée de ne pas utiliser des cartes mais plutôt des perles qu'on pourrait porter sur soi. Après avoir réalisés plusieurs concepts visuels et des maquettes d'échelle, nous avons sélectionné ensemble un format miniature : des perles colorées. Chaque perle représente une personne de son réseau social, c'est un objet physique symbolique. En offrant une perle à quelqu'un, on lui donne un objet qui nous représente. En plus de leur fonction symbolique, ces perles permettent de connaître l'activité en temps réel des autres enfants de manière subtile, notamment en visualisant le contexte de couleur de la perle (quelle couleur de l'environnement est près de la perle) et par des sensations (mouvement de la perle distante). Nous définissons cette fonction comme *interperception*, c'est-à-dire la capacité à percevoir les mêmes sensations qu'une autre personne. Ce terme dérive à la fois de l'intersubjectivité et de l'interaction.



Le dispositif, appelé aussi Téléperles, est un système constitué de perles électroniques portées par les enfants sous forme de bracelet ou de bagues. Chaque perle contient des capteurs de lumière (LDR) et de vibration (Piezo) ainsi que des effecteurs lumineux (LEDs rvbs) et de vibration (Micromoteurs à axes de sorties solidaires d'un balourd). Elles sont également équipées d'un émetteur/recepteur sans-fil (Bluetooth BlueSMiRF) qui leur permettent d'être connectées à Internet via un proxy BT comme un téléphone portable, un PDA ou un ordinateur. Un microcontrôleur (Atmel ATmega 168) permet d'intégrer les transducteurs et le module de communication, ainsi que de gérer la charge de la batterie.



Nous avons réalisé plusieurs prototypes électroniques notamment en utilisant la plateforme de développement Arduino et également en modifiant des accessoires Bluetooth Nokia (hack de périphériques, intégration de capteurs dans des circuits existant à l'aide d'optocoupleurs). Le prototypage d'objets à cette échelle n'est pas facile, notamment la réalisation d'éléments CMS (composants montés en surface) qui nécessitent de travailler à la loupe, le contexte de cette thèse (informatique) ne permettant pas de bénéficier d'un laboratoire électronique adapté à la réalisation de circuits microscopiques. Une des difficultés était également de trouver des batteries suffisamment petites et efficaces pour maintenir une communication sans-fil et faire vibrer un petit moteur (au moins 300 mAh à 3,3 V).

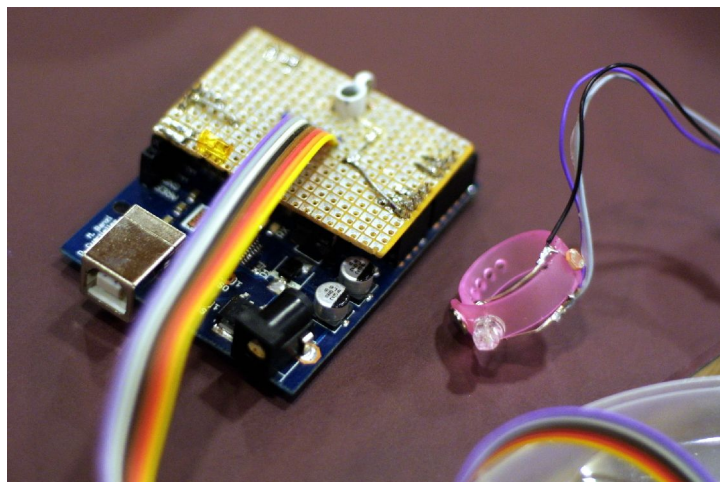


Illustration 48: Telebeads: Prototype fixe

Nous avons exploré un certain nombre d'alternatives, la plus prometteuse consistant à ne pas utiliser de batteries mais des condensateurs qui se déchargent de manière périodique, et se rechargent avec un tout petit panneau solaire. Ce procédé, issu de la recherche en robotique analogique (BEAM) permet de minimiser l'encombrement du circuit d'alimentation à une taille qui peut rentrer dans une perle. Le moteur pourrait également être remplacé par une pile de piézo miniatures en résonance (comme sur les systèmes d'amortissements des ponts) qui pourrait également capter les impacts de la main sur des surfaces. Enfin, le microcontrôleur utilisé est relativement gros (Package 32A : 9 mm x 7 mm), d'autres packages existent dans des dimensions inférieures (28M1 : 4 mm x 4 mm). Le composant BT pourrait enfin être remplacé par un micro-module Zigbee comme le TI CC2420. La taille des perles pourrait alors être réduite à 2 cm cube. Dans une logique de production en série, un SoC (System-on-chip) Zigbee comme le Ember 260 (firme créée par Bob Metcalfe, l'inventeur du protocole Ethernet au Xerox Parc) serait alors plus adapté. Ce petit module d'une taille de 7 mm x 7 mm contient un microprocesseur 16 bits à 12 Mhz et consomme moins de 800 nAh en veille. L'intégration de tous ces composants sur un circuit souple permettrait l'intégration totale dans une perle de très faible diamètre (1 cm cube), et ne nécessiterait pas de recharge électrique.

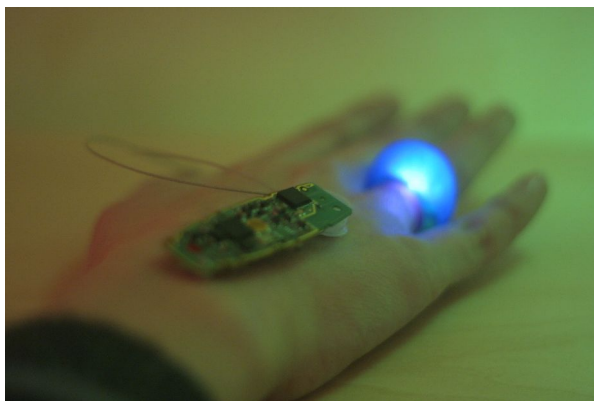


Illustration 49: Telebeads: Prototype sans-fil

Afin de paramétrer le réseau social relié aux Telebeads, nous avons développé une interface de type réalité augmentée qui permet d'associer un contact internet à chaque perle par le biais d'un « see-through display » appelé encore lentille magique (Magic Lens, Bier & al, 1993, A-Book, Mackay, Letondal, 2002). En faisant glisser un contact (par drag-and-drop) sur une perle représentée à l'écran d'un téléphone portable avec écran tactile, on associe cette personne à l'objet du monde physique. Nous nommons cette action *Hypertagging* en référence aux liens hypertexte du web (Nelson, 1965) et à la notion de marquage physique ou « physical tagging » qui consiste à mettre des labels de type Semacode ou QRcode sur des objets physiques pour les associer au réseau internet. Les perles sont donc marquées socialement, leur nature d'objet physique change alors, elles deviennent des objets sociaux connectés (socially networked objects), encore appelés des quasi-objets (Serres, 1987), des hybrides (We have never been modern, Latour, 1993), des tokens (Holmquist, 1999), des spimes (Sterling, 2005) ou encore des blogjects (WhyThingsMatter, Bleecker, Nova, 2006). Ce sont également des « communication appliances » (Mackay, 2005) puisqu'elles permettent de mettre en relation des personnes dans un réseau social intime, de petite taille, de manière très simple.



*Illustration 50: Telebeads: réseau social augmenté*

Une deuxième conséquence de la nature sociale de ces objets réside dans leur possibilité d'ajouter des méta-données sociales à des objets numériques proches d'eux. Un de nos prototypes, co-designé avec les enfants, consiste en un appareil photo numérique capable de détecter la présence d'une perle dans son contexte. Lorsqu'on prend une photo et qu'on approche une perle de l'écran, la personne associée apparaît alors, s'ajoutant alors en tant que méta-donnée dans le descripteur EXIF du fichier jpeg. Grâce à un script installé sur l'ordinateur recevant les photos après captures, cette prise de vue sera alors automatiquement envoyée à cette personne. Les perles peuvent ainsi manifester et inscrire l'intention sociale lors de la prise de vue. En s'approchant de l'ordinateur et en présentant une perle, les enfants peuvent alors explorer toutes les photos associées à cette personne. Les Telebeads sont donc des interfaces tangibles permettant de capturer et de représenter la structure sociale des enfants. En association avec un système vidéo augmenté, elles inscrivent des méta-données dans les prises de vues, et facilitent l'exploration sociale.

### **Vêtements Interactifs**

Les concepts et prototypes suivants concernent l'utilisation des vêtements comme outils d'observation et d'exploration des interactions sociales lors des activités créatives. Nous présentons deux ateliers de conception participative.

#### **Atelier vêtements sociaux**

Cet atelier que nous avons co-organisé en collaboration avec Leah Buechley et l'école de design suisse Hyperwerk avait pour but de permettre à des adolescents venant d'une région défavorisée en terme d'emplois de se former aux nouvelles technologies, notamment celles liées aux usages technologiques des vêtements. Les projets réalisés lors de cet atelier ont été ensuite exposés à Linz en Autriche, dans le cadre du festival d'Ars Electronica (2007). Parmi les dispositifs développés, un grand nombre d'adolescents ont cherché à fabriquer des vêtements qui

permettent de rester en contact avec leurs amis de manière tactile. Ils ont ainsi développé des patchs sensitifs (matériaux textiles résistifs) qui lorsqu'ils sont touchés permettent de ressentir ce qu'une autre personne ressent, sous forme de vibration et de sensations colorées. Nous avons également développé ensemble des interfaces à coudre sur les manches et qui réagissent au mouvement grâce à des accéléromètres, notamment en produisant du son. On peut donc connaître le mouvement des autres personnes seulement en écoutant des sons provoqués par les mouvements. Cette translation entre deux modalités provoquait un vacarme digne d'une salle de soins intensifs ou d'un poste de contrôle aérien, mais donnait également une perception immédiate du niveau d'engagement de telle ou telle personne dans l'activité en cours, de manière localisée. Sans même regarder, on pouvait observer les autres avec les oreilles et ensuite rentrer en contact tactile par imposition des mains sur certaines parties des vêtements. Ces représentations sociales synaesthétiques permettent donc la démonstration non-verbale et non-visuelle, en utilisant des interfaces tangibles et sonores. Elles permettent également l'observation et l'exploration sociale.

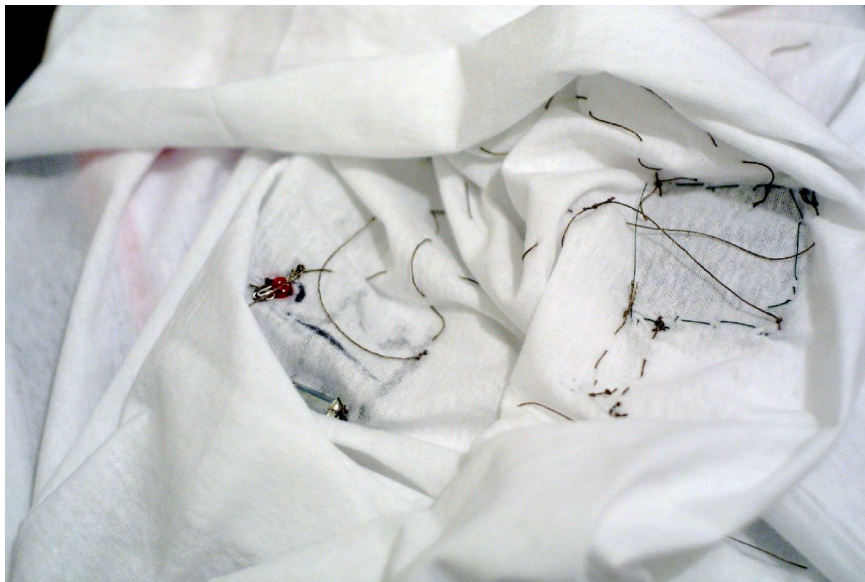
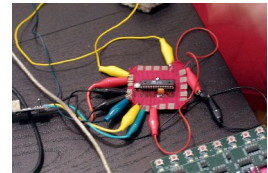
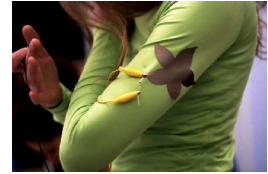
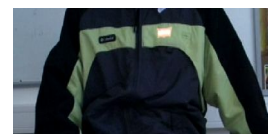


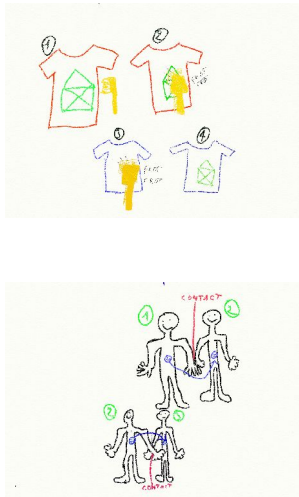
Illustration 51: Couture de fils électriques textiles

### Atelier vêtements multimédias

À l'occasion de la visite d'étudiants de collège, nous avons organisé un atelier d'une semaine sur le thème des vêtements multimédia, c'est-à-dire qui peuvent afficher des vidéos et des photos. Les technologies de fibre textile écrans ne sont pas encore très développées, il était donc difficile de prototyper ce genre d'interfaces (les vêtements écrans sont soit constitués de fibres thermochromiques avec une grande latence, soit d'écrans intégrés dans la poitrine ou le dos, mais pas sur toute la surface du vêtement). Après avoir organisé deux brainstorming en compagnie des enfants et de l'équipe du laboratoire, nous avons demandé aux enfants de réaliser des croquis des idées retenues dans le brainstorming. Ces idées précisaient la nature des interactions nécessaires pour échanger des photos ou des vidéos par des contacts entre vêtements, notamment les zones socialement acceptables pour cette fonction. Parmi les idées retenues, l'utilisation d'un téléphone portable comme d'une brosse permettant de peindre des images ou des vidéos sur le vêtement d'un camarade et également une interaction directe par contact et par drag-and-drop







sur les vêtements. Notons que la zone d'échange privilégiée lors de ces concepts était toujours les bras et avant-bras. L'union de deux avant-bras formant une surface propice à l'échange tactile et acceptable socialement. Nous avons ensuite fait des video-prototypes de ces interfaces en utilisant un vidéoprojecteur dirigé sur les vêtements, ainsi qu'un logiciel de contrôle d'objets projetés. Un des scénarios réalisés montre comment, à l'aide d'un téléphone portable, un enfant peut dérober le logo (la marque) du vêtement d'un de ses amis. Une autre vidéo montre comment utiliser un site de photo en ligne directement sur les manches de son vêtement, pour présenter des photos et également les annoter par des gestes. Ces concepts montrent que les vêtements sont appropriés pour l'échange multimédia social mais également l'exploration de contenu audiovisuel entre les enfants.

### Meubles Interactifs

Les outils d'observation et d'exploration ne sont pas seulement de petites tailles comme ceux présentés jusqu'ici. Nous présentons maintenant deux prototypes fonctionnels de tables pour observer et explorer les processus et artefacts créatifs à plusieurs.

#### Table interactive pour la conception participative

Ce dispositif est composé d'une table intégrant deux écrans Wacom tactiles (à stylet) recouverte d'une couche de plexiglas suffisamment fine pour ne pas perturber le fonctionnement du récepteur tactile (antenne de grande taille à la surface des écrans). Les écrans sont reliés à un ordinateur muni d'un logiciel gérant plusieurs écrans simultanément et permettant l'interaction de type horizontale (TableTop). Un logiciel de dessin équipe les deux écrans et permet à deux enfants de dessiner en même temps sur la même surface, mais à deux endroits différents, se faisant face. Nous avons utilisé ce logiciel lors de séances de conception participative et notamment demandé aux enfants de dessiner différents prototypes d'interfaces sur ces écrans. La position horizontale est très adaptée au dessin et à l'annotation de photos par les enfants.



Illustration 52: Table Interactive pour la conception participative

La navigation entre les esquisses et les modifications sont également très simples puisque ils peuvent copier-coller et également effacer différentes parties du dessin très rapidement. Le partage des croquis et les activités de dessin simultané favorisent les associations entre les différentes productions des enfants. Enfin, le fait d'être dans un environnement numérique permet la documentation et l'archivage automatiques des différents artefacts créés. Le dessin sur cette table interactive est donc propice à l'observation partagée et l'exploration des différents artefacts de manière temporelle.



*Illustration 53: Dessin sur surface interactive*

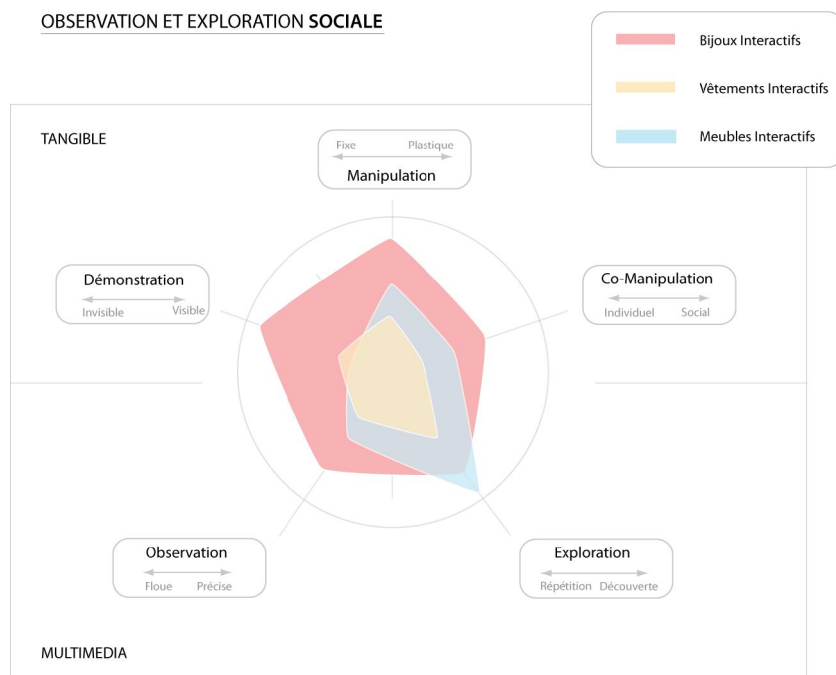
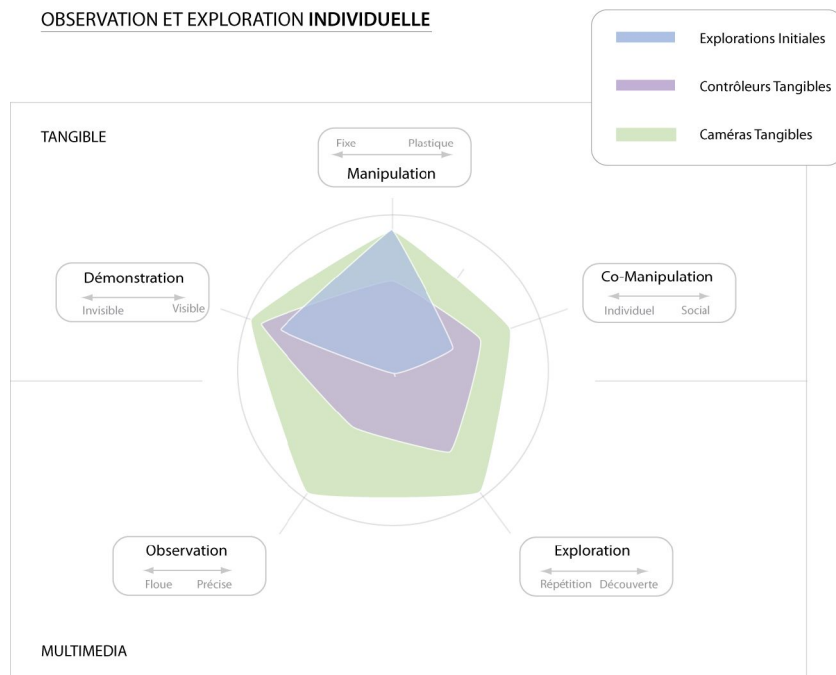
### Table interactive pour l'exploration vidéo

Nous avons également utilisé cette table dans le contexte de l'exploration de documents audiovisuels. Un logiciel très simple de navigation vidéo permet de parcourir des flux audiovisuels grâce au stylet. Ce mode de navigation est très intuitif et rapide. En posant le stylet sans le déplacer mais en le penchant, les enfants peuvent faire défiler la timeline vidéo comme avec un joystick (les tablettes Wacom détectent en effet l'inclinaison du stylet). En déplaçant le stylet, ils peuvent faire des annotations directement sur les images et rajouter des méta-données graphiques qui pourront être lues par d'autres enfants par la suite. Comme dans le logiciel de dessin présenté plus haut, ces annotations peuvent se faire de manière synchrone entre les deux écrans de la table. Les enfants ont donc accès en même temps aux productions des autres enfants. Cette interface permet donc l'exploration et l'annotation de flux vidéos de manière partagée. Notons que ce dispositif n'est pas très tangible, il se rapproche plus des interfaces graphiques classiques, même s'il n'a pas de souris.

Nous avons présenté six classes d'interfaces individuelles et sociales permettant l'observation et l'exploration tangibles. Nous avons mis en évidence leurs spécificités en termes de démonstration, de manipulation, de co-manipulation. Nous allons maintenant évaluer ces caractéristiques au regard de l'espace de conception que nous avons défini préalablement.

### 5.2.4. Evaluation

Afin d'évaluer ces différents dispositifs de manière systématique, nous allons représenter leurs différentes propriétés et dimensions conformément à l'espace de conception.



L'analyse de ces schémas montre que les interfaces les plus adaptées à notre espace de conception sont les caméras tangibles et les bijoux électroniques. Ces dispositifs intègrent en effet à la fois des possibilités de démonstration, de manipulation et de co-manipulation tout en permettant l'observation et l'exploration de flux multimédias. Le cas des interfaces de type table interactive est intéressant car il permet l'exploration et un peu l'observation mais sans réellement faciliter la communication non-verbale ou la co-manipulation, même si les activités synchrones s'en rapprochent.

Une meilleure alternative serait certainement d'utiliser tous ces dispositifs ensemble, et créer un environnement augmenté où l'utilisation des tables serait complétée par celle des bijoux et des caméras. La navigation vidéo au stylet deviendrait alors tactile (bijoux vibrants) et les enfants pourraient également utiliser les caméras pour annoter et contrôler les médias. Nous pensons en effet que l'articulation du niveau individuel et du niveau social est nécessaire dans le but de répondre aux objectifs de l'Epistémologie Créative, notamment celui de l'exploration conjointe avec les adultes.

Les trois objectifs de l'EC (réflexivité, complexité et co-exploration) peuvent donc être atteints si le système d'observation et d'exploration intègre les différentes dimensions et propriétés dégagées dans l'espace de conception ci-dessus. Les caméras et bijoux permettent en effet la réflexivité individuelle (les enfants se filment) et sociale (les enfants représentent leur structure groupale par *Interperception* et associent des données sociales par *Hypertagging*). La dimension complexe est respectée car les caméras et bijoux sont des machines temporelles, facilitant la capture et la navigation dans des masses de données dynamiques et émergentes.

Elles permettent la manifestation des *Réseaux d'Expériences individuelles*. Enfin, les caractéristiques de ces dispositifs facilitent l'« exploration conjointe » des données recueillies par les enfants au cours de séances impliquant des adultes et mettant en scène les éléments qualitatifs préalablement *sélectionnés* par les enfants et parfois même identifiés en termes d'*intention sémantique* et *sociale*. Ces situations propices à l'extériorisation du théâtre interne des enfants pourrait permettre l'étude expérientielle, contextuelle et perspectiviste de l'exaptation comme recommandé au chapitre 4.2.

### 5.2.5. Discussion

Les caméras tangibles et les bijoux électroniques sont donc adaptés au recueil de données par les enfants qui seront ensuite explorées conjointement avec des chercheurs. Les contrôleurs tangibles, mais également les vêtements électroniques sont adaptés à l'exploration mais pas à l'observation, ce qui entraîne le morcellement des activités en deux phases, d'abord d'observation puis d'exploration. Cette séparation est problématique. À l'inverse le fait de sélectionner les données filmées au moment même de la prise de vue présente de nombreux avantages. Les enfants peuvent par exemple se rendre compte qu'il leur manque un plan à filmer ou bien que les images ne sont pas nettes, pas cadrées comme ils le désirent et donc modifier instantanément en fonction de ce feedback immédiat. Les caméras tangibles minimisent cette différence de phases en permettant l'interaction très rapide entre mode de capture et celui de lecture ou de sélection exploratoire.

Les perles sont également appropriées à l'observation sociale sensible, mais permettent aussi l'exploration rapide de données vidéos annotées socialement. Ces dispositifs tentent donc de minimiser la différence entre observation et

exploration, de faire que ces deux modes s'enchaînent de manière fluide, naturelle et rapide. Ils tentent donc de proposer ce qu'on peut définir comme un « couplage » des phases d'observations et d'explorations.

Nous identifions donc ici une relation appelée « couplage » et qui désigne l'intégration des fonctions d'observation et d'exploration de données.

Ce couplage peut être faible (on observe puis on explore) ou fort (on observe et on explore dans le même mouvement). Nous pouvons donc à présent établir une nouvelle grille systématique présentant les différents dispositifs en fonction de cette propriété de « couplage » et de ces dimensions.

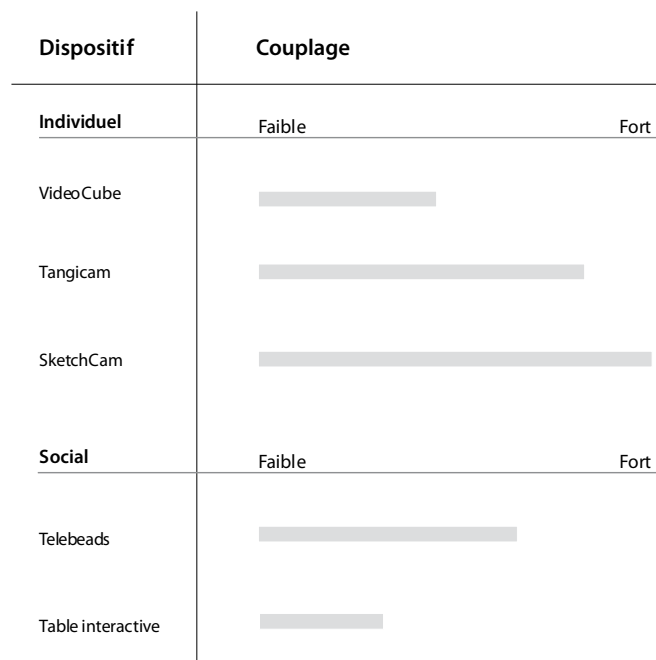


Illustration 54: Couplage

On note que les interfaces présentant un fort couplage sont celles qui intègrent des dimensions gestuelles, impliquant le mouvement du corps ou de la main. Les objets portés sur soi comme les perles ou manipulés comme la Tangicam sont fortement couplés. La SketchCam permet dans un même geste de filmer et de sélectionner les images ou vidéos à conserver ou à détruire. Cette continuité gestuelle tranche avec le caractère discret des étapes classiques de la prise de vue vidéo ou photo qui sépare la capture de la lecture.

Nous pensons donc que cette propriété de couplage est à intégrer dans notre espace de conception initial. Notons que l'emploi du terme couplage est très courant en IHM, nous ne nous référons pas à ces usages (Coutaz, 2004) lorsque nous parlons de couplage entre observation et exploration. Cette révision entraîne donc l'apparition des propriétés de couplage et également des dimensions de continuité du mouvement et de l'interaction dans l'espace de conception. Nous allons donc maintenant présenter un espace génératif prenant en compte ces révisions ainsi qu'une boîte à outil hybride facilitant le prototypage d'interfaces couplées.

### 5.3. Outils génératifs

Les interfaces décrites au chapitre précédent ont été réalisées pour la plupart par des chercheurs en IHM, et la plupart du temps en incluant les enfants dans le processus de conception. Toutefois, lors des activités de conception participative, les enfants n'ont pu réaliser que des prototypes conceptuels ou d'échelle, notamment en utilisant des matériaux simples comme du papier, du plastique ou encore des kits de constructions (Lego, Knex, GeoMag). Il serait intéressant de leur permettre de fabriquer des prototypes semi-fonctionnels lors de ces activités, notamment en utilisant des objets physiques reliés à un ordinateur, ou visibles par un système de tracking vidéo. Les interfaces réalisées seraient alors plus proches de la réalité, générant des questions et des idées différentes. Passer du faire semblant au faire, comme le prescrivent les constructionnistes<sup>14</sup> (Resnick, 1996). Nous pensons qu'une manière simple de faciliter le prototypage de ces dispositifs par les enfants, les designers et les chercheurs en IEM et IHM est de leur donner un ensemble d'éléments logiciels et matériels adéquats, c'est à dire une boîte à outils hybride, logicielle et physique. Nos objectifs sont triples, il s'agit de leur permettre :

- de créer des outils d'observation et d'exploration couplés
- d'utiliser le mouvement
- de s'interfacer avec n'importe quel objet du monde physique.

Le but de cette boîte à outils hybride est donc de faciliter le prototypage semi-fonctionnel d'outils d'observations et d'exploration couplés, utilisant le mouvement. Afin de réaliser ce système, nous allons définir un espace de conception appelé espace génératif car il est orienté vers la création émergente par les utilisateurs.

#### 5.3.1. Définition d'un espace génératif

Nous avons défini un espace de conception Tangible et Multimédia au chapitre 5.2. que nous avons ensuite révisé après analyse pour lui intégrer une propriété de couplage. Cet espace de conception révisé va nous servir comme base de départ pour concevoir un espace génératif, permettant de manifester les propriétés et dimensions appropriées pour la réalisation d'une boîte à outils hybride, intégrant des composants logiciels et matériels. Nous reprenons les propriétés Tangible et Multimédia en les synthétisant dans une propriété de Couplage et une propriété de Mouvement. Nous ajouterons également une troisième propriété, l'Interfaçage, qui définit l'aptitude à s'appareiller sur tout type d'objet du monde physique. Ce tableau montre ces trois propriétés et leurs dimensions :

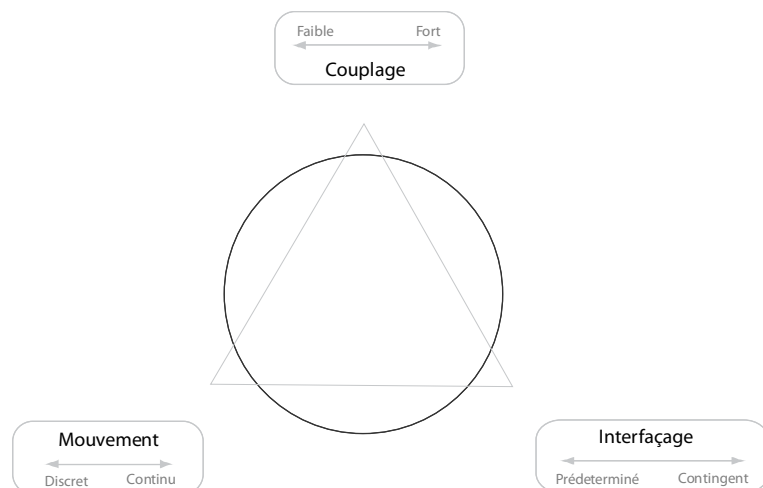
---

<sup>14</sup>Would you rather that your children learn to play the piano, or learn to play the stereo?

The stereo has many attractions: it is easier to play and it provides immediate access to a wide range of music. But "ease of use" should not be the only criterion. Playing the piano can be a much richer experience. By learning to play the piano, you can become a creator (not just a consumer) of music, expressing yourself musically in ever-more complex ways. As a result, you can develop a much deeper relationship with (and deeper understanding of) music. (Pianos not stereo, Resnick, 1996).

Propriétés	Dimensions
<b>Tangible</b>	
Mouvement	Discret ↔ Continu
<b>Multimédia</b>	
Couplage	Faible ↔ Fort
<b>Hybridation</b>	
Interfaçage	Prédéterminé ↔ Contingent

Nous pouvons donc maintenant représenter l'espace génératif sous forme de graphique. Nous reprendrons cette représentation radar à la fin de ce paragraphe pour caractériser les différents dispositifs que nous avons conçus selon ces propriétés et dimensions. Le triangle au centre du cercle est un exemple idéal d'une boîte à outils hybride qui permettrait de fabriquer à partir de n'importe quel objet du monde physique des prototypes d'interfaces couplées pour l'observation et l'exploration.



Nous présentons maintenant une boîte à outil élaborée suivant cet espace génératif, mais également la technique de tracking optique/inertielle qui permet le couplage gestuel, ainsi que deux itérations de notre approche.

### 5.3.2. La boîte à outils EXAPTIVE

La conception de dispositifs multimédias tangibles n'est pas simple. Ces interfaces sont en effet assez complexes à prototyper, il existe deux manières utilisées classiquement : soit on utilise un ordinateur de petite taille auquel on ajoute une caméra et on programme un logiciel adéquat, soit on fabrique de toute pièces un dispositif électronique intégré. Ces deux approches ont des avantages et des inconvénients. La première permet de soigner l'interface d'exploration (logiciel) au détriment de la prise de vue et la deuxième permet de sophistication la capture mais ne permet pas d'explorations de qualité (écran de petite taille, petits boutons). Nous présentons donc ici une boîte à outils hybride (logicielle+matérielle) permettant de prototyper des dispositifs qui couplent capture et exploration dans un même mouvement.

#### Définition

Une boîte à outils est un programme ou un système destiné à d'autres programmeurs ou bien à des personnes qui ne savent pas ou peu programmer, comme des chercheurs scientifiques non-informaticiens (Letondal, 2000) ou des enfants. Ces systèmes, appelés aussi Toolkits, permettent d'assembler des composants logiciels génériques (widgets) ou de faciliter la mise en œuvre de systèmes électroniques. Les « outils » de la boîte sont donc des modules fonctionnels que l'on assemble, comme dans un kit de construction. Il existe deux grands types de boîtes à outils en IEM et en IHM :

- Boîtes à outils logicielles (Infovis, Videospace, Nucleo, awt, magglite, satin, gtk).
- Boîtes à outils hybrides, physiques et logicielles (Papier-Maché, Phidgets, DTools, iStuff, VoodooIO, Arduino, ScratchBoard, Pico).

La boîte à outils que nous présentons ici s'inspire du deuxième type (hybride) mais pousse le concept d'hybridation jusqu'à intégrer des interfaces technologiques déjà existantes comme modules de la boîte. Nous pensons en effet qu'un bon moyen de prototyper des dispositifs d'observation et d'exploration consiste à détourner des appareils existants ou à s'interfacer sur n'importe quel objet du monde physique et en faire un dispositif d'entrée. Cette ouverture fonctionnelle et physique permet d'explorer rapidement l'effet d'une nouvelle configuration ou d'une décision formelle. Par exemple, si les enfants décident de créer un outil d'observation et d'exploration qui prendrait des photos lorsqu'on tourne sur soi-même, ils pourront alors utiliser un appareil photo, s'interfacer avec lui grâce à notre dispositif et ensuite voir le résultat sur un écran ou bien sur l'appareil grâce à un vidéoprojecteur.

#### Objectifs

Notre objectif principal est de permettre aux enfants, chercheurs, et concepteurs d'interfaces tangibles multimédias de prototyper des dispositifs couplés. Plus précisément, et conformément à cet objectif, nous cherchons à :

- Intégrer les dimensions gestuelles couplées et hybrides
- Garantir une grande simplicité
- Permettre le passage à l'échelle (scalabilité) et être robuste

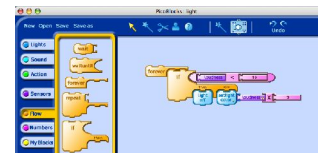


Illustration 55: Boîte à outils mixte PICO



Il est également important de garantir des modules adaptés à chaque type d'utilisateur de notre boîte à outils. Pour les enfants, nous souhaitons donner accès à un niveau purement physique, pour faciliter la fabrication de prototypes semi-fonctionnels. Pour les concepteurs et les chercheurs, de donner accès simplement aux données de l'interface physique par le biais de code informatique ou de blocs visuels à assembler à l'écran. Afin de remplir nos objectifs, nous présentons maintenant notre approche, une technique de tracking (OIT) utilisant à la fois une caméra vidéo et des capteurs inertiels.

## Approche

Nous avons décidé de faciliter le prototypage d'interfaces couplées grâce à la mise à disposition d'une technique reposant sur la fusion de données visuelles (caméra) et de capteurs inertiels (accéléromètres, gyroscopes). Ces techniques issues de la recherche dans le domaine militaire (guidage de missiles, de drones) ont été récemment appliquées en IHM notamment par les chercheurs en réalité mixte (VIS-tracker, Foxlin, 2003, Magrit, Inria/Loria, 2004, Fiorentino, 2004). Elles ont été également appliquées dans le domaine des jeux vidéos (Cheok, 2002) et de la musique expérimentale (Schoonderwalt, 2006). Elles consistent à corriger les prédictions de la vision par ordinateur à l'aide de données inertielles estimées par des capteurs embarqués. Notre approche reprend ces principes, mais se concentre sur les aspects liés à l'interaction et pas seulement au développement mathématique des algorithmes de fusion. Les recherches dans ce domaine utilisent en effet des dispositifs très complexes pour fusionner des données inertielles avec des systèmes de vision par ordinateur. Le système de Foxlin nécessite d'équiper entièrement une pièce avec des caméras et des capteurs et les travaux de l'équipe Magrit se fondent sur l'utilisation de systèmes inertiels non mobiles et très coûteux. Afin de permettre à des enfants de prototyper des interfaces en utilisant cette technique, il convient donc de réaliser une implémentation sans être limité par ces contraintes. Nous présentons donc maintenant deux prototypes fonctionnels de capteurs de mouvement et d'orientation sans-fil très simples et fonctionnant avec des caméras génériques, comme celles que l'on trouve sur les ordinateurs portables ainsi qu'un prototype conceptuel.

## Itérations

### Prototype 1 (Module Bluetooth)

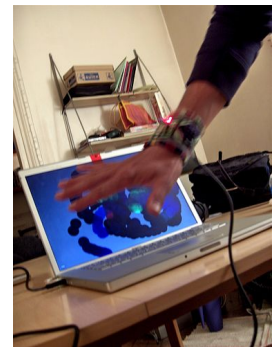
Motivés par les recherches dans le domaine des jouets situés (Inertial proprioceptive devices : Self-motion sensing toys and tools, Verplaetse, 1996), nous pensons que de nombreuses interfaces technologiques pour les enfants contiendront bientôt des capteurs d'orientation. Leur coût a été divisé par cent en dix ans, et on en trouve dans de nombreux appareils d'observation photo ou vidéo. Les appareils photo et les caméras modernes utilisent des accéléromètres pour stabiliser les images, tout comme certains téléphones portables aux fonctionnalités multimédias (iPhone). Dans le même temps, ces dispositifs sont dotés de systèmes de communication sans-fil de type Bluetooth. Ils peuvent donc communiquer leur orientation dans l'espace à un système informatique. Pour prototyper des objets similaires il convient donc de permettre aux enfants et aux concepteurs d'avoir ces mêmes possibilités. Nous avons donc réalisé une interface de tracking optique/inertiel utilisant un accéléromètre trois axes (Freescale MMA7260Q) et un modem Bluetooth. Cet objet est relié à une pile de 1,5 v (LR06) qui est portée à 5v grâce à un step-converter (Dc-Dc bodhilabs). Ce

module de taille relativement réduite (4 cm x 2 cm) peut s'installer sur un appareil photo ou une caméra vidéo, même de petite taille (comme celles pour les enfants).



Illustration 56: Prototype 1: Bluetooth

En déplaçant le dispositif près d'un écran surplombé d'une caméra, on peut donc connaître la position de l'objet mais également son orientation dans l'espace. La force gravitationnelle envoie en effet toujours une accélération d'environ 1G qui se répartit sur les trois axes, il est donc aisé de calculer les changements d'orientation. Le système combine les avantages du système de vision (localisation lente mais précise) à ceux de l'accéléromètre (mauvaise estimation de la position [double intégration de l'accélération imprécise], mais très grande fréquence). Afin de faciliter la réalisation de ce genre de systèmes par les concepteurs, nous avons développé une bibliothèque logicielle en java, qui s'occupe notamment des aspects sans-fil (connexion BT, parsing des événements issus du microcontrôleur relié à l'accéléromètre) et également simplifie certains calculs comme les filtres de kalman (EKF).



Ce module se fixe donc à des appareils existants qui deviennent immédiatement des périphériques d'entrées d'un ordinateur, comme une souris, où plutôt comme une souris en 3D, sans-fil (certaines souris de ce type ont été commercialisées cette année, comme la logitech Air ou la Gyrotransport de Gyration, filiale commerciale de la branche gyroscopes de Thomson). Il permet d'explorer les données photos ou vidéos avec le même appareil qui les a prises et également de permettre des prises de vues avec les mêmes gestes que l'exploration, c'est-à-dire de manière couplée. Le prototype 1 permet donc de créer des interfaces d'observation et d'exploration couplées, d'utiliser le mouvement et de s'interfacer facilement avec des objets du monde physique.

### Prototype 2 (Module Couleur)

Ce deuxième module est l'évolution du module 1 dans une logique d'intégration plus grande et comportant une totale reconfiguration du système de communication sans-fil. Le problème des communications Bluetooth réside en effet dans leur grande consommation énergétique ainsi que leur relative stabilité. Il n'est pas rare d'avoir des perturbations radio ou tout simplement des problèmes de protocoles. Nous avons donc fabriqué un module comportant un



accéléromètre 3 axes (ADXL330), un microcontrôleur (ATMega168) qui au lieu de communiquer via une liaison radio, envoie son orientation directement à la caméra. Il n'y a donc même plus besoin d'avoir un ordinateur Bluetooth pour utiliser ce module qui n'est pas non plus sensible aux perturbations radios (fréquentes dans les environnements technologiques). Le principe réside dans le mapping entre les coordonnées XYZ données par l'accéléromètre et l'espace de couleur RGB diffusé par une LED multicolore.

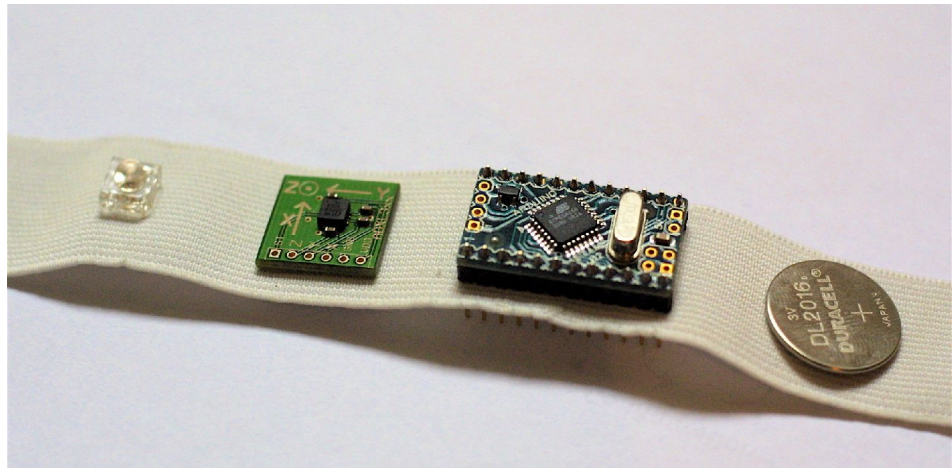
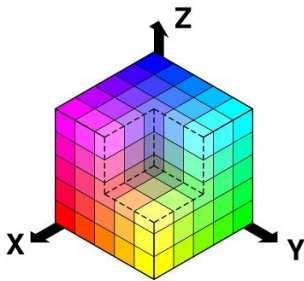


Illustration 57: Prototype 2: Tracker Couleur



En changeant d'orientation, la LED change de couleur, puis, cette couleur est trackée par la caméra qui peut ensuite en déduire l'orientation. Le logiciel isole tout d'abord les pixels de plus grande luminosité et calcule ensuite la couleur. Cette technologie, beaucoup plus simple que la précédente présente de nombreux avantages en termes de volume (3 cm x 1 cm), de consommation électrique et de compatibilité avec l'ordinateur (pas besoin de Bluetooth, donc pas de souci Bluetooth). Notons que notre utilisation de la technologie Bluetooth est un frein lorsqu'on travaille avec des enfants car cette technologie n'est pas forcément autorisée dans les écoles. Le module dépasse ces limitations car il ne nécessite pas de liaison radio pour communiquer son orientation à un ordinateur. Le module 2 permet donc de prototyper des outils d'observation et d'exploration couplés, d'utiliser le mouvement et de s'interfacer avec des objets du monde physique.

### Prototype 3 (Concept)

Ce troisième module, non-fonctionnel est l'aboutissement de nos recherches précédentes et présente notre vision de ce que pourrait être un matériau dynamique pour le tracking Optique/Inertiel. Nous pensons en effet que le but de cette boîte à outils est de prendre place au sein d'activités de conception participative, qui utilisent classiquement des matériaux simples comme le papier (post-its), ou différentes accessoires de prototypages (mousses, plastiques, crayons). L'idée est alors de pouvoir intégrer le module de tracking dans des éléments de type papier ou plastique, sans contrainte d'épaisseur lié au composant ou à la batterie. Par exemple, un rouleau de scotch électronique ou un post-it intégrant un accéléromètre permettrait de donner vie à un dessin d'appareil photo ou à sa maquette en carton. Il est désormais possible d'intégrer des composants électroniques de manière très fine dans des polymères qui ressemblent à des papiers (biopolymères). Ces nouveaux matériaux présentent la

caractéristique d'être flexibles, étanches et parfois de pouvoir conduire le courant (conductifs polymères) ou même de pouvoir changer de couleur sous l'effet du passage de courant (électrochromie). Un module de ce type ressemblerait donc à un papier un peu épais qui changerait de couleur en fonction de son orientation. Les problématiques énergétiques (alimentation électrique) pourraient être réglées par l'utilisation de capteurs solaires souples reliés à des maillages d'accumulateurs de petite taille. Nous avons produit des prototypes de circuits souples (polymérisation à froid, acrylique) notamment en utilisant la technique de routage à fils implantables (BioFlex, SWEET, 2007) ainsi que différents essais d'utilisation d'accumulateurs solaires miniatures. Cependant l'intégration de tous ces composants dans l'épaisseur d'une feuille de papier ou de plastique nécessiterait des machines industrielles dont l'utilisation dépasse le cadre de cette thèse. L'illustration ci-dessous présente une vision conceptuelle d'un module de ce type :

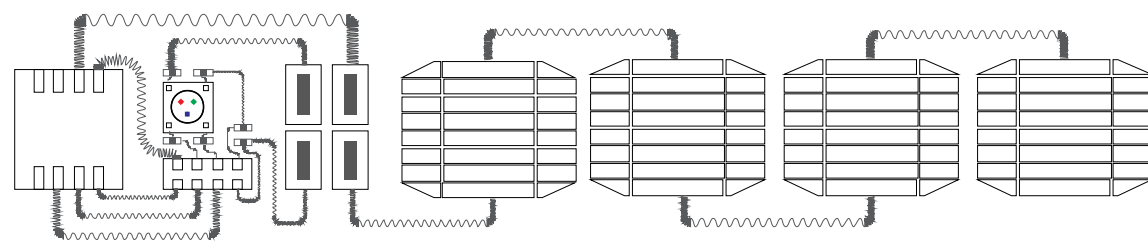
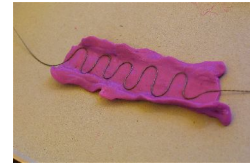
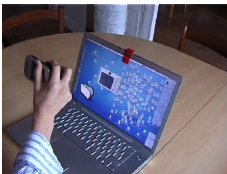
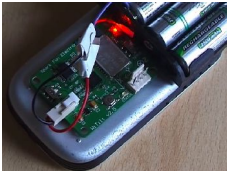


Illustration 58: Prototype 3: GyroPolymère

## Résultats

Nous présentons maintenant trois prototypes d'interfaces réalisées à l'aide de la boîte à outils. Ces différentes propositions conceptuelles sont semi-fonctionnelles, c'est-à-dire qu'elles permettent d'envisager et de tester les interactions mais ne sont pas des logiciels ou des objets physiques finalisés. Il s'agit d'esquisses, qui comme celles purement graphiques (The dialectics of sketching, Creativity Research Journal, Goldschmidt, 1991), permettent de réfléchir et de créer des opportunités logicielles et matérielles comme dans l'approche du Sketching-in-Hardware (Kuniavsky, 2007). Les dessins sur papier articulent les différentes orientations conceptuelles possibles, notamment grâce à la mobilité spatiale autour du dessin, qui permet de prendre différents points de vue. De la même manière, les esquisses électroniques permettent d'envisager les différentes perspectives conceptuelles de manière temporelle, dynamique. Les différentes dimensions spatio-temporelles de l'interaction avec l'objet peuvent être cernées, et permettre de mieux connaître l'expérience interactive.

## Exploration Photo



Ce premier prototype est un système qui permet de naviguer dans des photos à l'écran d'un ordinateur à l'aide de l'appareil qui a permis de les prendre. Un téléphone portable avec appareil photo a été équipé du module BT de notre boîte-à-outils et une application a été développée en java. Cette application se connecte sur le téléphone portable pour télécharger les photos prises et les envoyer en sans-fil à l'ordinateur (via BlueZ). Elle affiche ensuite les photos sur l'écran. La particularité ici vient de l'interaction pour effectuer cette routine. Après avoir pris des photos, l'utilisateur se rapproche d'un écran qui affiche son appareil et lui permet de le déplacer dans le Desktop.

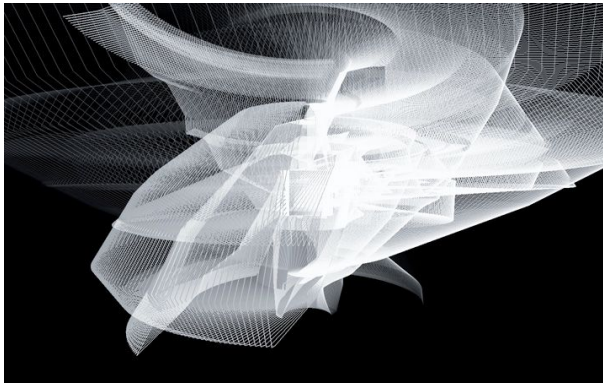
En se rapprochant d'un dossier et en penchant l'appareil, il peut « déverser » ses photos qui « coulent » dans le dossier photos. Une fois les images téléchargées, il peut faire les défiler en penchant l'appareil à droite ou à gauche, affichant les photos précédentes et suivantes de manière fluide. Il peut également zoomer sur une photo en penchant l'appareil et dézoomer en le penchant dans l'autre sens. Notons que si l'on combine les deux, on peut dans le même geste effectuer un pan et un zoom. Combinée au déplacement (position), l'orientation permet donc de créer des interactions avancées, dans le même genre que OrthoZoom (Appert & al, 2006) mais en 2 dimensions. Ce prototype montre donc qu'il est possible d'intégrer simplement une fonctionnalité de couplage entre l'appareil de prise de vue et l'exploration gestuelle, tangible des médias.



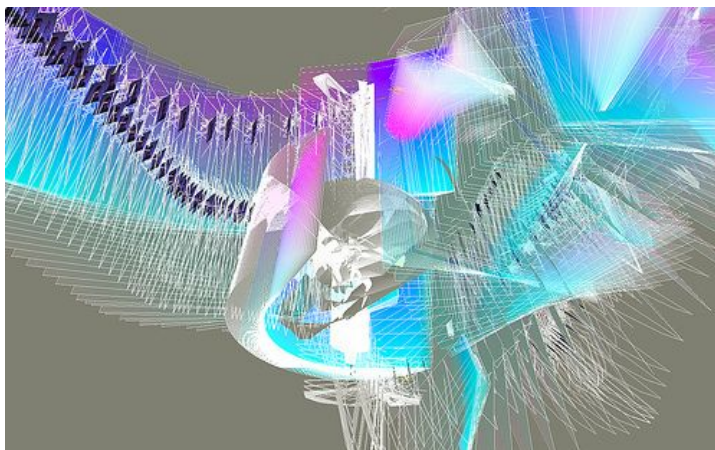
Illustration 59: Exploration photo

## Montage vidéo en 3D

Ce deuxième prototype est un éditeur de vidéo en 3D. Le système se compose d'une webcam équipée du module couleur dans une version qui est équipé d'un diffuseur de couleur acrylique surdimensionné. En déplaçant la webcam près d'un écran, il est alors possible de connaître sa position et son orientation en utilisant simplement une caméra et un ordinateur (ici un portable équipé d'une caméra intégrée). Lorsqu'on déplace la webcam dans l'espace, les images qu'elle capture sont enregistrées par un programme en java ainsi que ces coordonnées dans l'espace (position X, Y, Z). Le programme permet ensuite de lire les séquences vidéos en fonction des mouvements fait pour les capturer. En tournant la webcam dans ce mode, on obtient seulement les images prises lorsque la webcam filmait en tournant. En parlant le langage situé de la webcam (son expérience proprioceptive) on peut donc s'exprimer de manière fluide, et sélectionner des séquences vidéo avec des gestes et le même dispositif que pour la capture (couplage).



Cette interface fonctionne bien pour les rapprochements brusques ou les rotations lentes, mais moins bien avec les travelling et les prises de vues très courtes. En utilisant ce prototype, on peut donc très rapidement faire l'expérience dun montage vidéo gestuel, en trois dimensions. En revenant aux croquis ou en faisant utiliser ce prototype à des enfants, se présentent alors de nouvelles possibilités souvent issues de reconfigurations créatives des contraintes que l'on avait pas prévues initialement. Ce deuxième prototype implémente donc une interaction couplée et gestuelle à partir d'un dispositif générique, une webcam. Il met également à jour l'articulation entre sérendipité et reconfigurations itératives des esquisses papiers et physiques.



## Configuration de communication appliances

Ce troisième prototype utilise également le module couleur et interface une communication appliance potentielle (une lampe qui change sa luminosité quand un contact se connecte). Les communication appliances sont des dispositifs qui permettent de relier simplement les différents membres d'une famille ou d'un groupe d'amis. Ces interfaces sont unifonctionnelles et leur double nature d'objet domestique et technologique implique un certain nombre de contraintes, comme le fait notamment de ne pas forcément avoir un écran ou des boutons (c'est en effet la simplicité qui est privilégiée dans ces dispositifs).

Se pose alors le problème de la configuration. En ce qui concerne l'intégration de ces objets dans un réseau social, de nombreuses solutions ont été proposées comme les cartes FamilyNet (Mackay, 2005) ou les applications Circa (Nars, 2005). Cependant, les situations de configuration fonctionnelles (présence, notification, output) ne sont pas envisagées par ces recherches qui se concentrent en général sur les aspects sociaux.

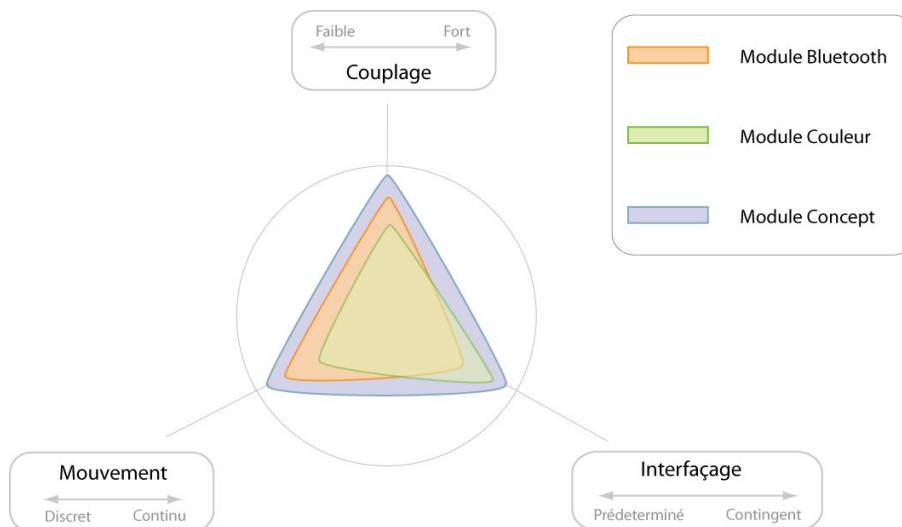


Le prototype présenté propose donc d'explorer les différentes possibilités de configuration couplées et gestuelles. Un module couleur est attaché à la lampe qui peut maintenant devenir un contrôleur tangible lorsqu'on l'approche d'un téléviseur surplombé d'une webcam ou d'un ordinateur. Une application java affiche alors différentes possibilités de réglages (statut) mais également propose de publier une tagline (petit message social) en utilisant les mouvements de la lampe. En fonction de la manière dont on agite la lampe, on peut ainsi générer un avatar plus ou moins calme.

La mise en place de ce scénario est très rapide, il suffit d'une après-midi de conception et d'un peu de programmation pour élaborer ce prototype semi-fonctionnel. On peut ainsi envisager l'utilisation de ce système dans le cadre de séances de conception participative. Ce troisième prototype montre donc comment l'interaction couplée et gestuelle permet de compléter les interfaces préexistantes dans les objets domestiques.

### 5.3.3. Evaluation

Afin d'évaluer notre boîte à outils de manière systématique, nous allons représenter les différents modules conformément à l'espace génératif. Nous analyserons ensuite ces éléments au regard des objectifs fixés au paragraphe précédent. Le schéma suivant manifeste les propriétés et dimensions des différents modules :



L'analyse de ce schéma montre que les modules de notre boîte à outils respectent les critères établis par l'espace génératif. Ils permettent en effet de coupler le mode de capture à celui d'exploration par une interaction tangible et gestuelle. Leur petite taille et leur conception électronique peu gourmande en énergie favorise également leur appareillage sur n'importe quel objet du monde physique. En ce qui concerne la partie logicielle, les deux modules (BT et Couleur) proposent deux approches différentes qui correspondent à des besoins différents. Comme on le voit sur le schéma, le module BT entraîne des interactions gestuelles plus fluides, plus continues mais nécessite plus de courant. De plus, comme nous l'avons vu, la technologie Bluetooth n'est pas forcément robuste et adaptée pour les enfants. Le module couleur est moins performant en terme de continuité du geste, mais donne des résultats très satisfaisants pour des semi-prototypes, dont le but n'est pas d'être des produits industriels.

Ce module consomme peu d'électricité et ne nécessite pas de liaison radio, il est donc adapté à l'utilisation par les enfants. Enfin, le modèle conceptuel évoque ce que pourrait être un matériau « intelligent » ou en tout cas dynamique, qui pourrait changer de couleur en fonction de son orientation, et donc être reconnu par le système de tracking. Lorsqu'on regarde ces trois modules, on pourrait imaginer associer un module BT avec un module couleur. Nous pensons que c'est une bonne idée, surtout dans des conditions de fort ensoleillement ou le module BT pourrait prendre le relais du module Couleur. De plus, le système actuel ne gère qu'un seul module à la fois, permettant de comparer facilement les deux modules BT et couleur. Dans le cas d'une utilisation Multi-Point (Multi-Touch), le



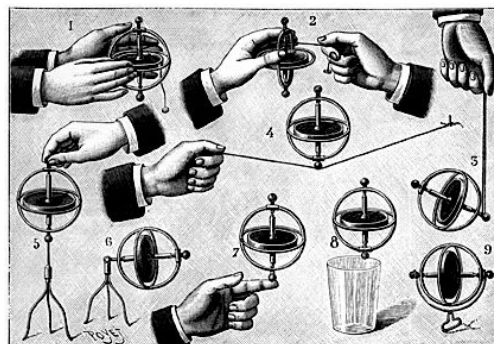
module couleur deviendrait alors très performant comparé au BT car cette technologie rend difficile l'utilisation en même temps de plus de trois composants radio. Le tracking couleur est lui limité aux performances de l'ordinateur. La boîte à outils permet donc d'intégrer les différentes dimensions de notre modèle génératif tout en nécessitant très peu de code informatique ou d'assemblage électronique. Nous allons maintenant examiner les différents prototypes générés par la boîte à outils.

### 5.3.4. Discussion

Nous venons de montrer que la boîte à outils correspond aux critères de l'espace génératifs, cependant il nous reste encore à examiner si les prototypes générés par la boîte à outils correspondent à ceux définis par la méthode de l'Épistémologie Créative. Cette méthode prescrit en effet d'utiliser des outils permettant l'observation et l'exploration de manière réflexive, complexe et co-exploratoire. Les trois prototypes générés à l'aide de la boîte à outils favorisent le couplage entre l'observation et l'exploration de données temporelles, dynamiques, par une interaction gestuelle et en utilisant des objets physiques comme support. Les deux premiers prototypes notamment, si ils étaient utilisés dans le cadre d'activités impliquant des adultes et des enfants, seraient donc très adaptés à l'épistémologie créative, puisqu'ils permettent de :

favoriser l'exploration conjointe de données qualitatives complexes recueillies par les enfants (co-exploration, complexité, réflexivité).

Il reste maintenant à voir ce que des enfants, des chercheurs et des designers peuvent faire avec cette boîte à outils pour examiner si ces dimensions génératives seront déployées dans des ateliers de conception participative. C'est un projet de taille, car contrairement aux boîtes à outils logicielles qui peuvent être distribuées en open-source et répliquées sur le web, les boîtes à outils hybrides sont très rarement utilisées par d'autres personnes que leur concepteurs (à l'exception notable des Phidgets et du projet Arduino). Un kit physique est dans un système économique différent qu'un ensemble logiciel, il faut nécessairement investir dans des composants électroniques. Même si le code source des dispositifs est libre (open-hardware), les compétences nécessaires à la réalisation électronique sont différentes de celles requises pour compiler le code source d'une toolkit. Voilà pourquoi nous avons essayé de réaliser une implémentation modulaire tentant de répondre à cette logique, dans l'optique future de penser l'électronique comme un matériau de conception générique comme le papier ou le plastique. Le but final étant de permettre d'implémenter des technologies complexes comme les gyroscopes dans des matériaux de tous les jours afin de permettre le prototypage d'outils **couplés**.



## 5.4. Synthèse

*Les contributions de ce chapitre sont les suivantes :*

Introduction d'une méthode d'examen systématique pour l'étude de l'exaptation, l'**épistémologie créative** et de ses dimensions réflexives, complexes et co-exploratoires.

Présentation de l'approche de **créativité vue par les enfants**, un cadre d'observation scientifique utilisant des données qualitatives recueillies par les enfants et co-explorées avec des chercheurs.

Elaboration d'un **espace de conception** pour le prototypage d'outils d'observation qualitative de l'environnement, la communication, l'expérience créative et des artefacts.

Présentation de différents **prototypes** permettant l'observation et l'exploration individuelle et sociale (contrôleurs et caméras tangibles, bijoux, vêtements et mobilier interactifs).

Analyse et **évaluation des différents dispositifs** et mise à jour d'une dimension de **couplage** entre l'observation et l'exploration des données qualitatives.

Définition d'un **espace génératif** tangible, multimédia et hybride pour la conception d'environnements de prototypage.

Présentation de la **boîte à outils Exaptive**, facilitant le prototypage de ces technologies par les enfants, les designers et les chercheurs. Evaluation et examen de trois prototypes générés grâce à la boîte à outils.

## 6. Discussion

*Nous présentons et discutons dans ce chapitre les résultats des différentes étapes de notre recherche notamment ceux de l'étude qualitative et des différentes itérations des outils méthodologiques et technologiques examinés au chapitre précédent.*

6.1. Questions théoriques.....	131
6.2. Questions pratiques.....	132
6.3. Conséquences pour le design de l'IEM.....	133
6.4. Conséquences pour la recherche en IEM.....	134
6.5. Quelles implications pour les enfants ?.....	135
6.6. Limites de cette recherche.....	135
6.7. Recherches futures.....	137
6.8. Résumé des contributions de cette thèse.....	137

### 6.1. Questions théoriques

Notre mémoire manifeste la nature exaptive de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. Nous avons montré comment les enfants reconfigurent les technologies en modifiant les fonctions initiales des systèmes dans d'autres buts, mais également comment de nouvelles fonctions sont fabriquées en modifiant des éléments non-fonctionnels, identifiés lors de phases exploratoires, révélant les espaces ouverts de leur environnement. Cette double nature des exaptations a pour conséquence de souligner la nature contingente, non prédictible des reconfigurations de systèmes interactifs par leurs utilisateurs. L'étude des reconfigurations ne peut donc pas se faire dans une logique déterministe classique qui consisterait à prédire les agencements fonctionnels futurs en fonction d'éléments donnés. Une conséquence de ce constat est que la conception d'interfaces reconfigurables ne peut se fonder exclusivement sur l'application de règles ou de modèles ( patrons) mais intégrer également des notions d'espaces ouverts que pourront investir les utilisateurs de ces technologies sans recours préalable à un quelconque apprentissage. Nos recherches montrent que la créativité des enfants a moins pour origine l'application de règles que la fabrication même de structures régulées par la négociation avec leur environnement (exploration) et aussi avec leurs pairs (communication).

L'étude qualitative menée au chapitre 3 montre également que l'expérience de l'agencement structurel (insight) chez les enfants combine des aspects corporels (synaesthétiques) et communicationnels (intention de partager, économie symbolique). Cette observation contraste avec la conception classique de la créativité technologique, qui souligne généralement l'importance des processus cognitifs pour l'information de nouvelles fonctions lors de l'utilisation de systèmes interactifs. L'étude des reconfigurations technologiques ne peut donc pas se résumer à l'examen logique ou rationnel des artefacts créés par les enfants. A l'inverse, il convient plutôt de manifester la relation entre l'expérience cognitive d'un système technologique (raisonnement, logique de l'action, perception causale) et l'expérience sensorielle et sociale de la découverte des propriétés et espaces ouverts publicités par l'environnement immédiat des enfants, leur situation. L'examen de ces manifestations par des chercheurs en IHM ou en IEM n'est pas simple car il convient de capturer les traces d'un phénomène furtif: l'expérience de la découverte, l'insight. La présence d'adultes dans une société enfantine ajoute un biais à ces observations, leur autorité modifiant nécessairement la relation qu'entretiennent les enfants à l'espace et au groupe. Une méthode d'enquête appropriée devrait donc garantir une certaine distance nécessaire à l'observation ou au contraire assumer les biais subjectifs associés à la présence d'adultes.

La méthode d'Epistémologie Créative présentée au chapitre 5 intègre ces deux aspects en combinant des observations réflexives (données qualitatives complexes recueillies par les enfants sans la présence d'adultes) à des épisodes de co-exploration (sélection, narration et identification conjointes) en présence d'adultes (chercheurs, designers, enseignants, parents...). Cette méthode définie comme l'étude de l'exaptation à partir de données recueillies par les enfants propose d'examiner les reconfigurations des systèmes interactifs selon des perspectives réflexives, complexes et co-exploratoire. Aux méthodes d'enquêtes et d'étude classiques, cette approche questionne l'autorité ('authorship') enfantine lors des pratiques scientifiques et propose une alternative à la posture hiérarchique (je regarde ce que tu construis) grâce au mécanisme d'exploration conjointe (nous regardons ensemble ce qui construit nos regards). Révéler l'expérience de l'insight nécessite en effet de multiplier les perspectives sur ce phénomène qui n'existe précisément que dans les interstices, ou comme le disait Duchamp à propos de la création artistique: "Art is not what we see; it is in the spaces between." Ainsi, et comme dans les travaux menés dans les écoles de Reggio Emilia, nous pensons donc que la documentation du processus créatif par les enfants est constitutive de l'expérience créative.

## 6.2. Questions pratiques

---

Afin de permettre aux enfants de recueillir des données sur leurs processus créatifs, il convient de façonner avec eux des outils d'observation et d'exploration appropriés. Cette conséquence de la méthode d'Epistémologie Créative signifie que les enfants peuvent multiplier les perspectives sur leurs pratiques seulement s'ils peuvent développer des systèmes interactifs destinés à l'examen qualitatif de leurs artefacts et interactions sociales dès le plus jeune âge, ou, pour reprendre les travaux menés dans les années soixante-dix (Papert, Solomon, Kay, Goldberg) fabriquer des dispositifs pour des enfants plus jeunes qu'eux. Nous avons proposé au chapitre 5 différents prototypes de dispositifs qui nous ont permis de construire une boîte à outils facilitant la conception participative de systèmes d'observations et d'exploration interactifs. Nous avons notamment mis en évidence une relation de couplage entre ces deux étapes qui permet d'articuler

simplement la capture et la sélection de données recueillies. Selon nos résultats, il convient en effet de favoriser au maximum le feedback sur le point de vue courant des enfants pour permettre des réajustements rapides sur la capture de la situation. De la même manière que l'on peut rapidement passer d'une idée à l'autre avant de prononcer une phrase orale, il s'agirait ici de circuler rapidement entre différentes séquences audiovisuelles avant de prononcer une phrase audiovisuelle: parler les images, pour entendre ce qu'elles nous montrent.

Afin de faciliter la conception de dispositifs couplés, nous avons proposé différents éléments pour rendre les prototypes dynamiques, et accélérer la manifestation de leurs propriétés dès l'esquisse ou lors des phases de conception participative. Comme les constructionnistes, nous pensons donc que l'usage et le prototypage ne sont que deux perspectives similaires à propos du même processus. Faire un dessin ou une sculpture avec de la pâte à modeler ne remplace pas la vie au quotidien auprès des objets technologiques, le développement d'une relation particulière entre les enfants et les machines. L'interaction se construit plus dans le temps de l'expérience quotidienne que dans l'espace intellectuel et créatif des épisodes éphémères de production formalisés comme les brainstorming, l'UCD et le Design Participatif. Cependant, si ces activités incluent la possibilité de construire rapidement des machines et dispositifs fonctionnels, opérationnels, alors on peut rapprocher activités de conception et design épigénétique, familier. Une conséquence pratique de nos recherches est donc que le prototypage ne doit pas être séparé de l'usage, et que des outils de documentation appropriés permettent de transformer les usages en observables pour la conception.

### 6.3. Conséquences pour le design de l'IEM

---

Nos résultats montrent que les enfants n'utilisent pas les technologies telles que les concepteurs les fabriquent. Particulièrement dans le cas des technologies créatives, nous avons montré que les utilisateurs explorent de manière radicale les fonctions proposées pour ensuite assembler de nouvelles fonctionnalités, souvent en empruntant des éléments ou des structures de leur environnement immédiat. Les dispositifs interactifs sont donc plus des oeuvres à finir ou à reconfigurer que des scénarios ou des programmes à parcourir. Ce constat surprenant implique de réviser la posture et la prégnance des concepteurs de technologies au profit des utilisateurs/modificateurs, créant avec leurs objets une relation riche et dynamique, intime et contingente, et de fait imprédictible par les designers et concepteurs. Dans cette logique, une conséquence importante pour le design de ces technologies est la remise en question de l'intention du concepteur et de la nature de ses productions. Au lieu de fabriquer une histoire fermée, il peut au contraire préparer un milieu ouvert, génératif, à écrire ensemble. C'est la tension entre reproduction contrôlée et émergence spontanée qui se retrouve dans ces deux postures possibles pour les créateurs d'interfaces pour enfants: doivent-ils programmer les parcours possibles ou bien créer un monde à investir dans lequel ils n'auront plus aucun contrôle ? Nos résultats montrent que ces deux postures doivent être considérées puisque les enfants transformeront nécessairement les intentions qui ont dirigé la fabrication des objets technologiques qu'ils utilisent.

Une deuxième conséquence est de comprendre l'utilité de concevoir les usages et leur documentation par les utilisateurs comme la source la plus importante de données scientifiques sur la conception et l'évolution des interfaces technologiques. Nous montrons qu'une approche perspectiviste, pluraliste, est

nécessaire pour manifester les différentes dimensions de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives. C'est en combinant différents points de vue humains (chercheurs, concepteurs et surtout acteurs du terrain) que l'on peut entre-apercevoir la nature complexe de l'expérience interactive. Il ne suffit pas de choisir une attitude de pure objectivité (observation extérieure) ou de subjectivité technologique (technology probes) pour manifester le maillage intriqué des usages, de l'environnement et de leur agencement par les utilisateurs créateurs. La conception des technologies créatives pour enfants est donc plus un processus d'éveil à l'expérience dynamique de l'interaction qu'une mécanique rationnelle de génération d'idées préalablement normées dans un référentiel statique. Prendre en compte les reconfigurations nécessite de créer non-seulement des dispositifs modifiables mais également comportant des zones ouvertes, non-fonctionnelles, mais compatibles avec le milieu dans lequel ces interfaces seront utilisées.

#### 6.4. Conséquences pour la recherche en IEM

---

Nous avons montré que les phénomènes d'exaptation nécessitent de nouvelles manières d'étudier l'interaction entre les enfants et les technologies créatives, moins dans une intention de modéliser pour prédire que de décrire pour comprendre. Classiquement, les interfaces enfant-machine sont évaluées à posteriori, dans le cadre de tests dits d'utilisabilité (usability) et tentent de vérifier si les objectifs initiaux des dispositifs rencontrent la pratique. Dans le cadre des technologies créatives, il est très compliqué de savoir si tel ou tel objet peut rendre un enfant plus créatif. Plus rarement, certains travaux récents se sont intéressés à décrire préalablement la nature de l'interaction technologique par le moyen de méthodes dites anthropologiques ou ethnographiques. Nos travaux se rapprochent de ce champ tout en insistant sur l'observation participante et la nécessité de multiplier les perspectives sur le terrain étudié, dans le but de comprendre de manière complexe comment l'environnement social et objectal influence l'évolution des dispositifs technologiques. Une conséquence de nos travaux pour la recherche en IEM est donc que l'on ne peut pas fonder exclusivement l'étude de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives sur une analyse purement formaliste. Il s'agit plus de révéler l'expérience individuelle et sociale du ré-agencement des fonctions et structures proposées par les dispositifs et l'environnement immédiat des enfants.

Ce processus long nécessite de nouveaux outils de documentation, aux caractéristiques réflexives, complexes et co-exploratoires. Nous avons présenté quelques outils de ce type, mais nous pensons que les dispositifs technologiques pourraient tous intégrer ces caractéristiques et ainsi pouvoir manifester leur histoire, leur interaction avec le monde. Ainsi, au lieu de créer des objets « intelligents » il s'agirait plus de concevoir des objets miroirs, pourvus d'une mémoire située, questionnables et observables par leurs utilisateurs. Comme la patine d'une table évoque son histoire, la visualisation des interactions passées entre un objet et ses utilisateurs permettrait de décrire certains angles saillants, et mettre en relief les épisodes particulièrement signifiants pour les utilisateurs. Cependant, il convient de noter que ce sont les utilisateurs eux-mêmes qui peuvent comprendre quels sont ces moments, il convient donc d'explorer avec eux ces moments et d'analyser les données préalablement sélectionnées par eux, lors d'activités co-exploratoires, comme celles présentées au chapitre cinq. Il s'agit donc de documenter et décrire pour manifester des corrélations que l'on pourra ensuite intégrer dans un référentiel signifiant ultérieur. Passer d'une posture prédictive à une approche complexe.

---

## 6.5. Quelles implications pour les enfants ?

---

Il convient enfin de présenter les conséquences de nos recherches pour les enfants, principalement concernés par les interfaces technologiques. Nos résultats indiquent que leur rôle ne se limite pas à celui d'utilisateurs, ils explorent en effet les limites des fonctions des dispositifs technologiques et sont également à l'interface entre l'environnement et les intentions des concepteurs de technologies. Leur position particulière et leur point de vue ne sont pas forcément observables facilement, c'est pourquoi nous pensons qu'il est important de prendre en compte leur expérience en créant des outils et des méthodes de recherche qui les impliquent non seulement dans le cadre de la conception de dispositifs mais également comme producteurs de données scientifiques qui pourront être ensuite analysées par des chercheurs adultes.

Ce renversement des rôles classiques entre observateur et observé permet en outre de faire prendre conscience aux enfants du processus à l'oeuvre lors des recherches en IEM et en IHM. Permettre aux enfants de produire des données qualitatives, et notamment de sélectionner certains épisodes signifiants, leur donne la possibilité de trier, voire de refuser de rendre publique certains objets ou certains moments, ce qui n'est pas le cas lors des activités scientifiques classiques impliquant des enfants. La documentation des processus d'interaction par les enfants génère de nouvelles données d'usages, sur une longue période. Nous pensons que l'implication des enfants comme producteurs de ces données leur permet de questionner leur pratiques et ainsi changer de perspective sur leur interaction avec les objets technologiques. Plutôt que de les observer pour les comprendre, nous pensons qu'il convient de leur apprendre à observer pour comprendre avec eux. C'est dans ce contexte que nous avons proposé plusieurs dispositifs et une boîte à outils qui permettent aux enfants de construire des objets pour documenter leurs processus créatifs de manière couplée, en alternant rapidement observation et exploration.

---

## 6.6. Limites de cette recherche

---

Cette dissertation a proposé une étude systématique des interactions entre les enfants et les technologies créatives, dans une perspective qualitative, méthodologique et de conception. Cette approche scientifique triple, entretenue dans le cadre de la méthode dite de « triangulation » présente néanmoins certaines limites. Pour prétendre au critères de scientificité, un travail de recherche doit en effet pouvoir garantir un certain niveau d'exigence notamment en ce qui concerne:

- La pertinence des échantillons
- Les données collectées
- La réplication
- La généralisation

Nos études qualitatives ainsi que les évaluations des dispositifs se sont déroulées sur des périodes courtes et avec des panels réduits d'utilisateurs. Le cadre d'une thèse en IHM ne permettant pas de pratiquer des études longitudinales

poussées, nous avons en effet préféré multiplier les interventions que de se concentrer sur une étude de longue durée. Cependant, les groupes étudiés avaient au minimum plus d'une dizaine d'utilisateurs, ce qui permet déjà de garantir des échantillons représentatifs. De plus, de nombreuses tentatives, notamment dans le milieu scolaire, ont été un échec, le plus souvent à cause de normes très strictes (interdiction d'utiliser des technologies sans-fil comme Bluetooth dans les écoles) ou de la prudence excessive des encadrants (peu motivé à conduire des expériences scientifiques dans leur classe). Les échantillons étudiés sont donc réduits mais variés. Une exception cependant, pendant la fête de la science 2004 nous avons reçu plus de 600 enfants sur notre stand pendant trois jours, conduisant à des masses de données d'observation, qui ont beaucoup influencées nos recherches futures. Pourtant, nous pensons qu'un panel réduit d'enfants est plus simple à gérer, notamment pour un étudiant en thèse qui doit en général organiser les ateliers, les observations et le déroulement des activités.

Les données collectées sont principalement d'ordre qualitatif, ce qui peut surprendre un public habitué aux métriques habituellement utilisées en informatique (temps, erreur). Le caractère non-prédictif de notre sujet ne permettait pas de s'inscrire dans un cadre scientifique déterministe, l'interaction entre les enfants et les technologies créatives ne peut pas se réduire à des routines et des schèmes automatiques tels qu'on les voit souvent dans les approches cognitivo-comportementalistes. Nos études montrent au contraire qu'une grande partie de l'interaction enfant-machine est émergente, située dans le contexte et le moment précis de l'interaction, et que si l'on peut se préparer et prédire ce moment, on ne peut pas de manière sûre dire ce qu'il se passera lors de ce moment. D'une certaine manière, on peut comparer l'étude du facteur humain à celui de certains phénomènes physiques comme la météo ou le comportement des grands groupes sociaux. On peut voir des tendances et prédire un ensemble de choix possibles mais jamais savoir exactement ce qui se déroulera dans le futur, ces phénomènes étant complexes. Cette tension entre science exacte et science complexe permet de mieux comprendre pourquoi nous avons choisi de concentrer nos études sur la production de données qualitatives, riches et interprétables de multiples manières, à la fois dans le cadre de cette thèse mais également par d'autres chercheurs.

De par son caractère qualitatif, cette thèse n'est pas facilement répliquable. Cependant, un effort particulier a été porté sur la méthodologie (triangulation, grounded theory) pour permettre à d'autres chercheurs de répliquer des observations dans le cadre de l'interaction entre des enfants et des technologies créatives. Le critère de réplication est crucial dans les sciences exactes qui mettent en place des expérimentations contrôlée. Dans le domaine des sciences qualitatives, la méthodologie utilisée et son contrôle d'application permet de garantir des conditions similaires. Dans le chapitre cinq, nous avons donc précisément décrit les espaces de conception et génératifs utilisés pour la réalisation des différents dispositifs développés. En reprenant ces mêmes cadres nous pensons que des résultats similaires pourraient être atteints. Cependant, comme dans toute étude qualitative, nous ne pouvons pas prédire exactement la précision des résultats répliqués.

Enfin, la généralisation de nos résultats, c'est à dire leur application à une grande échelle, n'est pas facile à contrôler, comme c'est le cas généralement dans les expériences quantitatives. Cependant, nous pensons que les données qualitatives manifestées, ainsi que nos résultats théoriques aident à mieux comprendre comment les enfants utilisent les technologies créatives, et notamment comment ils reconfigurent certaines fonctionnalités et en créent de nouvelles en s'inspirant de phénomènes présents dans leur environnement.



---

## 6.7. Recherches futures

---

Cette dissertation a présenté la thèse selon laquelle les enfants exaptent les technologies, c'est à dire comment ils modifient le plan tracé par les concepteurs de ces dispositifs. Ces reconfigurations et ajustements fonctionnels ne sont pas prédictibles et nécessitent de nouveaux outils de documentation et d'observation. Nous en avons proposé certains au chapitre cinq, et les avons évalués selon des espaces de conception et génératifs. Nous souhaitons dans le futur intégrer ces différents dispositifs dans le cadre d'une étude longitudinale où des enfants pourraient observer leurs pratiques créatives à l'aide de ces outils et en discuter visuellement avec des chercheurs adultes, en co-explorant les données qualitatives qu'ils ont produites. Nous désirons donc porter nos prototypes à une échelle plus grande en terme de robustesse et d'utilisation dans un cadre réel (école, cadre domestique) pour s'appuyer sur des données in-situ, sur le long terme.

---

## 6.8. Résumé des contributions de cette thèse

---

Dans cette dissertation, nous montrons que l'interaction enfant-machine est un phénomène d'exaptation. Nous détaillons comment les enfants modifient les fonctions des interfaces et créent également de nouvelles fonctions à partir d'éléments non fonctionnels. Notre dissertation montre que dans le cas de l'interaction entre les enfants et les machines, ces modifications fonctionnelles ne sont pas forcément des sélections (co-adaptations) mais plus souvent des reconfigurations (**exaptations**) pouvant avoir une origine fonctionnelle (adaptation co-optée) ou non (cooption).

Cette thèse propose ainsi plusieurs résultats d'ordre empiriques, théoriques, méthodologiques et technologiques. Parmi ces résultats, on peut citer notamment:

1. La caractérisation de l'interaction entre les enfants et les technologies créatives comme un phénomène d'exaptation, appuyée par des données empiriques.
2. La mise en évidence théorique des liens entre les différentes dimensions conceptuelles du phénomène d'interaction entre les enfants et les technologies créatives, et notamment la description de l'influence réciproque des phénomènes suivants:
  - a. Exploration physique (sensorielle et radicale)
  - b. Découverte d'espaces ouverts (qui permettent la création de nouvelles fonctions)
  - c. Communication (non-verbale, manipulation conjointe, gestuelle)
  - d. Insight (sensations ou assemblages remarquables)
  - e. Configuration (sélection et arrangement de fonctions)
  - f. Reconfiguration (création de fonctions à partir de fonctions existantes)

3. L'élaboration d'une méthode d'étude, l'Epistémologie Créative, qui propose d'examiner l'exaptation du point de vue des enfants, à partir de données audiovisuelles recueillies sans la présence d'adultes sur le terrain et utilisées comme médiations lors de séances d'exploration conjointe avec des chercheurs.

4. La conception et l'évaluation de six classes de prototypes d'interfaces permettant l'observation et l'exploration qualitatives. La mise en évidence de l'importance des propriétés tangibles, multimédia, d'imitation, de co-manipulation et de démonstration pour la conception de ces interfaces.

5. La réalisation d'une boîte à outils (EXAPTIVE) facilitant la génération de ce type d'interfaces par les designers, les chercheurs et les enfants. La mise en évidence des dimensions d'interaction couplée (observation et exploration avec les mêmes techniques), d'interaction gestuelle et d'hybridation.

Cette dissertation montre que les enfants peuvent étudier leurs processus créatifs. Si ils suivent un méthode appropriée et utilisent des outils d'observation et de documentation, ils pourront alors co-explorer ces données et aider des chercheurs adultes à faire des liens et analyser ces données. Les chercheurs pourront en particulier étudier comment les enfants exaptent les technologies, c'est à dire comment ils créent de nouveaux usages et de nouvelles fonctions en reconfigurant leur environnement de manière créative.





## 7. Bibliographie

**Abelson, H.** LOGO Manual, MIT A1 Lab. LOGO Memo 7, 1973.

**Ackermann, E.** "Perspective-Taking and Object-Construction" In Constructionism in Practice: Designing, Thinking, and Learning in a Digital World (Kafai, Y. & and Resnick, M. Eds.). Chap. 2, pp. 25-37. Northdale, NJ: Lawrence Erlbaum. 1996.

**Ackermann, E.** "Constructing knowledge and transforming the world". In A learning zone of one's own: Sharing representations and flow in collaborative learning environments. (Tokoro, M.; Steels, L. Eds.). IOS Press, Amsterdam, Berlin. Oxford, Tokyo, Washington, DC. Part 1. Chapt.2. pp. 15-37. 2007.

**Ackermann, E.** "Playthings that do things: A young kid's "incredibles"!" In Proceedings IDC 2005, Interaction design and children, June 8-10, Boulder, Colorado, USA. 2005.

**Appert, C., Fekete, J.** OrthoZoom scroller: 1D multi-scale navigation. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Montréal, Québec, Canada, April 22 - 27, 2006). R. Grinter, T. Rodden, P. Aoki, E. Cutrell, R. Jeffries, and G. Olson, Eds. CHI '06. ACM Press, New York, NY, 21-30. 2006.

**Arnheim, R.** La pensée visuelle, Flammarion (1976), coll. Champs. 1976.

**Barnard, P.** Bridging between basic theories and the artifacts of Human-Computer Interaction. In J. Carroll (Ed.), Designing interaction: psychology at the human-computer interface (pp. 103-127), New York: Cambridge University Press. 1991.

**Barnard, P.** Interfacing Thought, Cognitive aspects of Human Computer Interaction, chapter Cognitive Resources and the Learning of Computer Dialogues pp. 112-158. MIT Press Publ, 1987.

**Barry, B.,** Story Beads: a Wearable for Distributed and Mobile Storytelling M.S. Thesis (2000). MIT Medialab. 2000.

**Bateson, G.** Steps to an Ecology of Mind, Chicago: University of Chicago Press 1972.

**Beau, F.** Culture d'univers. FYP Editions. 2007.

**Beaudouin-Lafon, M.** Instrumental Interaction: an Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces". In Proc. ACM Human Factors in Computing Systems, CHI 2000, La Haye (Pays-Bas), Avril 2000, CHI Letters 2(1):446-453, ACM Press. 2000.

**Begel, A.** LogoBlocks: A graphical programming language for interacting with the world. Electrical Engineering and Computer Science Department. MIT, Cambridge, MA. 1996.

**Begley, C.M.** Using triangulation in nursing research. Journal of Advanced Nursing, 24(1), pp.122-128. 1996.

**Bier, E. A., Stone, M. C., Pier, K., Buxton, W., and DeRose, T. D.** Toolglass and magic lenses: the see-through interface. In Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and interactive Techniques SIGGRAPH '93. ACM Press, New York, NY, 73-80. 1993.

**Blecker, J., Nova, N.** Why Things Matter ?  
<http://research.techkwondo.com/files/WhyThingsMatter.pdf> . 2006.

**Bobick, A. F., Intille, S. S., Davis, J. W., Baird, F., Pinhanez, C. S., Campbell, L. W., Ivanov, Y. A., Schütte, A., and Wilson, A.** The KidsRoom: A Perceptually-Based Interactive and Immersive Story Environment. Presence: Teleoper. Virtual Environ. 8, 4 (Aug. 1999), 369-393. 1999.

**Bruckman, A.** A new perspective on "community" and its implications for computer-mediated communication systems. In CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (Montréal, Québec, Canada, April 22 - 27, 2006). CHI '06. ACM Press, New York, NY, 616-621. 2006.

**Buechley, L., Elumeze, N., Dodson, C., and Eisenberg, M.** (2005). Quilt Snaps: A Fabric Based Computational Construction Kit. In Proceedings of IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE), Tokushima, Japan, November 2005.

**Buechley, L.** (2006). A Construction Kit for Electronic Textiles. In Proceedings of IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC), Montreux, Switzerland, October 2006.

**Buechley, L., Eisenberg, M. and Elumeze, N.** (2007) Towards a Curriculum for Electronic Textiles in the High School Classroom. In Proceedings of the Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE), Dundee, Scotland, June 2007.

**Buss, D. M., Haselton, M. G., Shackelford, T. K., Bleske, A. L., & Wakefeld, J. C.** Adaptations, exaptations, and spandrels. American Psychologist, 53, 533- 548. 1998.

**Chapuis, O., Roussel, N.** Metisse is not a 3D desktop!. In Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology (Seattle, WA, USA, October 23 - 26, 2005). UIST '05. ACM Press, New York, NY, 13-22. 2005.

**Cheok, A.D., Kumar, K.G., Prince, S.** Micro-Accelerometer Based Hardware Interfaces for Wearable Computer Mixed Reality Applications. ISWC 2002: 223-230. 2002.

**Collier, J., Collier, M.** Préface par Edward T. Hall. (1ère publication par Holt, Rinehart and Winston, 1967), Visual anthropology : Photography as a research method, University of New Mexico Press. 1986.

**Coutaz, J., Borkowski, S., and Barralon, N.** Coupling interaction resources: an analytical model. In Proceedings of the 2005 Joint Conference on Smart Objects and Ambient intelligence: innovative Context-Aware Services: Usages and Technologies (Grenoble, France, October 12 - 14, 2005). sOc-EUSAI '05, vol. 121. ACM Press, New York, NY, 183-188. 2005.

**Creativity Support Tools** (CST, 2005), National Science Foundation. 2005.

**Creswell, J. W.** Educational research: Planning, conducting, and evaluating

quantitative and qualitative research. Upper Saddle Creek, NJ: Pearson Education. 2002.

**Dahiya, R.** Interaction Design Master Thesis. Interaction Design Institute Ivrea, 2004.

**Dautenhahn, K.** Robots as Social Actors: AURORA and the Case of Autism Proceedings CT99, The Third International Cognitive Technology Conference, August 1999, San Francisco, USA. 1999.

**Decortis, F., Rizzo, A., Daele, L., Polazzi, L., Saudelli, B.** Nouveaux instruments actifs et activités narratives. Pogo : vers un espace de création située. Revue d'Interactions Hommes-Machines. Vol 2 N°2/2001, PP 1-30. 2001.

**Decortis, F., Marti, P., Moderini, C., Rizzo, A., Rutgers, J. Thursfield, P.** "Usages et conception d'instruments actifs pour la créativité narrative." Les cahiers du Numérique. no. 3. 127-148. 2002.

**Decortis, F., Rizzo, A. Saudelli, B.** Mediating effects of active and distributed instruments on narrative activities. In *Interacting with Computers*, 15 (6) pp. 801-830. 2003.

**Dekoli, M.** "Coloring Time with CodaChrome". Master's thesis, Grassroots Inventions Group, Media Laboratory, Massachusetts Institute of Technology. 2003.

**Dew, N., Sarasvathy S. D., Ventakaraman, S.** "The Economic Implications of Exaptation". *Journal of Evolutionary Economics*, 14:69-84. 2004.

**Dewey, J.** *How we think: a restatement of the relation of reflective thinking to the educative process.* Boston, MA, Heath. 1933.

**Dey, I.** *Grounding Grounded Theory: Guidelines for Qualitative Inquiry.* San Diego, CA : Kluwer. 1999.

**Dieterich H., Malinowski U., Kuehme T., Schneider-Hufschmidt, M.,** State of the Art in Adaptive User Interfaces, in Schneider-Hufschmidt M., Kuehme T., Malinowski U (eds), *Adaptive User Interfaces*, Elsevier, 1993, pp 13-48. 1993.

**Dietz, P., Leigh, D.** DiamondTouch: a multi-user touch technology. In *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Orlando, Florida, November 11 - 14, 2001). UIST '01. ACM Press, New York, NY, 219-226. 2001.

**diSessa, A., Abelson, H.** Boxer: A Reconstructible Computational Medium. *Communications of the ACM*, 29 (9), 859 – 868. 1986.

**diSessa, A.** A principled Design for an Integrated Computational Environment. *Human-Computer Interaction*, 1(1), 1 – 47. 1985.

**Dootson, S.** An in-depth study of triangulation. *Journal of Advanced Nursing*, 22, 183-187. 1995.

**Dourish, P.** *Where the Action Is: The Foundations of Embodied Interaction.* Cambridge: MIT Press. 2001.

**Druin, A.** NOOBIE: The Animal Design Playstation. *SIGCHI Bulletin*, 20(1), 45-53.

1987.

**Druin, A.** Cooperative inquiry: Developing new technologies for children with children. In Proceedings of Human Factors in Computing Systems (CHI 99). ACM Press. 1999.

**Druin, A., Bederson, B., Boltman, A., Miura, A., Knotts-Callahan, D., & Platt, M.** Children as our technology design partners. A. Druin (Ed.), The design of children's technology. (pp.51-72) San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. 1999.

**Druin, A., Hendler, J.** Robots for kids: Exploring new technologies for learning. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann. 2000.

**Druin, A.** JesterBot: a Storytelling Robot for Pediatric Rehabilitation. HCIL. 2001.

**Duchamp, M.** L'acte créatif. 1957.

**Edwards, C., Gandini, L., Forman, G.** (Eds.) The Hundred Languages of Children: The Reggio Emilia Approach to Early Childhood Education. Norwood, NJ: Ablex, 1993.

**Eisenberg, M., Buechley, L., Elumeze, N.** (2004). Computation and Construction Kits: Toward the Next Generation of Tangible Building Media for Children. In Proceedings of Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA), Lisbon, Portugal, December 2004.

**Elumeze, N.** Aniomagic, The Electronic Sewing Kit. <http://www.aniomagic.com/> . 2007

**Equator.** Interdisciplinary Research Collaboration (IRC) for Physical and Digital Interaction. 2003

**Finke, R.A.** Creative Insight and Preinventive Forms. In R.J Sternberg & J.E. Davidson (Eds), The Nature of Insight. (p 255 - 280). Cambridge: MIT Press. 1995.

**Fogg, B.J.** Persuasive Technology: Using Computers to Change What We Think and Do. 2003

**Foss, C., Ellenfsen, B.** The value of combining qualitative and quantitative approaches in nursing research by means of method triangulation. J Adv Nurs. 2002 Oct;40(2):242-8. 2002.

**Foucault, M.** Surveiller et punir. Gallimard. 1975.

**Foxlin, E., Naimark, L.** "VIS-Tracker: A Wearable Vision-InertialSelf-Tracker". In IEEE Conference on Virtual Reality (VR 2003). 2003.

**Frei, P., Su, V., Mikhak, B., Ishii, H.** curlybot: Designing a New Class of Computational Toys, in Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '00) , (The Hague, The Netherlands, April 1-6, 2000), ACM Press, pp.129-136. 2000.

**Freud, S.** "Das Unheimliche" in: Gesammelte Werke Bd. XII, Frankfurt am Main 1999, S.227-278. 1919.

**Fuchs F., Moreau G., Papin J. P.** "Le traité de la Réalité Virtuelle". Les presses de l'Ecole des Mines, Paris, 2001, ISBN 2-911762-34-7, 517 p. 2001.



**Gardner, H.** la culture et les arts (Gardner, 1994). 1994.

**Garfinkel, H.** Studies in ethnomethodology. 1967.

**Gill, S.** Developing Information Appliance Design Tools for Designers. Personal and Ubiquitous Computing, Vol. 7, Springer-Verlag 2003

**Glaser, B., Strauss, A.** (1967) Basics of Qualitative Research, 1990.

**Goldschmidt, G.** The dialectics of sketching, Creativity Research Journal 4(2): 123-143., Goldschmidt, 1991.

**Gopnik, A.** The Scientist as a Child. Philosophy of Science, Vol. 63, No. 4 (Dec, 1996), pp. 485-514. 1996.

**Gould, S.J., Lewontin, R.C.** (1979). The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme. Proceedings of the Royal Society of London B 205, pp. 581-598. 1979.

**Gould, S.J., Vrba, E.S.** (1982) Exaptation - a missing term in the science of form. Paleobiology, 8(1), 4-15. 1982.

**Gould, S.J.** (1991) "Exaptation: A Crucial tool for Evolutionary Psychology", Journal of Social Issues 47: 43-65. 1991.

**Gould, S.J.** (1997). Evolution: The Pleasures of Pluralism. New York Review of Books 44(11), pp. 47-52. 1997.

**Green, T.R.G.** (1989). Cognitive dimensions of notations. In A. Sutcliffe & L. Macaulay (Eds.). People and computers V, (pp.443-459), Cambridge: Cambridge University Press. 1989.

**Greenfield, P. M.** (1984). Mind and Media. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1984.

**Grey Walter, W.** An Electromechanical Animal, Dialectica (1950) Vol. 4: 42—49. 1950.

**Groos, K.** (1898). The play of animals. New York: D. Appleton. 1898

**Guillemette, F.** La grounded theory pour innover. Recherches Qualitatives. RQ-V.26(1) pp. 32-50. 2006.

**Hayashi, T., Abe, K., & Kay, A.** World Stethoscope.  
<http://swikis.ddo.jp/WorldStethoscope/>. 2003

**Holmquist, L.E., Redström J., Ljungstrand, P.** Token-Based Access to Digital Information. Proc. First International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC) '99, Springer Verlag, 1999.

**Oudeyer, P-Y.** L'auto-organisation de la parole. Thèse de doctorat. University Paris VI, 2003.

**Huizinga, J.** Homo Ludens. Beacon Press. 1971

**Interliving.** Designing Interactive, Intergenerational Interfaces for Living Together. IST-2000-26068.2004.

**Ishii, H., Ullmer, B.** Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, in Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '97), (Atlanta, March 1997), ACM Press, pp. 234-241. 1997.

**Jacob, F.** "Evolution and Tinkering," Science 196 (June 10): 1161-1166.1977.

**Kafai, Y. B.** Minds in Play : Computer Game Design As a Context for Children's Learning: Lawrence Erlbaum Assoc. 1995.

**Kafai, Y.** Video game designs by girls and boys, 1998.

**Kahn, K.** Helping Children Learn Hard Things. In A. Druin (Ed.), The Design of Children's Technology (pp. 223-241):Morgan Kaufmann Publishers. 1999.

**Karafyllis, N.C.** (Biofakte: Versuch über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen. 2003.

**Kay, A.** A Personal Computer for Children of All Ages, Proc. ACM National Conf, August 1972, Boston. 1972.

**Kay, A.** Personal Computing. In: Meeting on 20 Years of Computing Science.. Istituto di Elaborazione della Informazione, Pisa, Italy, 1975.

**Kindborg, M., Sökjer, P.** (2007). How Preschool Children Used a Behaviour-Based Programming Tool. Proceedings from Interaction Design and Children (IDC 07), Aalborg, Denmark, June 6-8. 2007.

**Kitamura, Y., Itoh, Y., Masaki, T., Kishino, F.** ActiveCube: A Bi-directional User Interface using Cubes, KES 2000: Fourth International Conference on Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems & Allied Technologies, pp. 99-102, 30 August-1 September 2000, University of Brighton, UK. 2000.

**Knörig, A.** Free the body and the mind will follow. Msc Thesis.FH Postdam. 2006.

**Kozima, H.** A social robot in the wild world: Practices in therapeutic and pedagogical applications, Vancouver Society for Cognitive Science Conference "Robotics for Society" (Vancouver, Canada), 2007.

**Kozima, H., Nakagawa, C.** Interactive robots as facilitators of children's social development, Aleksandar Lazinica (eds.): Mobile Robots: Towards New Applications, Vienna: Advanced Robotic Systems, pp.269-286, 2007.

**Kozima, H., Nakagawa, C.** Longitudinal Child-Robot Interaction at Preschool, AAAI Spring Symposium on Multidisciplinary Collaboration for Socially Assistive Robotics (Palo Alto, CA, USA), 2007.

**Kuniavsky, M.** Sketching-in-Hardware. 2007.

**Latour, B.** We have never been modern. Harvard University Press.1993.

**Letondal, C.** Conception d'applications programmables avec des non-informaticiens. Thèse de Doctorat, LRI, Université Paris Sud. 2000.

**Licklider, J.C.R.** Man-Computer Symbiosis. IRE Transactions on Human Factors in Electronics, volume HFE-1, pages 4-11, March 1960.

**Loh, B., Radinsky, J., Rusell, E., Gomez, L. M., Reiser, B. J., Edelson, D. C.** The

progress portfolio: Designing reflective tools for a classroom context. In Proceedings of Human Factors in Computing Systems (CHI 98) ACM Press, pp. 627- 634. 1998.

**Mackay, W.E., Malone, T.W., Crowston, K. Rao,R., Rosenblitt, D., Card, S.** How do experienced Information Lens users use rules? In Proceedings of ACM CHI '89 Human Factors in Computing Systems. Austin, Texas: ACM/SIGCHI. 1989.

**Mackay, W.E.** Users and Customizable Software: A Co-Adaptive Phenomenon, Ph.D. Thesis. Massachusetts Institute of Technology. 1990.

**Mackay, W.E., Wellner, P., Gold, R.** Special Issue on Computer-Augmented Environments, Communications of the ACM. New York: ACM. 1993.

**Mackay, W.E., Fayard, A-L.** HCI, Natural Science and Design: A Framework for Triangulation Across Disciplines. In Proceedings of ACM DIS '97, Designing Interactive Systems. Amsterdam, the Netherlands. 1997.

**Mackay, W.E.** Triangulation within and across HCI disciplines. Human-Computer Interaction. Hillsdale, New Jersey:Lawrence Erlbaum Associates. Commentary on: "Damaged Merchandise? A Review of Experiments that Compare Usability Evaluation Methods", W.D Gray and M.C. Salzman. Vol. 13, #3, pp. 310-315. 1998.

**Mackay, W.E.** Responding to cognitive overload: Co-adaptation between users and technology. Intellectica. Vol. 30 (1), pp. 177-193. 2000.

**Mackay, W.E., Pothier, G., Letondal, C., Bøegh, K., Sørensen, H.E.** The missing link: augmenting biology laboratory notebooks, Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST 2002), Paris, France. 2002.

**Mackay, W.E., Beaudouin-Lafon, M.** FamilyNet: A Tangible Interface for Managing Intimate Social Networks, in: Proceedings of SOUPS'05, Symposium On Usable Privacy and Security, ACM Press. 2005.

**Mackay, W.E., Riche, Y., Labrune, J.B.** Communication Appliances: Shared Awareness for Intimate Social Networks. ACM SIGCHI 2005 Conference workshop on Shared Awareness. 2005.

**MacLean, A., Young, R.M., Bellotti, V.M.E., Moran, T.P.** Questions, options and criteria: Elements of design space analysis. Human-Computer Interaction 6:201-250. 1991.

**Magrit,** Augmentation visuelle d'environnements complexes. LORIA/INRIA Lorraine. 2004

**Martin, F., Par, K., Abu-Zahra, K., Dulskiy, V., Chanler, A.** (2005). "iCricket: A programmable brick for kids' pervasive computing applications." Published in the 2nd International Workshop on Ubiquitous Computing (IWUC-2005), held at the 7th International Conference on Enterprise Information Systems, Miami Beach, FL. 2005.

**Mazalek, A.** Media Tables: An extensible method for developing multi-user media interaction platforms for shared spaces. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology. 2005.

**McNerney, T. S.** From turtles to Tangible Programming Bricks: explorations in

physical language design. *Personal Ubiquitous Comput.* 8, 5 (Sep. 2004), 326-337. 2004.

**Merleau-Ponty, M.** Les Relations avec autrui chez l'enfant, Centre de documentation universitaire. 1964.

**Metaxas, G., Metin, B., Schneider, J., Shapiro, G., Zhou, W., Markopoulos, P.,** Scorpiodrome: An exploration in Mixed Reality Social Gaming for Children. ACM conference on Advances in Computer Entertainment. 15-17 June, Valencia, Spain, ACM Press. (.pdf). 2005.

**Michaud, F., de Lafontaine, J., Caron, S.** "A spherical robot for planetary exploration", Proceedings 6th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (iSAIRAS), Canadian Space Agency, St-Hubert Québec. 2001.

**Mikhak, B., Silverman, B., Berg, R.** Logochip: A Playful Introduction to Electronics. Grassroots Invention Group internal memo. MIT Media Lab, Cambridge, MA. 2002.

**Moggridge, B.** Designing Interactions. MIT Press, Cambridge. 2007.

**Mogi-Mogi**, <http://www.mogimogi.com> . 2003.

**Mokyr, J.** "Innovation and Selection in Evolutionary Models of Technology: Some Definitional Issues" in John Ziman, ed., *Technological Innovation as an Evolutionary Process*. Cambridge: Cambridge University Press. 1999.

**Mori, M.** The Uncanny Valley, Masahiro. *Energy*, 7(4), pp. 33-35. 1970.

**Nars, E.** Communiquer par groupes avec Circa. In Proceedings of the 16th Conference on Association Francophone D'interaction Homme-Machine (Namur, Belgium, August 30 - September 03, 2004). IHM 2004. ACM Press, New York, NY, 235-238. 2004.

**Nelson, T.** *Computer Lib: You can and must understand computers now/Dream Machines: New freedoms through computer screens—a minority report (1974)*, Microsoft Press, rev. edition 1987: ISBN 0-914845-49-7. 1974.

**New Nomads.** Philips Electronic Fashion. 010 Uitgeverij Eds. 2001.

**Nova, N.** The influences of location awareness on computer-supported collaboration, I&C Faculty Ph.D dissertation, under the supervision of Pierre Dillenbourg. EPFL. 2007.

**Orlikowski, W.** *The Duality of Technology: Rethinking the Concept of Technology in Organizations*, 1992.

**Papert, S., Célièrier, G, Voyat, G** "Cybernetique et Epistemologie". Presses Universitaires de France (with G. Cellerier and G. Voyat). 1968.

**Papert, S.** *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. Basic Books. 1980.

**Papert, S., Solomon, C.** *Twenty Things to Do with a Computer*, MIT, A1 Lab. LOGO Memo 3. 1971.

- Perlman, R.** Using computer technology to provide a creative learning environment for preschool children. Logo memo no 24, MIT Artificial Intelligence Laboratory Publications 260, Cambridge, Massachusetts. 1976.
- Perlman, R.** TORTIS—Toddler's Own Recursive Turtle Interpreter System, MIT A1 Lab. LOGO Memo 9, Mar. 1974.
- Piaget, J.** La formation du symbole chez l'enfant, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé. 1978.
- Platon-1.** Conception d'une Plate-forme pour la Recherche en EIAH. Kaleidoscope. 2005.
- Pogo.** Experimental School Environments. Esprit Project LTR-2002-29330. 1998-2001.
- Rabardel, P.** Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains. Colin Paris. 1995.
- Raffle, H., Vaucelle, C., Wang, R., Ishii, H.** Jabberstamp: embedding sound and voice in traditional drawings. In ACM SIGGRAPH 2007 Educators Program (San Diego, California, August 05 - 09, 2007). SIGGRAPH '07. ACM Press, New York, NY, 32. 2007.
- Raffle, H. S., Parkes, A. J., and Ishii, H.** 2004. Topobo: a constructive assembly system with kinetic memory. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (Vienna, Austria, April 24 - 29, 2004). CHI '04. ACM Press, New York, NY, 647-654.
- Resnick, M.** Pianos not Stereos: creating computational construction kits. Interactions, vol. 3, no. 6 (Sep./Oct. 1996). 1996.
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., Silverman, B.** Digital Manipulatives. Proceedings of the CHI '98 conference, Los Angeles, April 1998.
- Resnick, M., Berg, R., Eisenberg, M., Turkle, S., Martin, F.** Beyond Black Boxes: Bringing Transparency and Aesthetics Back to Scientific Instruments. Proposal to the National Science Foundation (project funded 1997-1999). 1996.
- Resnick, M., Berg, R., Eisenberg, M.** Beyond Black Boxes: Bringing Transparency and Aesthetics Back to Scientific Investigation. Journal of the Learning Sciences, vol. 9, no. 1, pp. 7-30. 2000.
- Resnick, M.** Playful Learning and Creative Societies. Education Update, vol. VIII, no. 6, February 2003. 2003.
- Resnick, M.** All I Really Need to Know (About Creative Thinking) I Learned (By Studying How Children Learn) in Kindergarten. Proceedings of the ACM SIGCHI conference on Creativity & Cognition, Washington, DC. 2007.
- Ricoeur, P.** in Mansour-Robaey, S., Robaey, P. Les comportements d'imitation et la construction du soi chez l'enfant. (à propos du concept d'hétérophénoménologie de Dennett ). Erudit. 2004.
- Ryokai, K.** AnimalBlocks <http://web.media.mit.edu/~kimiko/projects.htm> . 2001.

**Ryokai, K.** "StoryMat: A Computer-Mediated Space for Children's Fantasy Play and Collaborative Storytelling." M.S. thesis, Media Arts and Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Media Laboratory. Cambridge, MA. 1999.

**Ryokai, K., Marti, S., Ishii, H.** "I/O Brush: Drawing with Everyday Objects as Ink." In Proceedings of Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '04), (Vienna, Austria, April 24 - April 29, 2004). 2004.

**Rogers, Y.** (2004) New Theoretical approaches for Human-Computer Interaction. Annual Review of Information, Science and Technology, 38, 87-143. 2004.

**Rogers, Y., Price, S., Fitzpatrick, G., Fleck, R., Harris, E., Smith, H., Randell, C., Muller, H., O'Malley, C., Stanton, D., Thompson, M. Weal, M.** Ambient Wood: Designing new forms of digital augmentation for learning outdoors. In Proc. Interaction Design and Children, ACM, New York. 3-10. 2004.

**Rogers, Y., Muller, H.** A framework for designing sensor-based interactions to promote exploration and reflection. International Journal of Human-Computer Studies, 64 (1), 1-15. 2005.

**Schneiderman, B.** Codex, Memex and Genex: the pursuit of transformational technologies. International Journal of Human Computer Interaction. 10 (2) - <http://www.cs.umd.edu/hcil/pubs/presentations/genex/index.shtml> . 1998.

**Schoonderwaldt, E., Rasamimanana, N., Bevilacqua, F.** Combining accelerometer and video camera: reconstruction of bow velocity profiles. In Proceedings of the 2006 Conference on New interfaces For Musical Expression (Paris, France, June 04 - 08, 2006). New Interfaces For Musical Expression. IRCAM — Centre Pompidou, Paris, France, 200-203. 2006.

**Segall, R. G.** Thick descriptions: a tool for designing ethnographic interactive videodiscs. SIGCHI Bull. 21, 2 (Oct. 1989), 118-122. 1989.

**Seitinger, S.** Wheel Space Explorer, in Animated props for responsive playspaces Masters Thesis, MIT Medialab. 2006.

**Senge, P.** The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization 1990 - 1st edition, 1994 - paperback edition, xxiii, 413 p., ISBN 0-385-26095-4. 1994.

**Serres, M.** Le parasite, Hachette (Paris). 1980

**Solomon, C., Papert, S.** NIM: A Game-Playing Program (AIM-254). <ftp://publications.ai.mit.edu/ai-publications/pdf/AIM-254.pdf>. 1970.

**Solomon, C., Papert, S.** Teach: A Step Toward More Interactive Programming, MIT A1 Lab. LOGO Working Paper 43. 1975.

**Sterling, B.** Shaping Things. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. ISBN 0-262-69326-7. 2005.

**Stories.** i3net - Starlab. 1998.

**Strauss, A., Corbin, J.** "Grounded Theory Methodology - An Overview," In Handbook of Qualitative Research, N. K. Denzin and Y. S. Lincoln (Eds.), Sage Publications, Thousand Oaks, pp. 273-285. 1994.

**Strommen, E. E., Razavi, S., Medoff, L. M.** This button makes you go up: three-year-olds and the Nintendo computer. *Applied Ergonomics*. 23:6, 409- 13. 1992.

**Stuerzlinger, W., Chapuis, O., Phillips, D., Roussel, N** User interface façades: towards fully adaptable user interfaces. In Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology (Montreux, Switzerland, October 15 - 18, 2006). UIST '06. ACM Press, New York, NY, 309-318. 2006.

**Suchman, L.** Plans and Situated Actions: the problem of human-machine communication. Cambridge: Cambridge University Press. 1987.

**Suchman, L.** Reconfiguring Human-Machine Interactions: The 2nd Edition of Plans and Situated Action. New York: Cambridge University Press. 2007.

**Sutherland, I.** Sketchpad : a Man Machine Graphical Communication System. in actes de AFIPS Spring Joint Computer Conference. pp. 329-346. 1963.

**Sutherland, I.E., Oestreicher, D.** "How Big Should a Printed Circuit Board Be?" *IEEE Transactions of Computers*. Vol. C22, May 1973, pp. 537-542. 1973.

**Sutphen, S., Sharlin, E., Watson, B.A., Frazer, J.** "Reviving a Tangible Interface Affording 3D Spatial Interaction", in Proc. 11th Western Canadian Computer Graphics Symposium. Panorama, BC, Canada, March, 2000, pp. 155-166. 2000.

**Sutton-Smith, B.** The ambiguity of Play. Harvard University Press , Cambridge, MA. 1998.

**Suzuki, H., Kato, H.** AlgoBlock: a Tangible Programming Language, a Tool for Collaborative Learning, Proceedings of 4th European Logo Conference, pp. 297-303, Athens, 1993.

**Sweet,** Fils implantables (BioFlex, IWT-SBO-SWEET) Université de Gent. 2007.

**Sylvan, E., Monroy-Hernandez, A.** AskMobi. Supporting Children as Social Scientists. MIT Medialab. 2006

**Sylvan, E.** BabbleBauble. MIT Medialab. 2005

**Tchounikine, P.** Quelques éléments sur la conception et l'ingénierie des EIAH. Actes des deuxièmes assises nationales du GdR I3. 2002.

**Tomasello, M.** The cultural origins of human cognition. Publisher: Harvard University Press, 1999 ISBN-10: 0-674-00582-1. 1999.

**Trottier, L.** The current state of Insight research. The Canadian Journal of Cognitive Science. CUJCS 2003 (p 6 - 18) Vancouver. 2003.

**Vaucelle, C., Africano, D., Davenport, G., Wiberg, M., and Fjellstrom, O.** Moving pictures: looking out/looking in. In ACM SIGGRAPH 2005 Educators Program (Los Angeles, California, July 31 - August 04, 2005). P. Beckmann-Wells, Ed. SIGGRAPH '05. ACM Press, New York, NY, 27. 2005.

**Vaucelle, C., Bonanni, L., Lieberman, J., Zuckerman, O.** PlayPals: tangible interfaces for remote communication and play. In CHI '06 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (Montréal, Québec, Canada, April 22 - 27, 2006). CHI '06. ACM Press, New York, NY, 574-579. 2006.

**Vernier, F.D., Shen, C., Forlines, C., Ringel, M.** "DiamondSpin: An Extensible Toolkit for Around-the-Table Interaction," ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), ISBN: 1-58113-702-8, pp. 167-174. 2004

**Verplaetse, C.** Inertial proprioceptive devices: Self-motion-sensing toys and tools, IBM Syst. J. 35 (1996) (3-4), pp. 639-651. 1996.

**Von Hippel, E., Thomke, S., Sonnack, M.** "Creating Breakthroughs at 3M" Harvard Business Review 77, No.5 September-October, p. 47-57. 1999.

**Vygotsky, L.** Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes, Harvard University Press, Cambridge Mass. 1978.

**Weinberg, G., Fletcher, R., Gan, S.** "The BabySense Environment - Enriching and Monitoring Infants' Experiences and Communication" Proceedings of Computer Human Interface Conference (CHI 1998) Los Angeles, CA, pp. 325-326. 1998.

**Weinberg, G.** "The Musical Playpen: An Immersive Digital Musical Instrument" Personal Technologies Journal, London: Springer-Verlag Publication: Vol.3:3 pp.132-136. 1999.

**Weinberg, G.** "Playpens, Fireflies, and Squeezables – New Musical Instruments for Bridging the Thoughtful and the Joyful" Leonardo Music Journal, MIT Press: Vol. 12, pp. 43-51. 2002.

**Winnicott, D.W.** Jeu et réalité. 1973.

**Wolf, M.** Soundgarten - Eine haptisch-taktilen Software-Interface zur spielerischen Erfassung und Gestaltung von Sound. 2002.

**Wyeth, P., Wyeth, G.** (2001). Electronic Blocks: Tangible Programming Elements for Preschoolers. Proceedings of the Eighth IFIP TC13 Conference on Human-Computer Interaction, Interact. 2001.

**Zuckerman, O., Resnick, M.** System Blocks: A Physical Interface for System Dynamics Learning. International System Dynamics Conference, New York. 2003.