HAL
open science

Représentations et conceptualisations de systèmes numériques par des collégiens : contribution didactique à la modélisation fonctionnelle

William-Gabriel Pérez

To cite this version:

William-Gabriel Pérez. Représentations et conceptualisations de systèmes numériques par des collégiens : contribution didactique à la modélisation fonctionnelle. Education. Université Sorbonne Paris Cité, 2016. Français. NNT : 2016USPCB243 . tel-02076717

HAL Id: tel-02076717

https://theses.hal.science/tel-02076717

Submitted on 22 Mar 2019

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

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

Université Paris Descartes

Ecole doctorale « Sciences humaines et sociales, cultures, individus, sociétés » (ED 180)

Laboratoire EDA : EA 4071

Représentations et conceptualisations de systèmes numériques par des collégiens

Contribution didactique à la modélisation fonctionnelle

Par William-Gabriel Pérez

Thèse de doctorat de Sciences de l'éducation

Dirigée par Joël Lebeaume

Présentée et soutenue publiquement le 8 décembre 2016

Devant un jury composé de :

Numa-Bocage, Line, Professeur des Universités et Examinatrice

Villemonteix, François, Maître de conférences et Rapporteur

Zaid, Abdelkarim, Professeur des Universités et Rapporteur

Lebeaume, Joël, Professeur des Universités et Directeur de thèse

Résumé : Inscrite dans un contexte sociotechnique particulièrement marqué par la généralisation des technologies dites numériques, cette recherche étudie les représentations et les conceptualisations des élèves sous-tendant leur modélisation fonctionnelle des systèmes numériques Smartphone tactiles et Tableaux Numériques Interactifs. Les données sont recueillies selon cinq enquêtes menées par questionnaires et/ou entretiens collectifs auprès d'un échantillon de 1470 élèves. L'analyse des données révèle : 1) l'absence de questionnement sur le fonctionnement des systèmes numériques ; 2) la préoccupation prioritaire sur les fonctions de service ; 3) l'identification de la fonction détection (capteurs) à la différence de la fonction traitement non perçue (logiciel, processeur, information). Les enquêtes menées mettent également en évidence l'effet de la forme et du contenu des questions sur l'émergence des représentations mobilisées par les élèves et donc de leurs conceptualisations et modélisations fonctionnelles. Cette recherche permet d'envisager d'autres travaux complémentaires pour saisir les conditions de cette modélisation en relation avec l'extension du réfèrent empirique. Enfin cette thèse suggère des orientations pédagogiques pour faciliter la relation entre familiarisation pratique et élaborations intellectuelles pour le collège en accord avec le socle commun qui intègre désormais l'étude des systèmes naturels et techniques parmi les contenus prescrits.

Title : Representations and conceptualizations of contemporary digital systems by middle school students : didactics contribution to functional modeling.

Abstract : Joined in a socio-technical context particularly marked by the rise of digital technologies, this research studies the representations and conceptualizations underlying the functional modeling of middle school students about the functioning of touch Smartphone and Digital Interactive Boards. Data are collected in five investigations by questionnaires and / or group interviews with about 1470 students (6th and 3rd). Data analysis reveals: 1) lack of questioning about how digital systems work; 2) the main concern about the function of the artefact; 3) clear identification of the detection function in contrast with the information processing (software, central processing unit, information). Also investigations highlight the effects of the form and content of questions about the emergence of representations mobilized by students and therefore conceptualizations underlying their functional modeling. This research enables to consider other additional studies to grasp the conditions of this modeling in connection with the extension of empirical referent. Finally this thesis suggests teaching guidelines to facilitate the relationship between practical familiarization and intellectual elaborations to the middle school in agreement with the common basic curriculum in France which now includes the study of natural and technical systems among the prescribed contents.

Mots clés : Didactique de la technologie, Analyse fonctionnelle, Représentations, Conceptualisations, Systèmes numériques, Collège.

Keywords : Technology education, Didactics, Fonctional modeling, Conceptualizations, Representations, Digital systems, Middle school.

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement mon directeur de thèse, Joël Lebeaume, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail de thèse, pour ses qualités humaines d'écoute et de compréhension, pour ses nombreuses lectures et relectures, pour toutes les heures qu'il a consacré à diriger cette recherche. Ses conseils scientifiques, sa disponibilité sans réserve, son respect, sa bienveillance, son soutien constant et inconditionnel font que je lui suis particulièrement reconnaissant de m'avoir permis de travailler avec lui et de mener à terme ce travail de recherche.

J'adresse également mes remerciements à François Villemonteix et à Abdelkrim Zaid pour avoir accepté d'être rapporteurs de ce travail, ainsi que Line Numa-Bocage d'avoir accepté d'être membre et présidente du jury.

Je souhaiterais remercier Christian Hamon pour ses conseils et son accueil à chaque fois que j'ai sollicité son aide. Je lui suis particulièrement reconnaissant de m'avoir aidé – deux fois ! – dans le recueil méticuleux d'une partie des données dont il est question ici.

Mes remerciements vont aussi à mes amis Anne-Gaël Justome et Christophe Lepuil pour avoir sollicité – trois fois ! – leurs élèves afin de répondre aux enquêtes de cette recherche. Merci également à mes collègues David Lesprit et Grégory Anguenot sans lesquels une autre partie des données recueillies n'aurait pas été possible.

Au terme de ce parcours, je remercie celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés pour achever cette thèse. Un grand merci au support et aux encouragements de mes amis Aël Dallier, David Beytelmann, Nicos Marupas, Danael Garcia, Isabelle Viel, Orian Paterson, Orlando Morales et Alexa Varela.

Enfin, un grand merci à ma femme, Lisbet, pour sa confiance, ses encouragements, sa patience et son soutien sans faille. Sans elle, cette thèse n'aurait pas pu exister.

Remerciements **3**

Table des illustrations **10**

Introduction **11**

1.1. Contexte socioéconomique : « monde numérique » 11

1.2. Enjeux éducatifs et défis scolaires 15

1.3. Les usages d'artefacts numériques à l'école et hors l'école en questions 16

1.3.1. Les usages : un regard sociologique 17

1.3.2. Les usages : contexte scolaire 18

1.4. Des élèves *digital* natives ou *digital* naïves : déconstruction d'un mythe 19

1.5. Du basic au codage en passant par la technologie de l'information au collège 22

1.6. Préoccupation centrale et question de recherche 25

Première partie : Orientations théoriques **28**

Chapitre 1. Problématique **29**

1.1. L'analyse fonctionnelle. 29

1.1.1. Analyse fonctionnelle externe et analyse fonctionnelle interne 31

1.1.2. Fonctions principales et fonctions techniques 32

1.1.3. Matière d'œuvre et flux techniques 33

1.1.4. La question des frontières 34

1.1.5. Modèle fonctionnel des systèmes retenus dans cette recherche 35

1.1.6. Conclusion-Analyse fonctionnelle 37

1.2. Processus de modélisation 38

1.2.1. Relation « modèle »/« référent » 39

1.2.2. Relation « modèle »/« référent empirique » 41

1.2.3. Conclusion – Processus de modélisation 43

1.3. Et l'élève, comment approche-t-il les systèmes ? 43

Conclusion-pensée systémique chez l'élève 47

1.4. Processus de conceptualisation 48

1.4.1. Approche de bas niveau 48

1.4.2. La conceptualisation chez Vygotski 49

1.4.3. La conceptualisation chez Vergnaud 51

1.4.4. Conceptualisation et représentation 53

1.4.5. Conceptualisation et perception 54

1.4.6. Concepts-Situations-Activité 55

1.4.7. Champ conceptuel 57

1.4.8. Conclusion-Processus de conceptualisation 59

1.5. La Représentation 61

1.5.1. La représentation en didactique des sciences et de la technologie : origines et stabilisation d'une notion 61
1.5.1.1. La représentation et ses propriétés : consensus et débats autour de ses attributs 63
1.5.1.2. Les représentations des élèves : des entités fragmentées ou structurées ? 67
1.5.1.3. Prendre en compte les représentations des élèves : oui, mais avec quelle intention ? 68
1.5.1.4. Des terminologies plurielles 70
1.5.2. La représentation : de quoi est-elle le nom ? 72
1.5.2.1. Relation ontologique entre représentation, comportement et cognition 73
1.5.2.2. Cognition et représentation : approche cognitiviste 75
1.5.2.3. Cognition sans représentation : est-ce possible ? 76
1.5.2.4. Vers une définition… de travail 77
1.5.3. Conclusion-Les représentations 80
1.6. Instrumentation, conceptualisation et représentation 83
Conclusion-Approche instrumentale 85
1.7. La pensée : abstraction, analyse et généralisation 86
1.7.1. Formes d'analyse 86
1.7.2. L'abstraction et la généralisation 88
1.7.3. Concluions-Processus de pensée 90
1.8. Formulation des hypothèses de travail 90
Hypothèse de travail 91
Deuxième partie : Études empiriques 94
Chapitre 2. Orientations méthodologiques 95
2.1. Le choix des méthodes d'enquête 95
2.2. Le choix des systèmes numériques 98
2.2.1. Du point de vue de leur proximité vis-à-vis des élèves 98
2.2.2. Des similitudes entre les systèmes : fonctionnelles et structurelles 99
2.2.3 Des différences entre les systèmes : transparences et usages 99
2.3. Caractéristiques techniques des artefacts retenus 101
2.3.1. Les technologies d'interface associées aux Smartphones tactiles 101
2.3.2. Les technologies d'interface associées au TNI 101
Chapitre 3. Étude N°1 : comment ça marche un Tableau Numérique Interactif (TNI) ? Lexique et représentations des collégiens à propos du fonctionnement du Tableau Numérique Interactif. 103
3.1. Méthodologie 103
3.1.1. Échantillon 103
3.1.2. Présentation du questionnaire 103

3.1.3. Analyse des réponses 105
3.1.4. Taux de réponses global et local. 106
3.2. Résultats 106
3.2.1. « D'après toi, quels sont les éléments indispensables au fonctionnement du TNI ?». 107
3.2.1.1. Première question : tous niveaux confondus 107
3.2.1.2. Première question : réponses des 6e versus réponses des 3e 108
3.2.2. « Avec tes mots, merci d'écrire comment tu penses que ça marche. Tu peux t'aider d'un dessin ». 109
3.2.2.1. Deuxième Question : tous niveaux confondus 109
3.2.2.2. Deuxième question : réponse des 6e versus réponses des 3e 111
3.2.3. « Pourquoi dit-on numérique ? Pourquoi dit-on interactif ? » 113
3.2.3.1. Pourquoi dit-on numérique ? 113
3.2.3.2. Pourquoi dit-on interactif ? 115
3.2.4. « Indique d'autres objets qui, selon toi, fonctionnent de la même façon » 115
3.3. Discussion de résultats relatifs à l'étude N°1 116
3.3.1. Le cas des non réponses : une particularité de la troisième question 118
3.3.2. Conclusion générale : étude N°1 120
Chapitre 4. Étude N°2 : *comment ça marche un écran tactile ?* Lexique, représentations et conceptualisation de collégiens et lycéens à propos du fonctionnement des écrans tactiles ... 123
4.1. Introduction 123
4.2. Méthodologie 123
4.2.1. Échantillon 123
4.2.2. Analyse des réponses 124
4.3. Échantillon de collégiens : résultats 125
4.3.1. Questionnaire : réponses de collégiens 125
4.3.1.1. Etapes. Collège : tous niveaux confondus 126
4.3.1.2. Schéma fonctionnel. Collège : tous niveaux confondus 126
4.3.1.3. Phénomènes : tous niveaux confondus 128
4.3.2. Analyse des réponses des niveaux contrastés : réponses des 6e *vs*. réponses des 3e 130
4.3.2.1. Étapes : réponses de 6e vs. réponses 3e 130
4.3.2.2. Schéma fonctionnel : réponses de 6e vs. réponses de 3e 132
4.3.2.3. Phénomènes : réponses de 6e *vs*. réponses 3e 133
4.3.3. Entretiens de groupe : réponses de collégiens 134
4.3.3.1. Procédure 134
4.3.3.2. Résultats des entretiens : remarques générales 135
4.3.3.3. Blocs et schémas fonctionnels repérés 136
4.3.3.4. Phénomènes et lexique 136

4.3.3.5. Des nouvelles idées 137
4.3.4. Discussion des réponses des collégiens : tous niveaux confondus 141
4.3.5. Lexicalisation et conceptualisation 143
4.3.6. Discussion des réponses des niveaux contrastés : 6e vs. 3e 144
4.4. Échantillon de lycéens : résultats 145
4.4.1. Étapes : réponses de lycéens 146
4.4.2. Schéma fonctionnel : réponses des lycéens 147
4.4.3. Phénomènes 148
4.4.4. Relation entre l'emploi du terme « information » et la prise en compte des étapes « Transmission » et « Traitement ». 150
4.4.5. Discussion des réponses des lycéens 152
4.5. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°2 : tous niveaux confondus 154
4.5.1. Éléments communs de réponse : toutes classes confondues 154
4.5.2. Des ruptures 155
4.5.3. Des tendances : le cas des lycéens 157
Chapitre 5. Étude N°3 : *comment ça marche un écran tactile ?* Réponses sous contrainte lexicale 160
5.1. Introduction 160
5.2. Méthodologie 162
5.2.1. Échantillon 162
5.2.2. Présentation du questionnaire 162
5.2.3. Analyse des données 162
5.3. Résultats : étude N°3 163
5.3.1. Etapes prises en compte : étude N°3 163
5.3.2. Schémas fonctionnels repérés : étude N°3 165
5.3.3. Phénomènes : étude N°3 169
5.3.4. La « Transmission » selon les élèves : étude N°3 169
5.4. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°3 : question avec contrainte. 171
Chapitre 6. Étude N°4 : comment le téléphone sait que le doigt est bien sur l'icône ? Comment fait-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée sans jamais se tromper et afficher une autre ? 176
6.1. Introduction 176
6.2. Enquête exploratoire 177
6.2.1. Méthodologie 177
6.2.1.1. Échantillon 177
6.2.1.2. Présentation du questionnaire 177
6.2.1.3. Analyse des réponses 177

6.2.2. Résultats : enquête exploratoire 178
6.2.2.1. Premier recodage des réponses : enquête exploratoire 178
6.2.2.2. Deuxième recodage des réponses : enquête exploratoire 181
6.2.3. Discussion : enquête exploratoire 182
6.3. Questionnaire définitif : étude N°4 183
6.3.1. Introduction 183
6.3.2. Méthodologie : étude N°4 184
6.3.2.1. Échantillon 184
6.3.2.2. Présentation du questionnaire 184
6.3.2.3. Procédure 185
6.3.3. Résultats 186
6.3.3.1. Première question. Premier recodage : contexte général 186
6.3.3.2. Première question. Premier recodage :catégories initiales 187
6.3.3.3. Première question. Deuxième recodage : catégories finales 192
6.3.3.4. Deuxième question : « dans quel composant se trouvent les applications affichées sur l'écran ? » 194
6.3.3.5. Troisième question : « comment le téléphone fait-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée sans jamais se tromper d'application à afficher ? 195
6.4. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°4 198
6.4.1. L'enquête exploratoire : le rappel à l'évidence, un indicateur de la difficulté et de la méconnaissance par rapport au sujet 199
6.4.2. « Je ne sais pas » : première modalité de réponses 200
6.4.3. Déterminer la position relative doigt-icône : pour les élèves une question de contact et donc de détection 201
6.4.4. Les applications sont stockées en mémoire : pas si évident 202
6.4.5. Les représentations associées par les élèves à la situation : une question de formulation 203
Chapitre 7. Étude N°5 : comment le téléphone « sait » que le doigt est bien sur l'icône ? 205
7.1. Introduction 205
7.2. Méthodologie 205
7.2.1. Échantillon 205
7.2.2. Présentation du questionnaire 206
7.2.3. Procédure 207
7.2.4. Analyse des réponses 207
7.3. Analyse des réponses : résultats étude N°5 208
7.3.1. Premier recodage des réponses : étude N°5 209
7.3.2. Deuxième recodage des réponses : étude N°5 212
7.4. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°5 214

7.4.1. La position est toujours relative à… : première difficulté rencontrée par les élèves 214
7.4.2. Ce qui compte c'est la détection du doigt 215
7.5. Conclusions générales relatives aux études N°4 et N°5 : 216
7.5.1. Les représentations de la situation en fonction de la forme de la question : la prise en compte des différents paramètres. 217
7.5.2. La position du doigt comme le paramètre le plus évident pour les élèves 218
7.5.3. La détermination de la position relative doigt-icône relève essentiellement, selon les élèves, de la « détection du doigt » 220
Chapitre 8. Synthèse des résultats et discussion générale 222
8.1. Indication globale du nombre total d'élèves interrogés, de questionnaires analysés, des niveaux concernés et des objets investigués 223
8.2. Caractéristiques des études en fonction des caractéristiques des dispositifs proposés : relation artefactuelle *vs*. relation instrumentale 224
8.3. Les exigences de l'argumentation écrite 227
8.4. Résultats principaux 228
8..4.1. Les explications des élèves dans les 5 études 229
8.4.1.1. Étude N°1 : comment ça marche un Tableau Numérique Interactif (TNI) ? 229
8.4.1.2. Étude N°2 : comment ça marche un écran tactile ? 230
8.4.1.3. Étude N°3 : comment ça marche un écran tactile ? Contrainte lexicale 232
8.4.1.4. Étude N°4 : comment un Smartphone tactile détermine la position relative doigt-icône ?233
8.4.1.5. Étude N°5 : comment un Smartphone tactile détermine la position relative doigt-icône ?234
8.4.2. Effets de la consigne : variations des réponses et analyse d'invariants 235
8.4.2.1. Études N°2 et N°3 235
8.4.2.2. Études N°4 et N°5 236
8.4.2.3. Des variations induites et des variations intrinsèques 238
8.5. Discussion des résultats 239
8.5.1. Contraste entre la connaissance des capteurs et la méconnaissance des logiciels : une question d'enseignement 239
8.5.2. Du point de vue psychologique 241
8.5.3. Correspondance référent-modèle : les registres de modélisation des élèves 244
8.5.4. Limites et perspectives pour des recherches futures 246
8.6. Perspectives pour l'enseignement de la technologie et des sciences 247
Annexes 1. Les réponses des collégiens en situation d'entretien 267

Table des illustrations

Figure 1. Schéma fonctionnel modélisant le fonctionnement du TNI et du Smartphone tactile. 36
Figure 2. Schéma de la modélisation adapté aux niveaux de l'école élémentaire et du collège (Martinand, 2007) 41
Figure 3. Éléments indispensables au fonctionnement du TNI. Tous niveaux confondus. ... 107
Figure 4. Éléments indispensables au fonctionnement du TNI. Réponses des élèves de 6e.. 108
Figure 5. Éléments indispensables au fonctionnement du TNI. Réponses des élèves de 3e.. 109
Figure 6. Q.2 : comment ça marche ? Tous niveaux confondus. 110
Figure 7. Q.2 Comment ça marche selon les élèves de 3e 112
Figure 8. Q.2 Comment ça marche selon les élèves de 6e 112
Figure 9. Q.3. Pourquoi dit-on numérique ? Tous niveaux confondus 114
Figure 10. Q.3 Pourquoi dit-on interactif ? Tous niveaux confondus 115
Figure 11. Q.4 Dispositifs fonctionnant de la même façon. Tous niveaux confondus 116
Figure 12. L'élément le plus indispensable au fonctionnement du TNI selon les 3e et les 6e 117
Figure 13. Q.2 Conceptualisation du système TNI selon les 3e et les 6e. 118
Figure 14. Nombre d'élèves n'ayant pas répondu à la troisième question. Comparaison intra-collège et inter-niveaux. 119
Figure 15. Étapes ou blocs fonctionnels repérés par niveaux de scolarité (Nb. de élèves).... 131
Figure 16. « Schéma fonctionnel » repérés par niveaux de scolarité (Nb. d'élèves) 132
Figure 17. Phénomènes : 6e vs. 3e 133
Figure 18. Nombre d'élèves ayant citée soit une, soit deux, soit trois informations. 208
Figure 19. Nombre d'élèves ayant répondu en termes de "position" dans les études N°4 et N°5. 217
Figure 20. Prise en compte du paramètre "position" par études et par collèges. 219

Introduction

Produire, traiter et échanger de l'information constituent des processus essentiels à la régulation, à l'adaptation et à la survie des organismes, cela indépendamment de la complexité des organismes et de la nature même de l'information (Damasio, 2010 ; Gervet, 1999 ; Koenig, 2011 ; Kreutzer & Vauclair, 2004). Cela s'applique a fortiori à toute forme d'organisation sociale et explique, en partie, l'intérêt, la nécessité et l'importance dont bénéficient actuellement les objets et « systèmes numériques » connus sous l'appellation de « technologies de l'information et la communication[1] » (TIC).

En tant que technologies au service de la communication, le stockage et l'échange d'information, les diverses et nouvelles fonctionnalités de ce milieu technique sont intimement liées à la stabilité et au développement des sociétés contemporaines. Participer à leur conception, à leur production mais aussi à leur compréhension, deviennent dans ce contexte des projets à la fois d'actualité et de relative importance. Nous prêtons ainsi une attention toute particulière au milieu technique contemporain, notamment à sa prise en charge dans l'enseignement de la technologie et des sciences. De ce fait, nous constatons en parallèle que l'étude conceptuelle, structurelle et fonctionnelle des « systèmes numériques » contemporains à l'école de base n'est pas encore représentative ni de leur présence, ni de leur rôle dans la société. Il existe en ce sens, comme ce sera illustré par la suite, un écart non négligeable entre l'importance et la présence des systèmes numériques contemporains dans la société française d'un côté et la prise en charge de ces systèmes dans l'enseignement de la technologie et des sciences à l'école de base de l'autre. Notre travail de recherche vise cet écart et se veut une contribution depuis le domaine de la didactique de la technologie à la prise en charge du milieu technique contemporain par l'enseignement de la technologie à l'école de base.

1.1. Contexte socioéconomique : « monde numérique »

« The Global Information Technology Report 2015 » – publié par le *Forum économique mondial* –, souligne que le rôle des technologies de l'information est devenu déterminant vis-

[1] L'expression « Technologies de l'information et de la communication » (TIC), englobe tout ce qui relève des techniques, logiciels et matériels, utilisés dans la transmission, le traitement et le stockage de données et d'informations, principalement l'informatique, l'internet et les télécommunications. Cette définition est utilisée de manière implicite dans un grand nombre de textes ici cités sous l'expression « technologies numériques ».

à-vis de l'organisation, la stabilité et le développement des sociétés contemporaines[2]. On parle en ce sens de « monde numérique » (Académie des sciences, 2013). Numérique car, d'une part, étant donné le caractère polyvalent des systèmes numériques et leur haute flexibilité fonctionnelle, le développement et le fonctionnement des sociétés contemporaines reposent sur l'ensemble des biens et des services issus de ce domaine : on se sert du numérique. Et numérique, d'autre part, car l'industrie et la recherche actuelles modifient et créent continuellement des objets et des systèmes numériques qui plus tard seront proposés à l'ensemble de la société : on produit du numérique. Usages, production et innovation dans le domaine des technologies dites numériques marquent donc la période actuelle. Aujourd'hui, explique Michel Cosnard[3], « tout objet avant d'exister existe numériquement » (cité dans Caulier, 2012).

Nous constatons, en effet, que depuis quelques décennies les biens et les services relevant des technologies dites numériques — systèmes embarqués, ordinateurs, Wifi, Internet, logiciels, applications, capteurs, téléphones, tablettes et leur mise en réseau — se multiplient et témoignent de nombreuses innovations dans les domaines de la communication, du commerce, de la santé, des transports, des loisirs, de la logistique, de l'imagerie, de l'art, des sciences et des techniques. Il est question d'une nouvelle organisation sociale caractérisée « par la place structurante de l'information numérisée » (Berthoud, 2000). Les principaux secteurs d'activités productives des sociétés contemporaines[4], sont devenus fortement dépendants des fonctionnalités et de la mise en réseau des dispositifs numériques. C'est désormais « toute l'économie qui devient numérique »[5], affirme le Conseil d'analyse économique dans une de ses notes (Colin, Landier, Mohnen, & Perrot, 2015).

Concernant le domaine économique, l'adoption des TIC par les différents agents économiques apparait dans la littérature comme étant fortement corrélée à la productivité et à la croissance économique des entreprises (Carnoy, 2002 ; Delorme & Djellalil, 2015 ; Kloetzer, 2012 ; McKinsey France, 2015 ; OCDE, 2015). Un certain consensus existe ainsi sur le fait que « le poids du numérique » à la fois sur les entreprises et sur l'économie dans son ensemble est « considérable » : les TIC permettent une meilleure gestion de l'information et une mise en place de moyens de communication plus efficaces, et donc une baisse des coûts ; elles

[2] Cela ne caractérise évidement par toutes les sociétés contemporaines. Comprenons dorénavant « la société française ».

[3] PDG de l'Institut national de recherche en informatique et en automatique (Inria).

[5] Non seulement elles ont un impact sur l'économie générale, les technologies de l'information et de la communication, ont aussi transformé la manière dont les individus interagissent entre eux et avec la société dans son ensemble (OCDE, 2015).

permettent aussi une connaissance plus approfondie de l'environnement social et physique, ce qui conduit à une réactivité plus forte face à cet environnement et à une amélioration dans l'efficacité de la prise de décision (Insee, 2013). Ces performances sont indirectement constatées dans le rapport du cabinet McKinsey France[6] (2014) lorsqu'il s'intéresse à l'incidence du numérique[7] sur la croissance et la compétitivité dans l'économie et les entreprises françaises. Le rapport indique que le « PIB numérique » a progressé de 5% par an en moyenne au cours des trois dernières années, alors que la croissance du PIB global ne dépassait pas 2% par an. Pourtant, nuance le document, en termes de contribution du numérique au PIB total, la France n'occupe qu'une position de milieu de tableau au sein d'un groupe de 13 pays constitués des membres du G8 et des pays d'économies dites émergentes. Sa place en 2013 est la huitième, soit un rang « équivalent à celui qu'elle occupait en 2010 ».

Le bilan de la relation des technologies informatiques avec le domaine de la santé, secteur vital dans l'équilibre social, est aussi positif (Caniard, 2014 ; Durand et Le Tallec, 2014 ; Merloz, 2014). Capteurs, habitats, logiciels et réseaux intelligents en santé est un domaine est en plein essor (Merloz, 2014). Un nouveau secteur émerge tout en modifiant substantiellement le domaine des soins : à savoir le secteur de la « santé mobile[8] ». Grâce notamment au déploiement des réseaux de communication et à la mise à disposition d'applications et de capteurs mobiles, domaine de la « santé mobile » connaît effectivement un développement considérable. L'adoption par les usagers des TIC dans le secteur de la santé permet « une prévention accrue et une amélioration de la qualité de vie du patient par la mise à sa disposition d'outils d'auto-évaluation (scores et questionnaires) et de dépistage précoce, la possibilité de bénéficier d'interventions précoces de prestataires de santé aisément identifiables et accessibles grâce aux technologies mobiles » (Durand & Le Tallec, 2014, p. 74).

Non seulement l'ensemble des activités liées au numérique est un moteur du développement économique, mais il est aussi un grand fournisseur d'emplois en France et dans le monde. Un nombre important de postes sont en effet associés ou découlent du numérique, que ce soit au

[6] Consultable en ligne : http://www.mckinsey.com/global_locations/europe_and_middleeast/france/fr/latest_thinking/accelerer_la_mutation_des_entreprises_en_france

[7] La définition du "numérique" retenue dans le rapport, comprend « l'ensemble de ces technologies et s'élargit aux produits et services qui y sont liés »

[8] L'OMS (Organisation mondiale de la Santé) définit la santé mobile comme « les pratiques médicales et de santé publique reposant sur des dispositifs mobiles, tels que téléphones portables, systèmes de surveillance des patients, assistants numériques personnels et autres appareils sans fil ». Selon une étude réalisée par le cabinet d'audit PwC et l'Association Mondiale des Opérateurs Télécom (GSMA), en 2017 la santé mobile pourrait permettre d'économiser un total de 99 milliards d'euros sur les dépenses de santé des pays de l'Union européenne » (cité dans Durand & Le Tallec, 2014, p.75).

sein de l'industrie de ce secteur ou bien dans les vastes domaines déjà mentionnés[9]. Trois grandes catégories de métiers « fortement concernées par l'informatique » se dégagent selon l'Académie des sciences (2013) : d'abord « ceux de l'industrie informatique, qui est un grand pourvoyeur d'emplois qualifiés ; ensuite les métiers d'informaticien au sein d'autres structures – industries, administrations, etc. – où se créent en permanence de nouvelles applications haut de gamme ; enfin l'ensemble des autres métiers scientifiques, techniques, commerciaux, juridiques, etc., où le contact avec des objets informatiques sophistiqués est constant ». Dans ce contexte, les chiffres rapportés par le rapport du cabinet McKinsey (2014) déjà évoqué suggèrent que ce secteur fournit entre 1,5 et 2 millions d'emplois en France, soit plus de 6 % du total de l'emploi salarié. Notons toutefois que le rapport prend en compte une définition très large de « technologies numériques » et inclut de ce fait des emplois liés directement ou indirectement à ce secteur.

Dans ce contexte, caractérisé par la « radicale nouveauté des infrastructures techniques » (Berthoud, 2000) et par un modèle économique qui comporte des fortes exigences vis-à-vis des processus de recherche et d'innovation, le besoin de nouveaux profils de main d'œuvre avec des compétences, des connaissances et « une forte culture numérique », est pris, en quelque sorte, comme allant de soi. Les études de terrain corroborent effectivement que ces compétences sont aujourd'hui attendues par l'ensemble du système social. Ainsi, par exemple, l'enquête « Besoins en main-d'œuvre[10] » menée par l'agence *Pole emploi* place dans la catégorie « top 10 des métiers les plus recherchés » pour l'année 2015, entre autres, les profils d'ingénieurs, cadres études et R&D informatique, ou encore des responsables et chefs de projets en informatique. L'enquête signale que « les difficultés [de recrutement] déjà bien présentes depuis 2005 » chez ces trois profils continuent d'augmenter en 2015[11]. Ces difficultés sont aussi soulignées dans la « Note du Conseil d'analyse économique publiée » et dans le rapport de McKinsey France. Selon ce dernier, les métiers du numérique sont ceux pour lesquels les difficultés de recrutement les plus importantes sont mentionnées parmi les

[9] Pour un aperçu de l'ensemble des métiers liés au numérique aller sur le site : http://www.metiers.internet.gouv.fr/

[10] Publiée annuellement par l'agence *Pôle emploi*. Consultable en ligne : http://bmo.pole-emploi.org/static/bmo2015

[11] L'étude révèle aussi d'énormes disparités concernant les besoins régionaux des main d'œuvre avec des compétences en informatique. Il montre ainsi que « les pôles de recrutement se concentrent dans les grandes métropoles ». En ce sens, parmi l'ensemble des 25 710 projets de recrutement à l'échelle national visant les métiers évoqués plus haut, la région d'Ile-de-France concentre à elle seule 14 736 de ces projets Ces besoins se placent ainsi dans la première place du tableau des métiers dont la région d'Ile-de-France a besoin pour satisfaire ses projets de recrutement pour l'année 2015. L'enquête révèle ainsi que les besoins de main d'œuvre dans la région d'Ile-de-France sont en premier chef des besoins de salaries hautement qualifiés dans le domaine des sciences informatiques. Néanmoins, révèle aussi l'enquête, plus de 59 % de ces postes seront difficiles à pourvoir.

500 entreprises consultées : 31 % des 500 entreprises ayant participé à l'étude « font état de réelles difficultés à embaucher des talents dans le numérique ».

1.2. Enjeux éducatifs et défis scolaires

Dans ce contexte brièvement esquissé, de Vericourt (2013) pointe qu'au même titre que l'indépendance énergétique, l'« indépendance numérique » devient actuellement un enjeu crucial ». En réponse à cette situation des chercheurs de premier rang tel que Gérard Berry[12] rappellent l'« urgence de former au numérique nos plus jeunes élèves ». Parmi tant d'autres, Berry fait partie de ceux qui attirent l'attention des décideurs politiques et des acteurs dans le champ de l'éducation pour la mise en place d'un enseignement au numérique dès l'école de base. En effet, nombreux sont ceux qui aujourd'hui pensent qu'en France « la formation au numérique dès le plus jeune âge est une absolue nécessité » (de Vericourt, 2013).

Malgré ces exigences, Lebeaume (2010) remarque que l'approche compréhensive des systèmes numériques contemporains « est peu ou pas prise en compte dans l'enseignement technologique actuel à l'école de base ». On peut affirmer, en effet, que la prise en compte de l'univers numérique actuel n'est pas représentative du rôle qu'il semble jouer dans la société contemporaine. Ni les programmes ni les manuels des disciplines scientificotechniques au collège ne sont significatifs de l'importance et de la place de l'informatique dans notre société. De manière générale, l'enseignement scientificotechnique à l'école de base se contente actuellement de considérer ces technologies essentiellement comme des outils au service de certaines activités scolaires (Fluckiger, 2007). Ni les activités, ni les questionnements préconisés par l'enseignement de la technologie au collège n'abordent suffisamment l'étude compréhensive de ces dispositifs. On apprend aux élèves, dans le meilleur des cas, à se servir essentiellement des outils informatiques. Bien que très utiles et recherchées, les compétences d'« utilisateur » que les élèves développent de cette manière ne suffisent plus à remplir les besoins sociétaux évoqués plus haut. Nous soutenons qu'il faut favoriser aussi l'approche analytique ou compréhensive de ces technologies. Or les approches analytiques sont très peu développées : l'étude de la structure matérielle et conceptuelle ainsi que de l'architecture fonctionnelle des objets et systèmes numériques est quasiment absente des propositions programmatiques. Par conséquent, il est souhaitable et même « urgent » que

[12] Gérard Berry, professeur et titulaire de la première chaire du Collège de France consacrée à l'informatique, directeur de recherche Inria, membre de l'Académie des sciences, de l'Académie des technologies et de l'Academia Europaea.

les élèves, et cela dès le plus jeune âge, interagissent cognitivement avec l'ensemble de ces éléments.

En outre, il semblerait que la France accuse « un important retard conceptuel et industriel dans le domaine. […] un enseignement aussi limité ne saurait permettre de faire basculer notre pays de l'état de consommateur de ce qui est fait ailleurs à celui de créateur du monde de demain » (Académie des sciences, 2013, p. 3). Alors que la recherche et l'innovation dans le domaine de l'informatique sont en plein développement et que la société nécessite des étudiants possédant des connaissances leur permettant de développer des compétences opérationnelles et une plus grande réactivité face aux challenges actuels, la grande majorité des élèves arrivent aux études supérieures avec très peu de bagage conceptuel concernant les systèmes numériques (Académie des sciences, 2013).

Au vu de ces éléments, si l'on veut assurer une indépendance et renforcer au niveau mondial la compétitivité de l'industrie et de la recherche françaises dans le vaste domaine des sciences et technologies informatiques, il est absolument nécessaire d'initier et d'entrainer les enfants dès le plus jeune âge aux réflexions et aux situations spécifiques de ce domaine d'activité. Négliger son enseignement serait, d'un côté, soustraire à nos élèves la possibilité de mieux comprendre leur milieu sociotechnique actuel[13], et de l'autre côté, empêcher que nos élèves développent, dès le plus jeune âge, les compétences, les connaissances et les modes de pensée nécessaires à un champ conceptuel et à un domaine d'application complexes et de plus en plus vastes.

Enfin, nous nous opposons à certaines positions trouvées, en outre, dans les réponses à nos entretiens et questionnaires, soutenant qu'à partir du moment où l'on sait utiliser ces systèmes tant au niveau du matériel que du logiciel, il n'y a pas besoin de comprendre leur fonctionnement. Car, comme le souligne Gérard Berry (Dowek, 2012, p. VI), toute communauté voulant rester actuellement au niveau de l'« approche outil » de ces systèmes, s'expose en même temps à rester « des consommateurs serviles de ce qui est créé ailleurs ».

1.3. Les usages d'artefacts numériques à l'école et hors l'école en question

Dans la section précédente nous avons mis en évidence le décalage entre le rôle et la place des systèmes numériques contemporains dans la société et leur prise en charge dans

[13] Non seulement nos élèves agissent et cohabitent aujourd'hui avec un grand nombre de dispositifs et systèmes numériques mais, le monde du demain sera sans doute « bien plus numérique et donc informatisé que ne l'est le monde actuel » (Académie des sciences, 2013).

l'enseignement de l'école de base. Nous développerons dans cette partie la question des usages des technologies numériques chez les élèves. Par *usage* nous entendons ici des « utilisations effectivement constatées », à savoir des « activités complexes, sous-tendues, sauf exception, par une logique qui combine des éléments d'ordre anthropologique (représentation, mythes, pratiques symboliques), sociologique (normes sociales, légitimation), socio-cognitif (construction de savoir, repérage, temporalité) et technique (systèmes d'information, machines à communiquer) » (Perriault 2002, p. 11).

Notons d'emblée que de par sa richesse et sa complexité, la question des usages des technologies numériques chez les élèves est une question sur laquelle on ne peut pas prétendre à l'exhaustivité. Il s'agit, en effet, d'une problématique composée d'éléments de réponse de nature parfois très différentes. D'une part, il existe une pluralité des contextes dans lesquels interroger les usages (Collin, Guichon, & Ntébutsé, 2015 ; Fluckiger, 2007). On peut s'intéresser, par exemple, aux usages formels ou prescrits en contexte scolaire, mais aussi aux usages informels ou engagés « spontanément » par les élèves en contexte extra-scolaire. D'autre part, il est évident qu'il existe aussi un large éventail de technologies à disposition des jeunes utilisateurs et dont chacune propose des fonctions, des fonctionnalités et donc des usages différents. On peut donc s'intéresser aux usages chez les élèves d'un large spectre de dispositifs plus ou moins polyfonctionnels allant des ordinateurs aux MP3, des tablettes aux Smartphones tactiles ou encore aux tableaux numériques. De plus, certaines études mettent en évidence que les usages des technologies numériques sont modulés par des variables comme le statut socio-économique, le genre ou le niveau d'études (Bennet & Maton, 2011). La littérature est aussi unanime sur le fait que l'usage d'une même technologie et des technologies différentes évolue avec l'âge (Bennet & Maton, 2011 ; Fluckiger, 2007 ; Lardellier, 2006 ; Lardellier & Moatti, 2014).

1.3.1. Les usages : un regard sociologique

En France, l'intérêt pour l'étude des usages des technologies de l'information et de la communication (TIC) date des débuts des années 1980 (Badillo & Pélissier, 2015 ; Rinaud & Poyet, 2009 ; Vidal, 2012). Il s'agit notamment des recherches menées depuis le champ de la sociologie. Trois traditions de recherche vont se constituer depuis ce champ pour penser les usages des TIC (Jauréguiberry & Proulx, 2011), à savoir : (1) la question de la diffusion et de l'adoption ; (2) la question de la conception ; et (3) la question des types d'utilisations et de l'appropriation de ces technologies. Ces recherches vont contribuer à la constitution des

« usages des TIC » en tant qu'objet de recherche à part entière (Latzko-Toth & Millerand, 2012). Des études multiples ont consolidé depuis la figure de l'« utilisateur actif » et ont montré que « les usagers développent des pratiques, des représentations et un imaginaire associés aux notions d'efficacité et de performance » (Vidal, 2012, p. 16).

Le contenu des catégories « usages » et « usagers » évolue selon un travail continu de délimitation de la part des individus. Il s'agit des catégories dynamiques en ce sens qu'elles se construisent et se développent dans des rapports concrets aux objets techniques. Les travaux de Lindsay (2003) mettent effectivement en évidence que les contours des notions d'usage et d'usager changent et subissent des renégociations de sens par les acteurs eux-mêmes tout au long du cycle de vie d'un produit informatique.

À cet égard, Jauréguiberry et Proulx (2011) identifient trois « logiques d'action » sous-tendant les usages du numérique en général. La première, « être branché », renvoie à une logique d'intégration, c'est-à-dire à la nécessité de faire partie intégrante du reste du réseau social et économique. La deuxième logique d'action est « être efficace » grâce au numérique, à savoir des usages sous-tendus par la mise en place de logiques stratégiques. Enfin, une troisième logique de « subjectivation » et à laquelle se subordonnent des usages et des pratiques dans lesquels l'individu cherche à « être autonome ».

Enfin la sociologie des usages met en évidence qu'usages et « logiques d'usage » (Perriault, 2015) ne peuvent être compris que dans leurs contextes spécifiques, c'est-à-dire en ce qu'ils sont attachés à des pratiques concrètes et aux principales activités des individus comme le travail, le loisir, l'école, etc. Ainsi, de par la variété de pratiques d'usages des technologies numériques, les études en sociologie des usages s'accordent enfin sur le fait qu'« il n'y a pas de culture technique commune, mais une multitude de micro-cultures techniques » (Perriault, 2015, p. 6).

1.3.2. Les usages : contexte scolaire

La sociologie des usages a toutefois peu développé les dimensions éducatives du numérique (Collin, Guichon, & Ntébutsé, 2015). Le fait que les élèves n'arrivent pas en salle de classe démunis de toutes représentations et pratiques relatives aux artefacts numériques ne semble pas être mis en question. En revanche, certaines recherches constatent que « le contexte extrascolaire reste, tout au long de la scolarité des élèves, le principal contexte dans lequel ils construisent leur rapport au numérique » (Collin, Guichon, & Ntébutsé, 2015, p. 92). Les études menées à ce jour attestent, en effet, que malgré une infrastructure relativement bien

développée (Bennet & Maton, 2011 ; Cornu & Véran, 2014), l'intégration des usages des technologies numériques en classe et à l'école en général, restent « faibles » (Baron & Bruillard, 2008). A l'école, par exemple, la « sous-utilisation » des ordinateurs est « unanimement notée » (Fluckiger 2007).

Un certain consensus existe ainsi sur le fait que le numérique n'est pas vraiment intégré aux pratiques éducatives actuelles. Bien qu'il s'agisse d'un enjeu essentiel, il semblerait en effet que « l'école n'a pas profondément changé et bien des enseignants restent distants face au numérique » (Cornu & Véran, 2014, p. 35). Les usages du numérique en contexte[14] scolaire sont considérés à cet égard comme « secondaires », faibles et souvent éloignés des préoccupations des collégiens (Collin, Guichon, & Ntébutsé, 2015). Fluckiger (2007) souligne toutefois l'importance de développer les usages des technologies numériques en contexte scolaire « car ils s'accompagnent d'une volonté éducative et qu'ils concernent des usages qui resteraient inconnus à la plupart des adolescents » (p. 144).

1.4. Des élèves digital *natives* ou digital *naïves* : déconstruction d'un mythe

Une idée aujourd'hui assez répandue est que les jeunes élèves, à la fois parce qu'ils ont accès dès leur plus jeune âge à un large éventail de dispositifs numériques et parce qu'ils semblent les utiliser si aisément, seraient donc en symbiose presque parfaite avec ces technologies et développeraient, en conséquence, et de manière quasi-intuitive, des connaissances et des compétences cohérentes et adéquates relatives à ces dispositifs[15]. Cette idée s'est toutefois révélée, sinon fausse, insuffisamment étayée par les résultats des recherches.

En effet, « on attribue aux enfants et aux adolescents beaucoup plus de compétences que la majorité d'entre eux n'en possède » (Baron & Brouillard, 2008). Cet octroi s'explique, d'une part, en tenant compte du fait qu'enfants et adolescents constituent la cible privilégiée des stratégies marketing des industries numériques (Lardellier & Moatti, 2014 ; Takahashi, 2011). Or, d'autre part, cette attribution de compétences relatives aux plus jeunes trouve probablement son origine dans l'opposition formalisée par Marc Prensky au début des années 2000, laquelle introduit l'idée d'une rupture générationnelle relative aux usages des TIC. Selon Prensky (2001), d'un côté il y aurait les « natifs de l'ère numérique », à savoir des

[14] Les auteurs remarquent toutefois que la distinction des usages numériques éducatifs en fonction des contextes connaît aujourd'hui certaines limites en ce sens que « les usages des technologies numériques brouillent les frontières entre les apprentissages formels-informels » (Collin, Guichon, & Ntébutsé, 2015).

[15] Dans une version récente d'un article de Marc Prensky, l'auteur affirme qu'il s'agit à la fois d'un mal entendu et des propos exagérés de la part des critiques (Prensky, 2011).

« interlocuteurs natives » vis-à-vis de l'univers numérique contemporain ; de l'autre côté, il y aurait les « immigrés de l'ère numérique », à savoir ces générations qui, n'étant pas nés à l'ère du numérique, « soit deviennent fascinés par elle, soit adoptent plusieurs de ses aspects » (p.1-2). L'idée sous-jacente à la distinction de Prensky serait que les individus nés dans un contexte où les usages des technologies numériques sont banaux, de par le fait qu'ils cohabitent avec elles dès leur plus jeune âge, auraient des compétences et une compréhension plus sophistiquée de ces artefacts que les adultes qui eux les ont adoptés plus tard dans la vie.

Cependant, nombre de travaux contestent cette position (Baron & Bruillard, 2008 ; Bennett & Maton, 2011 ; Fluckiger, 2007 ; Palfrey & Gasser, 2011). L'ouvrage collectif *Deconstructing Digital Natives* (2011) constitue à cet égard une critique robuste rejetant catégoriquement tout déterminisme à la fois technologique et générationnel fondé sur l'opposition notionnelle entre d'une part, les natifs numériques, et d'autre part, les immigrants numériques. Dès la préface, Buckinham (2011, p. x) souligne qu'un grand nombre des prétendus *digital natives* « n'ont pas nécessairement les talents, les compétences ou encore l'aisance naturelle qu'ils sont supposés avoir. La plupart des jeunes utilisent la technologie de manière mondaine plutôt que spectaculaire : ils ne sont pas caractérisés par des manifestations dramatiques d'innovation et de créativité, mais plutôt par des formes routinières de communication et de recherche d'information ». De plus, toujours selon Buckinham, alors qu'elle semble positive et encourageante, cette caractérisation des jeunes enfants est également réductrice en ce sens qu'elle laisse croire que « les jeunes savent tous ce qu'ils doivent savoir des technologies de manière spontanée et non pas qu'ils doivent faire l'effort de l'apprendre » (2011, p. x.).

Bennett et Maton (2011) se positionnent d'une part contre l'idée d'une population homogène de natifs numériques et, d'autre part, contre le stéréotype du « cyberkid » caractérisant les jeunes comme des utilisateurs des technologies numériques naturels et toujours couronnés de succès. Les auteurs affirment que « l'observation conteste cette prétention, suggérant que, bien que certains individus puissent manifester une certaine expertise vis-à-vis de ces technologies, la plupart ne manifestent que des compétences limitées » (p. 172). Une revue de la question leur permet enfin de pointer « la nécessité de recherches solides et transparentes » (p.181) sur la manière dont les jeunes utilisent et intègrent concrètement les technologies numériques dans leurs contextes et leurs pratiques quotidiennes.

Dans le même ordre d'idées, Fluckiger (2007, p. 183) constate que le rapport des collégiens aux technologies numériques est caractérisé essentiellement « d'une part par leur banalité, leur aspect usuel et d'autre part leur caractère instrumental ». Ainsi, dans la population

d'élèves étudiés par le chercheur, les ordinateurs sont des instruments d'activités diverses (jeux vidéo, visionnage des films, création et consultation de blogs, etc.) « mais ils constituent rarement l'objet même de l'activité » (p. 393). D'autre part, le chercheur remarque que si les usages chez les élèves révèlent la maîtrise d'un ensemble varié de compétences techniques et relationnelles, « le territoire fonctionnel et applicatif exploré par les collégiens semble singulièrement restreint, et les compétences techniques réduites à ce qui est nécessaire à l'utilisation quotidienne de quelques fonctionnalités » (*ibid.*).

En outre, d'après Baron (2000, p. 14), si les jeunes possèdent certaines « représentations opératoires » des technologies numériques auxquelles ils ont accès, « ces dernières sont néanmoins souvent contextualisées, parfois naïves ou erronées. Elles mettent l'accent sur les objets manipulés (souris, clavier, écran, lecteur de cédérom, icônes de l'interface) et tendent à méconnaître la dimension proprement procédurale du fonctionnement ». En ce qui concerne les usages des jeunes, Baron et Bruillard (2008) notent que « leurs utilisations des technologies sont fréquentes, mais dans un spectre très limité et avec un degré d'autonomie relatif ». En rappelant l'appellation *digital natives*, les auteurs préfèrent parler plutôt de *digital naïves* pour signaler le fait qu'il s'agit des jeunes novices.

À ce propos Fluckiger (2007, p. 183) pointe un aspect tout aussi essentiel, à savoir que les usages des adolescents « relèvent d'une approche utilitaire des outils informatiques, dans laquelle la finalité de l'usage n'est pas lié à la technologie informatique ou à l'ordinateur lui-même, qui est conçu comme une boite à outils pour jouer, pour communiquer ou pour écouter de la musique, c'est-à-dire comme un ensemble d'instruments médiateurs de leurs activités ludiques, sociales ou scolaires ». Fluckiger constate que l'intégration des différentes technologies numériques dans l'univers des jeunes adolescents se réduit essentiellement à leur dimension instrumentale, c'est-à-dire à leur caractère de médiatrice entre buts et résultats. L'ordinateur, par exemple, est intégré chez les collégiens « comme un instrument incontournable de leur sociabilité et de leur accès aux produits culturels, c'est-à-dire comme un instrument de leur construction identitaire » (2007, p. 8). De ce fait, toujours selon Fluckiger, « ce n'est que dans les activités liées à la maintenance et l'entretien de l'ordinateur que des adolescents prennent véritablement pour objet l'ordinateur et ses applications informatiques » (2007, p. 183).

En somme, la littérature consultée suggère que les usages des TIC par les jeunes adolescents, en plus d'avoir une forte composante ludique, ont un noyau central commun : à savoir la nécessité de communiquer, d'échanger avec les pairs, et de rechercher de l'information

(Maton & Bennett, 2010). Cela explique en partie, en outre, le succès fulgurant des ordinateurs, des Smartphones, des réseaux sociaux et des différents produits numériques chez les enfants et les adolescents : ils « répondent de façon presque providentielle aux enjeux et aux désirs des adolescents et des jeunes adultes » (Minote, 2015, p. 27).

Toutefois, ni accès n'est forcément usage, ni encore moins usage n'est compétences ou compréhension élaborée. Dans la mesure où « l'usage est le fruit d'un processus d'appropriation » (Fluckiger, 2007, p. 388), il est en effet généralement admis que la simple mise à disposition d'une technologie ne garantit donc pas forcément des usages sophistiqués et encore moins des pratiques raisonnées. C'est donc dans cette perspective que l'intégration et la prise en charge du numérique dans une démarche éducative formalisée, tant du point de vue fonctionnelle et structurelle que du point de vue des usages raisonnés, se présentent aujourd'hui comme une évidence et une urgence. Intégration d'autant plus nécessaire que « le fort engouement pour l'utilisation des outils digitaux contraste avec le désintérêt pour leur fonctionnement et même l'actualité technologique (Gobert, 2012, p. 94). Or cette intégration ne doit pas être envisagée seulement sous l'angle de l'équipement technologique mais, sous l'angle de l'élaboration de stratégies pédagogiques adaptées : « on constate que les pays les plus avancés dans l'intégration du numérique dans l'éducation, comme la Corée du Sud, les Pays-Bas et l'Australie, sont ceux où l'on a abordé cette question sous l'angle de la pédagogie, sans hésiter à remettre en question le fonctionnement du système éducatif » (Cornu & Véran, 2014).

1.5. Du basic au codage en passant par la technologie de l'information au collège

Nous voulons souligner dans cette partie que l'enseignement de la technologie au collège est historiquement lié à celui des usages raisonnés des technologies de l'information et de la communication. Les désignations de cet enseignement varient au fil du temps : « informatique », « technologie de l'information », « informatique technologique », « TIC », ou encore « culture numérique ».

En effet, alors que l'éducation manuelle et technique disparaît au collège, la technologie s'est érigée en 1985 en tant que discipline scolaire à part entière (Lebeaume, 2000)[16]. C'est

[16] Dans un contexte de bouleversements économiques et technologiques, l'introduction de la technologie au collège en tant discipline scolaire coïncide avec l'introduction de l'informatique en 1984 (Dimet, 2004). Dans ce contexte, l'article 2 de la *Loi sur l'enseignement technologique et professionnel* du 23 décembre 1985, stipule,

l'époque du plan national *Informatique pour tous* (1985). Si le plan en question équipe en ordinateurs un certain nombre de collèges, la prise en charge de ceux-ci sera toutefois assurée par l'enseignement de la technologie (Meignié & Lebeaume, 2006). À cette époque, il est usuel de programmer en Basic par exemple des dessins ou des animations. C'est le temps aussi du Logo à l'école primaire et de la robotique dans l'expérimentation de la Direction des Écoles (automates programmables) (Toussaint, 1990). Cette situation sera formalisée par les nouveaux programmes et les nouvelles instructions publiés en 1995 pour le collège. Ces derniers vont effectivement consacrer la technologie « comme la discipline privilégiée pour enseigner l'informatique au collège » (Dimet, 2004, p. 27). Précisons toutefois que l'« informatique » dont il est question au collège ne vise pas principalement l'enseignement des concepts, démarches et modalités de pensée propres à la science informatique. L'informatique dont il est question dans les programmes de 1995 vise notamment l'acquisition des compétences relatives au traitement de l'information textuelle, l'usage du tableur-grapheur, le pilotage par ordinateur, la conception assistée par ordinateur, ainsi que la consultation et la transmission de l'information. Lebeaume et Martinand (1998) parlent en ce sens de « technologie de l'information » pour la distinguer ainsi de l'informatique.

L'introduction du *Brevet informatique et internet* (B2i) dans les instructions officielles de l'année 2000, modifie le contexte précédent en ce qui concerne la prise en charge de l'informatique au collège (Meignié & Lebeaume, 2006). Si l'apprentissage et le développement des compétences des élèves en informatique – avec les caractéristiques précédemment exposées – étaient jusqu'alors considérées comme de la responsabilité exclusive de l'enseignement de la technologie, l'introduction du B2i dans les années 2000 stipule en effet que ces aspects doivent être désormais pris en charge par l'ensemble des disciplines du collège. Cependant, malgré ces prescriptions, on constate dans la pratique que de 1995 à 2008 ce sera toujours l'enseignement de la technologie qui prendra effectivement en charge cet enseignement au collège (Meignié & Lebeaume, 2006).

En effet, compte tenu que le B2i[17] ne devient obligatoire au collège que suite à la publication des nouveaux programmes de 2008, ce ne sera qu'à partir de cette année que les autres

---

en outre, que « Tous les élèves et les étudiants sont initiés à la technologie et à l'usage[16] de l'informatique » (cité dans Figeat & Lebeaume, 2015, p. 33).

[17] Le B2i s'institue dans ce contexte en tant que dispositif d'évaluation de compétences permettant aux enseignants des différentes disciplines « d'attester le niveau acquis par les élèves dans la maîtrise des outils multimédia et de l'internet » et de « mieux préparer les élèves à un usage responsable des technologies de l'information et de la communication » (Ministère l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2014). La spécificité du dispositif étant que « les *contenus d'enseignement* que les enseignants devraient mettre en œuvre sont définis non par un « programme » disciplinaire, mais par ce même dispositif d'évaluation de compétences » (Fluckiger & Bart, 2012, p. 71).

disciplines scolaires vont s'engager effectivement, au même titre que la technologie, dans la validation des compétences des élèves relatives au *Brevet informatique et internet*. Le texte parle désormais des « technologies de l'information et de la communication » (TIC). Les nouveaux programmes pour la technologie au collège précisent ainsi que, « de manière complémentaire aux autres disciplines, la technologie participe à l'appropriation des moyens informatiques pour créer, produire, traiter, exploiter les données, se documenter, échanger, s'informer, mais aussi pour piloter des outils de simulation, des dispositifs expérimentaux ou de fabrication »[18]. Le texte laisse néanmoins entendre que la validation des compétences visées doit avoir lieu préférentiellement dans le cadre de l'enseignement de la technologie.

Les programmes de 2008 précisent[19] désormais que l'enseignement de la technologie doit d'une part montrer à l'élève que l'utilisation des outils informatiques dépasse le cadre du traitement de l'information textuelle, du tableur-grapheur et des applications utilisant l'Internet et d'autre part contribuer à la connaissance des élèves par rapport au fonctionnement des matériels informatiques et des logiciels. Contrairement donc aux autres disciplines, la technologie gardera la spécificité de proposer aux élèves une approche structurelle et fonctionnelle des artefacts numériques ainsi que le rôle de la transmission d'un vocabulaire technique spécifique au domaine (Meignié & Lebeaume, 2006). De manière plus fondamentale encore, les programmes de 2008 introduisent à nouveau l'enseignement de la programmation alors disparu officiellement des programmes en 1995 (Dimet, 2004). Or, il doit être noté que la place réservée à la programmation dans les programmes de 2008 est plutôt non représentative de l'importance et de la place des objets et systèmes numériques programmés et programmables dans la société contemporaine. La programmation dont il est question dans les programmes de 2008, telle qu'une note de bas de page, est à peine évoquée. Certaines recherches constatent alors l'absence de ces activités dans les pratiques d'enseignement de la technologie (Fluckiger, 2007).

En revanche, compte tenu de la place qui occupent la programmation et l'algorithmique, la prise en charge de l'informatique dans les programmes de technologie actuels (2015) se distingue fondamentalement de la prise en charge des programmes antérieurs. Au même titre que le design, l'innovation, les objets techniques, la modélisation, la simulation, etc., les programmes de technologie de 2015 consacrent une partie importante des activités prescrites à l'enseignement de l'informatique. Non seulement cet enseignement est mis en avant dans les programmes, mais aussi les connaissances et les compétences dont il est question sont détaillées dans les textes. À l'instar des autres thèmes enseignés en technologie, les nouveaux programmes précisent les

[18] Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008
0http://media.education.gouv.fr/file/special_6/53/1/Programme_technologie_33531.pdf
[19] Bulletin officiel spécial n° 6 du 28 août 2008

concepts, les démarches, les notions et les compétences visés par l'enseignement de l'informatique. En effet, il s'agit désormais d'apprendre aux élèves les notions de variable informatique, d'événement, de séquence d'instructions, de boucle, d'instructions conditionnelles. L'ensemble de ces précisions permettent de constater une évolution majeure dans la conception du programme actuel : l'informatique au collège est désormais proche de la discipline éponyme. À titre d'exemple : en 4e il peut être envisagé la mise au point et l'exécution d'un programme avec plusieurs variables d'entrée et de sortie, avec quelques boucles mais non-imbriquées ; en 3e les élèves peuvent développer des programmes de comptage, mais aussi des programmes à plusieurs boucles conditionnelles imbriquées. Les manuels et les ressources pédagogiques valorisent aussi les pratiques innovantes avec les logiciels libres tels que *Scratch*. Précisons que cet enseignement – l'informatique – est conçu pour être dispensé à la fois dans le cadre des mathématiques et de la technologie. Enfin, comme le laisse entendre le *Guide pédagogique et didactique d'accompagnement du nouveau programme de technologie*[20], une partie non négligeable des activités prévues pour l'apprentissage de l'informatique au collège restent toujours du ressort de la technologie.

1.6. Préoccupation centrale et question de recherche

Compte tenu du contexte précédemment décrit, l'actualité et l'utilité de cette recherche se justifient donc par le décalage observé entre la profusion des objets et systèmes numériques dans l'ensemble de la société et le type d'approche dont ils sont l'objet au sein de l'enseignement des sciences et technologie à l'école de base française. Les activités proposées par l'ensemble des programmes des sciences et technologie à l'école de base s'articulent rarement autour des problématiques visant l'analyse et la compréhension de la structure (matérielle et conceptuelle), ou du fonctionnement et des processus associés à l'ensemble des systèmes numériques contemporains. Cet écart nous semble doublement paradoxal car d'une part il se montre indifférent au fait que la maitrise conceptuelle et fonctionnelle de ces technologies, nous l'avons vu, est perçue comme étant à la fois un atout et une nécessité à une main d'œuvre très recherchée actuellement et, d'autre part, il ignore que cette approche est sans doute susceptible d'intéresser à un grand nombre des élèves et donc de les motiver à engager leurs études dans ces filières.

[20]Accessible en ligne : http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Techno/97/1/RA16_C4_TECH_0_Guide_peda_didac_tech_550971.pdf

Voici donc notre préoccupation principale : comment tenir compte et développer dans l'enseignement scientificotechnologique de l'école de base une approche compréhensive – conceptuelle, structurelle, fonctionnelle – qui soit représentative du milieu technique contemporain ?

La motivation principale de cette recherche réside donc dans le souci de proposer aux élèves des questionnements et des activités leur permettant d'effectuer des analyses fonctionnelles à propos des technologies numériques actuelles. On ne peut faire l'impasse sur ce que les élèves sont déjà capables de modéliser, de conceptualiser et de se représenter à propos de ces dispositifs. Il serait effectivement prudent, voire nécessaire, de s'interroger sur ce que les élèves savent déjà : quels composants identifient-ils ? Quelles relations établissent-ils entre ces organes ? Quels processus sont mis en avant ? S'expriment-ils en termes de fonctions techniques ou de fonctions de service ? Quels termes et quels concepts mobilisent-ils spontanément pour décrire la complexité de ces dispositifs ? Tiennent-ils compte, par exemple, du concept d'information et des processus de traitement ? Enfin, quels sont les registres de modélisation sous-jacents à leur compréhension des systèmes numériques.

Bien que nécessaires, la plupart de ces interrogations ne trouvent encore de réponses dans l'ensemble de textes issus de la didactique de la technologie et des sciences française. Ce champ – la didactique – ne dispose, en effet, que de fort peu de données sur le « déjà là » des collégiens concernant leurs représentations des objets et technologies numériques (Lebeaume, 2010). Or, si de manière générale les didactiques ont une « responsabilité » concernant les contenus d'enseignement (Lebeaume, Martinand, & Reuter, 2007), cette responsabilité est forcément accompagnée des questions concernant les conditions et les contraintes qui supportent l'introduction de ces contenus. Toute démarche visant l'introduction argumentée et structurée de nouveaux contenus et de nouvelles situations d'enseignement centrées sur l'apprentissage et la modélisation des systèmes numériques contemporains se heurtera donc, *a fortiori*, au manque de données concernant ces conditions et ces contraintes.

Dans ce contexte, la question centrale de la présente recherche est la suivante : quelles sont les représentations et les conceptualisations sous-tendant la modélisation fonctionnelle des élèves relative au fonctionnement des systèmes numériques contemporains ?

L'actualité évidente de ces manifestations technoscientifiques questionne la didactique des sciences et de la technologie sur la manière de les prendre en compte. La réponse à notre question principale est en ce sens une contribution à la démarche générale de renouvellement des contenus et d'actualisation des sujets d'études au sein de la technologie, ce qui, aux yeux

de Lebeaume (2011), constitue l'un des défis majeurs auquel se confronte à présent la didactique de la technologie. Un défi dans la mesure où c'est une démarche susceptible de rencontrer des difficultés non négligeables : d'un côté, l'architecture matérielle et conceptuelle des objets et systèmes numériques contemporains est loin d'être simple et accessible et, de l'autre côté, certains des concepts centraux aux domaine des sciences informatiques – information, données, boucle, langage, algorithme, etc. – ne sont pas moins faciles à appréhender. Ce sont justement ces difficultés qui justifient l'urgence avec laquelle il faudra s'attaquer au problème. La conjonction entre les exigences conceptuelles – liées tant à la dimension systémique qu'à la complexité et à l'illisibilité fonctionnelle des dispositifs – et la forte présence des objets informatisés sur la scène sociotechnique contemporaine font des systèmes numériques des entités incontournables pour l'enseignement de la technologie au collège.

Notre problématique concerne donc les représentations, les conceptualisations et les modélisations fonctionnelles sous-jacentes à la compréhension du fonctionnement des systèmes numériques contemporains par les élèves de l'école de base.

Dans un premier temps nous abordons le cadre conceptuel retenue dans cette recherche pour saisir les différentes dimensions de notre problématique. Ce cadre doit permettre de mettre en évidence à la fois les aspects liés à la démarche d'analyse fonctionnelle des systèmes complexes et les concepts et notions psychologiques nous permettant de donner du sens aux analyses portées par les élèves sur ces systèmes. Il doit enfin permettre de comprendre le rôle que jouent les représentations des élèves dans les processus de conceptualisation et de modélisation fonctionnelle.

Dans un deuxième temps nous présenterons une méthodologie originale ayant permis le recueil de nos données. Cette partie présentera également les cinq études menées dans cette recherche. Nous y insisterons sur la nécessité de prendre en compte l'influence de la forme et du contenu des questions posées aux élèves sur le choix de leurs éléments de réponses.

Le dernier chapitre exposera enfin les conclusions et les limites de la recherche menée, les perspectives de recherches et les implications pratiques de nos résultats pour l'enseignement.

Première partie : Orientations théoriques

Notre préoccupation de recherche vise à identifier, repérer et mettre au jour le « déjà là » des collégiens à propos des objets et systèmes numériques dont ils sont particulièrement familiers par leurs usages, notamment extra-scolaires. Ce « déjà là » concerne tant leurs représentations et conceptualisations que leurs modélisations fonctionnelles. Pour comprendre ces dernières nous présenterons premièrement dans cette partie la démarche technologique dite d'« analyse fonctionnelle ». Cette démarche formalise un certain nombre de concepts – fonctions de service, fonctions techniques, frontière d'analyse, flux techniques, etc. – permettant de modéliser le fonctionnement des systèmes complexes. Sur le plan technique, les réponses des élèves seront analysées dans ce cadre.

Sur le plan psychologique nous nous intéressons deuxièmement aux processus cognitifs de conceptualisation ainsi qu'aux représentations sous-jacentes. Il s'agit ici de souligner la place centrale de la notion de représentation dans le processus de conceptualisation et dans les processus cognitifs en général. Afin de rendre compte de l'élaboration de représentations et de conceptualisations liées aux usages des dispositifs étudiés, nous présenterons également des éléments relatifs aux processus d'instrumentation.

Chapitre 1. Problématique

1.1. L'analyse fonctionnelle.

Notre problématique questionne la manière dont les élèves abordent l'analyse fonctionnelle des objets et systèmes numériques[21]. Attardons-nous un instant sur cette notion de « systèmes numériques ». D'après Dowek (2015), l'adjectif « numérique » peut être associé à tout objet « qui contient une quantité finie d'information ». Or cette précision reste vague et ne suffit pas à elle seule à définir ce que nous entendons ici par objets et systèmes numériques. Elle ne souligne que l'aspect « stockage de l'information » et néglige, de ce fait, le processus de traitement de l'information. Le rapport de l'*Académie des sciences* sur l'enseignement de l'informatique précise à ce propos que « l'adjectif "numérique" peut être accolé à toute activité fondée sur la numérisation et le traitement de l'information » (Académie des sciences, 2013). Par « objets et systèmes numériques », nous renvoyons dans cette recherche à l'ensemble des « artefacts » dont le fonctionnement repose sur le traitement de l'information numérisée[22]. Cette caractérisation nous permet de souligner le rôle central des processus de traitement dans le fonctionnent des systèmes numériques.

Un certain nombre d'élèves sont interrogés dans cette perspective à propos du fonctionnement de deux systèmes numériques, à savoir les Smartphones tactiles et les Tableaux Numériques Interactifs (TNI) dont le choix sera argumenté dans la deuxième partie de cette mémoire. En raison de leur caractère de système, l'analyse que les élèves doivent porter sur ces artefacts relève d'une certaine complexité. Aborder leur analyse suppose, d'une part, de s'intéresser à leurs fonctions, à savoir les actions et comportements émergeant des interactions entre les composants internes du système et, d'autre part, de s'intéresser à leur structure, c'est-à-dire aux composants et à leur organisation à l'intérieur du système, quelle que soit leur nature (mécanique, électrique, magnétique, informatique, etc.). Précisons aussi, comme le rappelle Lebeaume (2014) en référence à Moles (1969) que le rapport complexité / simplicité est à

[21] Ne fût-ce qu'en raison de sa composition atomique, tout objet tangible peut être considéré comme un « ensemble d'unités en interrelation mutuelles » (Bertalanffy, 2012 (1968)), c'est-à-dire en tant que système. De même, tout système, ne fût-ce qu'en devenant l'objet d'une action quelconque, c'est-à-dire en se singularisant en tant que totalité, peut lui aussi être envisagé en tant qu'objet — l'objet d'un regard, d'une étude, d'une saisie, d'un échange, etc. Les objets et les systèmes que nous avons retenus dans cette recherche pour être proposés aux élèves, à savoir le Tableau Numérique Interactif et le Smartphone, n'échappent pas à ces considérations. Tout en privilégiant le caractère système de ces « artefacts » (Rabardel, 1995a), nous emploierons, dans cette recherche, l'une ou l'autre désignation — objet ou système.

[22] La structure des artefacts numériques doit se concevoir comme étant constituée d'une partie matérielle et d'une partie non matérielle, comme c'est le cas des logiciels, des lignes de code et de l'information traitée et transmise, par exemple.

examiner dans le rapport structure / fonction : « une carte de paiement a une structure simple mais son intégration fonctionnelle est complexe. Elle peut être objet ou composant d'un système ».

Les systèmes numériques retenus dans cette recherche afin d'être proposés à l'analyse des élèves, eut égard à leurs fonctions multiples et aux niveaux élevés d'intégration et d'abstraction dont témoignent la conception de leurs composants structuraux, constituent effectivement des systèmes d'une réelle complexité fonctionnelle. Il existe toutefois des méthodes d'analyse comme l'approche dite d'« analyse fonctionnelle » dont le but est justement de simplifier l'étude des systèmes complexes. La force et l'intérêt de la démarche d'analyse fonctionnelle résident dans le fait qu'elle aborde les systèmes en tant qu'ensembles de fonctions. De ce fait, cette démarche présente l'avantage de la simplicité car elle étudie les systèmes sans se soucier, dans un premier temps, des particularités des composants et des solutions techniques sous-jacentes aux fonctions repérées dans l'étude : « la fonction d'abord la solution après ! » (Bellut, 2006, p. 68).

L'analyse fonctionnelle constitue une démarche et « un contenu spécifique du domaine technologique » (Lebeaume, 2011, p. 168). De par son importance dans ce domaine, l'analyse fonctionnelle est définie comme un mode de raisonnement particulier dès les premières esquisses de la technologie dans l'enseignement. Cette approche des systèmes est introduite comme contenu dans l'enseignement dès les années 1960 afin d'orienter ce dernier vers des démarches de conception ou d'investigation de mécanismes. Plus tard, et principalement au lycée, l'analyse fonctionnelle d'objets ou de systèmes technologiques réels contribue à développer chez les élèves une pensée systémique (Hamon & Lebeaume, 2016). Or, bien que la démarche d'analyse fonctionnelle soit aujourd'hui diffusée à tous les niveaux de la scolarité, « l'analyse de quelques propositions pour l'enseignement disponibles [en 2016] indique d'une façon nette que l'analyse fonctionnelle n'est pas centrale dans l'enseignement de la technologie et que l'investigation prônée par les prescriptions est principalement une exploration guidée par des questions qui ne fonde pas le raisonnement technologique » (Lebeaume, 2016, p. 12).

Nous évoquons ici cette démarche analytique – l'analyse fonctionnelle – pour deux raisons fondamentales. D'une part nous sommes intéressés par son bagage conceptuel : les concepts qu'elle formalise – structure, fonction, bloc fonctionnel, frontière, etc. – seront ici indispensables lors de l'analyse des explications des élèves concernant leurs approches des systèmes numériques proposés. D'autre part, compte tenu que l'analyse fonctionnelle aborde

l'étude des systèmes en ciblant précisément leurs fonctions, cette démarche nous permettra de construire un modèle rendant compte à la fois du fonctionnement du Smartphone et du TNI à partir de l'identification des principaux « blocs fonctionnels » à la base du fonctionnement de ces artefacts.

1.1.1. Analyse fonctionnelle externe et analyse fonctionnelle interne

Identifier la fonction de service – ou fonction principale – d'un système revient à identifier son action principale sur l'environnement (Tassinari, 2012). Or, en raison de leur caractère de système, la fonction de service est en réalité assurée par un ensemble de sous-fonctions réalisées en interne. L'analyse fonctionnelle tient compte de cette distinction et aborde l'étude des systèmes à partir de deux perspectives d'analyse : si l'analyse porte sur les fonctions principales ou de service, on parle donc d'analyse fonctionnelle externe ; si l'analyse porte sur les fonctions internes, on parle dans ce cas d'analyse fonctionnelle interne – nous verrons plus loin dans le texte que cette distinction répond en dernière analyse à la délimitation de la frontière d'étude du système.

Dans la perspective d'analyse fonctionnelle externe, l'étude porte donc sur la fonction qui assure le service attendu par l'utilisateur. L'analyse fonctionnelle externe se caractérise principalement par l'intégration à la fois de l'utilisateur et de la sphère sociale dans l'étude du système. De ce fait, le système est envisagé « comme une boîte noire, complètement dématérialisée » (Tassinari, 2012, p. 141). Retenons donc qu'une démarche d'analyse fonctionnelle externe ignore l'aspect structurel et comportemental du système étudié. Ce qui intéresse l'analyse fonctionnelle externe c'est la fonction du système dans sa totalité, « à quoi sert-il ? » **(**Canonge & Ducel, 1969, p. 86).

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un système quelconque il est toutefois nécessaire de mettre en évidence à la fois le rôle de ses constituants et leurs interactions. C'est à ce niveau qu'intervient l'analyse fonctionnelle interne – ou analyse fonctionnelle technique. Soulignons que cette perspective d'analyse va donc s'intéresser aux comportements des sous-parties du système et à la manière dont ils contribuent à l'exécution des fonctions principales du système (Luzeaux, Ruault, et Wippler, 2012). L'intérêt de l'analyse fonctionnelle interne réside donc en ce qu'elle met en évidence le rôle de chaque constituant, la manière dont les composants du système agissent et interagissent. Enfin, en explicitant la manière dont les fonctions attendues sont rendues par le système, l'analyse fonctionnelle technique informe à propos du « passage du ''quoi'' au ''comment'' » (Luzeaux, Ruault, & Wippler, 2012).

Bien que les analyses fonctionnelles externe et interne renvoient à deux perspectives d'analyse différentes, elles ne sont pas pour autant disjointes car « il ne peut y avoir une analyse fonctionnelle technique sans préalablement une analyse fonctionnelle du besoin » (Lebeaume, 2016). Soulignons enfin que l'intérêt des deux approches se justifie en ce qu'elles permettent d'identifier et d'ordonner les fonctions du système étudié, tout en soulignant leurs relations de dépendance et, par-là même, d'évaluer ou de hiérarchiser l'ordre d'importance établi entre elles (Bellut, 2006). Ce dernier point – identification, hiérarchisation et mise en relations des fonctions identifiées – met en évidence l'utilité de l'analyse fonctionnelle en tant que démarche analytique indispensable à l'enseignement de la technologie afin de permettre aux élèves de comprendre le fonctionnement des systèmes numériques contemporains, compte tenu notamment de leur complexité structurelle et fonctionnelle.

1.1.2. Fonctions principales et fonctions techniques

Différencier l'analyse fonctionnelle « externe » de l'analyse fonctionnelle « interne » revoie essentiellement à distinguer les « fonctions principales » des « fonctions techniques ». Nous accordons une importance particulière à cette distinction car elle nous permettra de mieux saisir les notions de « flux » et de « frontières » d'un système.

Les fonctions principales désignent les (re)actions exécutées par le système sur les éléments du milieu. Dans le cas du TNI par exemple, « émettre du son », « afficher des images » seraient des exemples de fonctions principales. Pour assurer une action quelconque sur l'environnement, soit l'une de ses fonctions principales, le système en question doit effectuer en parallèle ou préalablement des actions ou des fonctions exécutées en interne. C'est à ce niveau qu'intervient la notion de « fonction technique ». Sur un Smartphone tactile par exemple, la fonction de service « afficher des images à l'écran » est assurée par d'autres fonctions techniques s'exécutant à l'intérieur de l'artefact – stocker de l'information, transmettre l'information, traiter l'information, etc.

En effet, « pour supporter la ou les fonctions principales, celles-ci doivent recevoir une — ou plusieurs — traductions techniques, mettant en jeu des dispositions rationnelles d'organes mécaniques, de composants électriques, électroniques, etc. » (Canonge & Ducel, 1969, p. 93). Les fonctions techniques sont justement les fonctions satisfaites pas ces ensembles d'organes et de composants en interaction interne. Les fonctions techniques sont donc intimement liées à la structure et au comportement interne du système, c'est-à-dire, aux matériaux, aux liaisons, aux contacts, aux mécanismes de transmission, de transformation de l'énergie et/ou de

l'information, etc. Dans le cas du Smartphone tactile par exemple, « détecter l'événement contact » et « transmettre l'information correspondante » renvoient à des fonctions techniques sous-jacentes à une éventuelle action du système sur son environnent, comme peut être « afficher la messagerie ». Or détecter le contact sur l'écran n'est possible qui si le système est équipé des composants nécessaires à cette fonction technique, ce qui renvoie donc à l'identification des « capteurs ».

Résumons les éléments précédents avec la réflexion faite par Tassinari (2012, p. 75) soulignant que « pour un esprit bien entraîné, un système n'est pas un assemblage de pièces mais un assemblage de fonctions ». Du point de vue de cette recherche la question est de savoir si les élèves analysent le fonctionnement des systèmes proposés bien à partir de l'identification des fonctions techniques ou bien à partir de l'identification des fonctions principales – abordent-ils le « comment fonctionne-t-il » ou le « à quoi sert-il » ?

1.1.3. Matière d'œuvre et flux techniques

Précisons à ce stade que la notion de fonction – de service ou technique – doit être associée à celle de « matière d'œuvre » transformée. Les (ré)actions d'un système sont nécessairement supportées par des échanges de matière, d'énergie ou d'information (Durand, 2013). Par exemple, la fonction d'un capteur est de transformer une information non-utilisable par le système en une information utilisable par le système ; la fonction d'un générateur est de transformer de l'énergie mécanique en énergie électrique. On désigne donc la matière d'œuvre par des flux de matière, d'énergie ou d'information. Ainsi, à l'opposé des systèmes mécano-électriques, les fonctions des systèmes numériques vont être définies essentiellement par des processus de traitement de l'information, « matière d'ouvre particulière » (Lebeaume & Martinand, 1998). Par « information » il faut comprendre tant les événements analogiques détectés dans l'environnement sous forme de grandeur physique, que les données stockées, traitées et transmises sous forme numérique[23] (Damaye, 1978).

Il a déjà été signalé que l'étude des fonctions d'un objet ou d'un système techniques donné peut être étudiée d'un point de vue interne ou d'un point de vue externe à celui-ci. Si l'élève, par exemple, adopte le point de vue d'un observateur externe, son analyse du système est

[23] Les systèmes numériques rendent à l'environnement ou à l'utilisateur une action déterminée, ladite « fonction de service ». Or cette réponse est, le plus souvent, le résultat du traitement d'une information de type « grandeur physique » (analogique) provenant de l'extérieur du système et avec laquelle le système peut interagir. Dans le cas des téléphones tactiles, par exemple, lorsque l'utilisateur appuie sur l'écran, ce que le système détecte ce sont des variations de la quantité de charge électrique sur la surface d'appui. C'est cette information analogique qui contient, en fin de compte, la demande de l'utilisateur. Elle doit toutefois être transmise sous une autre forme (numérique) pour être convenablement traitée. La notion de « codage » intervient à cette étape. (Damaye, 1978).

susceptible de ne tenir compte que des « entrées » et des « sorties » de matière et/ou d'énergie et/ou d'information au système, c'est-à-dire des flux échangés par le système avec son environnement. L'analyse fonctionnelle définit l'ensemble de ces flux comme des « flux de service » (Tassinari, 2006). Comme leur nom l'indique, les flux de service sont intimement liés à chacune des fonctions de service assurées par le système. Ils sont reconnaissables au fait qu'ils sont en contact avec un élément de l'environnement, soit à l'origine du flux soit à son aboutissement. En d'autres termes, « les flux de service pénètrent dans le produit, circulent à l'intérieur et ressortent du produit pour rejoindre un élément de l'environnement » (Tassinari, 2006, p. 100).

En revanche, si maintenant l'élève analyse le système en se plaçant du point de vue d'un observateur interne au système, il sera donc en mesure donc de constater l'existence d'échanges de flux de matière, d'énergie ou d'information entre les différents sous-ensembles structuraux du système. Ces flux internes « véhiculent des fonctions techniques » et, en conséquence, sont qualifiés de « flux techniques » (Tassinari, 2006). Par contraste donc avec les flux de service, les flux techniques sont sans liaison avec les éléments de l'environnement. Ils n'entrent ni ne sortent du produit. Les flux techniques sont en ce sens des « flux bouclés » car « ils circulent à l'intérieur du produit en formant en quelque sorte des boucles » (Tassinari, 2006, p. 100).

1.1.4. La question des frontières

Les éléments précédents nous forcent maintenant à évoquer, pour terminer cette partie, la question et la notion de « frontière des systèmes ». Comme nous le verrons par la suite, la notion de frontière est particulièrement importante dans une démarche d'analyse fonctionnelle car c'est en délimitant la frontière d'analyse que l'ensemble des oppositions évoquées ci-dessus prennent tout leur sens : analyse fonctionnelle externe *vs*. analyse fonctionnelle interne ; fonctions de service *vs.* fonctions techniques ; flux de service *vs.* flux techniques.

Du point de vue structurel, la frontière d'un système est relativement facile à délimiter : ce serait le lieu de séparation entre les composants internes et les éléments externes du système (Luzeaux, Ruault, & Wippler, 2012). De ce point de vue, la frontière est ce qui sépare le système étudié de l'ensemble d'éléments de son environnement. On comprend donc que la frontière structurelle est ce qui permet de distinguer les flux de service des flux techniques, c'est-à-dire d'isoler dans l'analyse les échanges système–environnement à la base des

fonctions de service, des échanges composants–composants à la base des fonctions techniques.

Or, du point du vue fonctionnel, cette délimitation entre, d'une part, ce qui relève de l'intérieur du système et, d'autre part, ce qui relève de l'extérieur du système, est bien moins évidente et plus délicate à faire. En effet, d'un côté, les fonctions de service consistent en des actions sur l'environnement et se traduisent par des flux d'énergie, et/ou de matière et/ou d'information sortant et rentrant au système. De l'autre côté, « tout système peut contenir en lui un sous-système et être à la fois une partie fonctionnelle d'un système plus large » (Checkland, 2012, p. 466). Dans ce contexte, la démarcation de la frontière fonctionnelle du système renvoie à la question du référentiel dans lequel on se place pour étudier le système. Dans ce cadre, la notion de frontière dévient donc un outil conceptuel dont la fonction est de mieux caractériser les entrées et les sorties des flux échangés entre le système et son environnement, sans pour autant le couper de ce dernier (Durand, 2013).

D'une façon plus essentielle, la notion de « frontière » permet de distinguer nettement l'analyse fonctionnelle externe et interne : l'analyse externe intègre la sphère social, l'utilisateur et leurs besoins, tandis que l'analyse interne n'y fait pas référence. Il s'agit de la différence fondamentale, par exemple, au sujet de l'aspirateur, de la fonction de nettoyage (à caractère social) et de la fonction de transformation de la matière d'œuvre traduite dans une fonction technique de déplacement de la poussière (Lebeaume, 2011). À l'échelle d'un système, dans le cas des Smartphones tactiles, par exemple, si dans l'analyse de son fonctionnement l'on tient compte des échanges d'informations avec l'ensemble du réseau de télécommunications, alors la frontière du système comprend l'ensemble du dispositif et l'ensemble du réseau. En revanche, si dans l'analyse on exclut les échanges d'information avec le réseau, comme c'est le cas dans cette recherche, alors la frontière d'analyse du système Smartphone tactile dans un sens exclue les fonctions de service « emmètre une appelle », recevoir une appelle », « se connecter à internet », etc. et dans l'autre sens inclue les fonctions techniques à la base de l'interaction Smartphone-utilisateur ainsi que les éléments structuraux de l'artefact.

1.1.5. Modèle fonctionnel des systèmes retenus dans cette recherche

Cette perspective d'analyse – l'analyse fonctionnelle – nous permet finalement d'élaborer un modèle à partir duquel nous jugerons de la complétude ou de l'incomplétude des analyses portées implicitement par les élèves sur les systèmes qui leur sont proposés dans cette

recherche. En effet, on a vu précédemment que l'avantage principal de l'analyse fonctionnelle réside dans le fait qu'elle conçoit les systèmes comme étant essentiellement des ensembles de fonctions. Cela nous permet de constituer le modèle fonctionnel du Smartphone et du Tableau Numérique Interactif à partir du repérage de leurs principales fonctions techniques, à savoir : *détecter* l'action de l'utilisateur sur l'écran, *transmettre* l'information correspondante à cet événement, *traiter* cette information pour répondre à la demande de l'utilisateur, *afficher* le résultat du traitement correspondant à la demande. En prenant aussi en considération l'*action* de l'utilisateur sur le système, nous pouvons donc construire un « schéma fonctionnel » associant cinq « blocs fonctionnels » concernés par une même matière d'œuvre ou flux, à savoir l'information.

Notre modèle fonctionnel est donc le suivant :

Figure 1. Schéma fonctionnel modélisant le fonctionnement du TNI et du Smartphone tactile.

Le modèle fonctionnel représenté ci-dessus constitue un outil dont la fonction est de rendre compte des modèles fonctionnels repérés dans les explications des élèves. Notons par exemple, qu'entre les étapes « Action »/« Détection » se définissent les évènements et les phénomènes rendent compte de l'interaction entre l'utilisateur et le système – entre l'écran tactile et le doigt dans le cas des Smartphones. Notons également que les étapes « Sortie » et « Action » sont interdépendantes du point de vue fonctionnel : que ce soit dans le fonctionnement du TNI ou du Smartphone tactile, les actions de l'utilisateur visent les éléments affichés à l'écran. Lorsque l'affichage change, c'est-à-dire lorsque les positions et la nature des éléments affichés à l'écran changent, la position visée par les actions de l'utilisateur ainsi que ses gestes changent aussi. Enfin, le schéma ci-dessus nous permettra de juger de la complétude des réponses des élèves quant à la prise en compte des principaux blocs fonctionnels (ou étapes) décrivant le fonctionnement des systèmes numériques proposés.

1.1.6. Conclusion-Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle nous propose donc un nombre important de concepts et des distinctions qui nous semblent indispensables dans notre ambition de connaître la manière dont les élèves conceptualisent et se représentent le fonctionnement des systèmes numériques.

Premièrement, l'analyse fonctionnelle aborde les systèmes comme étant fondamentalement des « assemblages de fonctions » et non pas comme des « assemblages de composants ». Il s'agit là d'un premier aspect auquel nous veillerons lors de l'analyse des propositions des élèves car il s'agit de déterminer si les élèves analysent les systèmes proposés bien à partir de la prise en compte de leurs composants individuels ou bien à partir de la prise en compte de leurs fonctions et leurs interactions. Le cas échéant, la question est de savoir si les élèves parlent en termes de fonctions d'usage ou en termes de fonctions techniques. A cet égard, compte tenu que les fonctions techniques sont intimement liées à la structure du système, nous serons amenés à nous intéresser également aux éléments structuraux que les élèves identifient afin de rendre compte du fonctionnement des systèmes proposés.

Deuxièmement, nous serons également conduits à examiner les frontières implicitement posées par les élèves, même si dans certains cas nous n'étudions que les terminaux d'un système plus large. En effet, les éléments évoqués dans ce texte ont mis effectivement en évidence que la délimitation de la frontière d'étude est déterminante dans le type d'analyse engagée. Par exemple, si confrontés à l'analyse du Smartphone tactile les élèves établissent la frontière de façon à exclure les fonctions internes aux système (ce qui revient à une démarche d'analyse fonctionnelle externe), alors ils risquent d'envisager le système comme une boîte noire intégrant l'utilisateur et ne tiendront donc compte que des fonctions de service et des flux de service. Cela se traduira par l'exclusion dans l'analyse de l'ensemble des fonctions techniques (actions internes au système) et des flux techniques (d'information notamment) qui sous-tendent les fonctions éventuellement identifiées.

Troisièmement, et non sans lien avec le reste, l'analyse fonctionnelle nous informe aussi que l'ensemble d'actions et des réactions exécutées par un système sont supportées par des échanges de trois types de matières d'œuvre : matière, énergie et information. Or, contrairement aux deux premières, l'information est une matière d'œuvre immatérielle et donc atteignable uniquement par un effort de conceptualisation. A cet égard une attention particulière sera portée à l'identification par les élèves de l'information en tant que matière d'œuvre particulière et indispensable au fonctionnement des systèmes numériques.

1.2. Processus de modélisation

Notre problématique est centrée sur la modélisation sous-tendant la compréhension et l'analyse des élèves relatives au fonctionnement des systèmes numériques. La question de la modélisation est même centrale dans cette recherche, compte tenu de la complexité fonctionnelle des systèmes présentés à l'analyse des élèves. La section précédente – analyse fonctionnelle – nous a permis de montrer que l'analyse des systèmes – notamment des systèmes complexes – exige d'une activité d'abstraction importante à laquelle n'est possible d'arriver que grâce à une démarche de modélisation conséquente : plus la dimension systémique de l'artefact est importante, plus devient aussi nécessaire l'élaboration d'un modèle rendant compte de ce dernier[24].

C'est dans ce cadre que la modélisation, comprise ici comme le processus de « construction, d'adaptation et d'utilisation des modèles » (Martinand, 2002), est reconnue comme un outil central à la fois du point de vue de la recherche scientifique, que dans le cadre de l'enseignement et l'apprentissage des sciences et des techniques. Cependant, ni l'une ni l'autre de ces approches sont le centre de ces lignes : nous ne sommes intéressés ici ni par l'enseignement *de* la modélisation, ni par l'apprentissage *par* la modélisation. Nous sommes ici intéressés par la modélisation en ce qu'elle constitue un des outils épistémologiques « fondamentaux » au service de la didactique (Martinand, 2003, 2007).

En effet, en partant du constat qu'« il n'y a pas de modèles sans concepts », l'approche de la modélisation permet de questionner les rapports entre conceptualisation et modélisation (Martinand, 2002). De ce point de vue, la modélisation de Martinand constitue une approche complémentaire aux travaux sur la conceptualisation de Vergnaud (2007). En effet, comme nous le verrons dans la section suivante, l'activité de modélisation est supportée par un processus de conceptualisation préalable. En outre, l'approche de la modélisation développée par Martinand constitue un cadre pertinent pour aborder la relation modèle-réfèrent sous-jacent à la compréhension des élèves à propos du fonctionnement et de la structure des systèmes numériques qui leur ont été ici proposés. De ce fait, nous sommes intéressés à la

[24] Walliser (1977), parle en sens de « concepts inséparables ». Modèle et système sont, en effet, méthodologiquement et épistémologiquement liés. L'attachement est méthodologique dans la mesure où « tout système réel n'est connu, en effet, qu'à travers des modèles représentatifs » (Walliser, 1977, p. 11). Dans cette perspective, la notion de modèle recouvre toute représentation d'un système donné, et se veut une synthèse opératoire de ce dernier. Du point de vue épistémologique, modèle et système sont liés en ce sens où le modèle apporte des nouvelles connaissances sur des objets, des systèmes, des phénomènes et des situations complexes. De ce point de vue, selon les termes de Bouleau, tout modèle ouvre « *un nouvel espace du compréhensible* » (2014, p. 27) et constitue enfin une contribution à la mise en évidence et à la formalisation d'un type de savoir particulier.

modélisation en tant que démarche d'objectivation soucieuse des rapports entre l'élève et les objets de son expérience (Martinand, 2002). De manière plus générale, la modélisation porte aussi sur « la question de la référence »[25], c'est-à-dire sur la question de « ce qui pourrait être enseigné à l'échelle d'un curriculum (programme, moyens, démarches,…) » (Martinand, 2007, p. 208). Cette recherche veut aussi apporter des réponses à ces questions.

1.2.1. Relation « modèle »/« référent »

Tout modèle a un triple caractère : il est explicatif, contingent et provisoire (Martinand, 2002). L'ensemble de ces caractéristiques dépendent, en dernière analyse, de la relation du modèle avec son réfèrent. En effet, toute activité de modélisation s'opère nécessairement sur deux registres, le registre du « référent » et le registre des « modèles ». La distinction modèle/référent[26] renvoie chez Martinand (2005) à l'idée qu'un modèle quelconque ne « réfère jamais » à une « réalité » mais un « référent ». Cette précision est ici fondamentale car elle met en évidence que ce à quoi réfère un modèle est à « des objets, des phénomènes, des procédés, à propos desquels une connaissance empirique et une certaine maitrise pratique devaient avoir été acquises » (Martinand, 2005, p. 205). En d'autres termes, un modèle renvoie toujours à une certaine appropriation rationnelle et fonctionnelle de la réalité.

Cette remarque de Martinand établit d'emblée le rapport épistémologique entre modèle et référent : tout modèle porte sur ce qu'évoque la « réalité » à modéliser dans l'esprit du modélisateur. Cela a de fondamental qu'on débarrasse la réalité de toute responsabilité dans les propriétés, les caractéristiques et l'applicabilité du modèle : celles-ci sont rattachées essentiellement au référent, c'est-à-dire aux représentations et aux conceptualisations à propos de la réalité à modéliser. C'est pourquoi le système « téléphone », par exemple, sera modélisé différemment selon qu'il est sous le regard d'un physicien, d'un technologue ou d'un économiste. Le contenu du référent « téléphone » n'étant pas partagé par les trois domaines, les modèles construits seront donc distincts : alors que le modèle de l'économiste part d'une représentation du téléphone en tant que « bien matériel » ayant une certaine valeur, etc., le modèle du physicien part d'une représentation du téléphone en tant que « point matériel »

[25] Du point de vue curriculaire, la modélisation, comme la conçoit Martinand (2005), permet à la didactique des sciences et de la technologie d'interroger, de modifier, de déterminer « quels objets, quels phénomènes, quelles manipulations introduire en classe, et regrouper en un champ de familiarisation empirique pour les élèves ? Quelles règles pour réussir les manipulations ? Quelles notions et représentations pour décrire les phénomènes, quelle loi empirique ? » (p. 179). Or ces questions à la base de la construction et reconstruction des contenus, des activités et des situations d'enseignement sont, comme nous allons le voir par la suite, étroitement liées à la détermination préalable des registres de modélisation spontanés des élèves.

[26] La distinction modèle/référent faite par Martinand (2002) est « une reprise et un aménagement » de la théorie du signe de de Saussure et de l'idée de schème dans la conceptualisation de Vergnaud.

soumis à différentes forces, contraintes, etc., tandis que le technologue le perçoit, comme on l'a vu, comme un agencement et une intégration de fonctions.

En revanche tant le modèle du physicien comme celui de l'économiste ou du technologue doivent se référer aux savoirs « phénoménographiques » et « phénoménotechniques » de leurs disciplines respectives. Il s'agit de savoirs essentiellement empiriques. Cette remarque nous permet d'élargir la notion de « référent » à celle de « référent empirique », à savoir l'ensemble des objets, des phénomènes, des situations, mais aussi des connaissances, des descriptions, des règles d'actions et des savoirs déjà constitués et formalisés par une discipline ou domaine d'expérience donné (Martinand 2005, 2007). Dans cette perspective, si le modèle du physicien et de l'économiste diffèrent vis-à-vis du système « téléphone » c'est, en fin de compte, parce qu'ils ne partagent pas un même « référent empirique » et une même visée explicative.

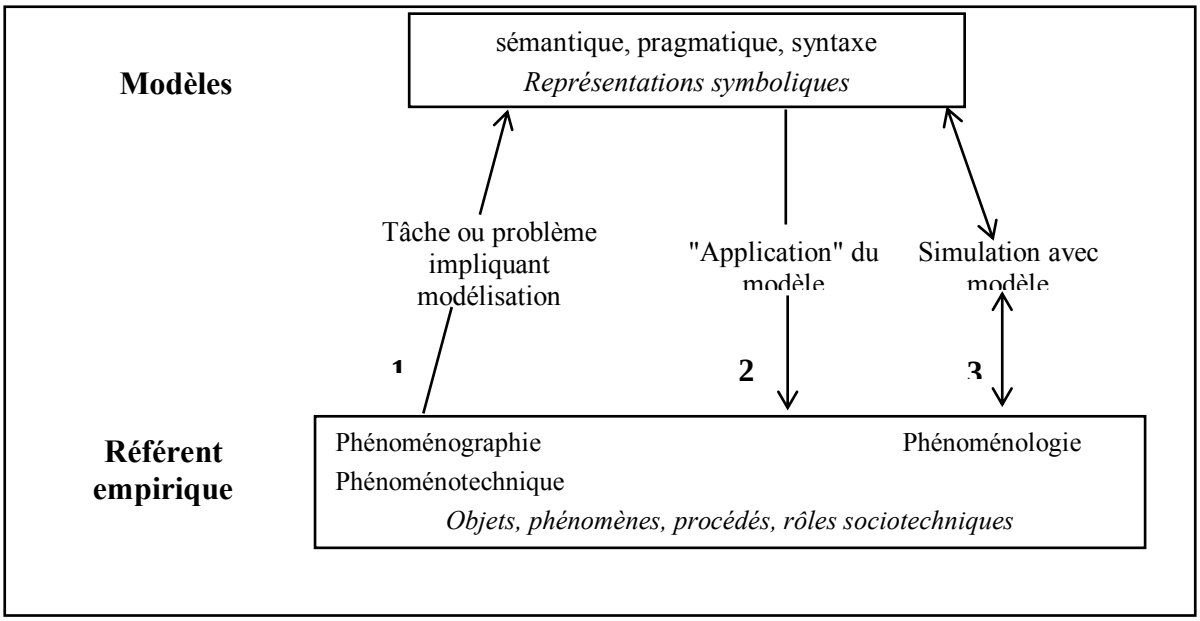
Nous avons donc établi que les caractéristiques et les propriétés des modèles dépendent, en dernier analyse, des représentations et des conceptualisations du sujet relatif à la réalité visée par le modèle. Dit autrement, les caractéristiques et les propriétés des modèles dépendent du contenu du « référent empirique »[27]. A cet égard une des questions principales à laquelle cette recherche se propose de répondre est de savoir quel est le réfèrent empirique sous-jacent aux modèles suggérées ou explicités par les élèves : quels organes, quels phénomènes, quels processus et quelles représentations sous-tendent la modélisation des élèves.

[27] Toute démarche de modélisation doit donc être concernée, en premier lieu, par la définition et la délimitation du « référent empirique ». D'où la « responsabilité didactique dans le choix et la définition du référent empirique » (Martinand, 2005, p. 179).

1.2.2. Relation « modèle »/« référent empirique »

Les idées précédentes peuvent être précisées à l'aide du « schéma de la modélisation » proposé par Martinand pour la scolarité de base. Le schéma en question a déjà été utilisé dans des nombreuses recherches pour « penser les problèmes de construction et de pilotage, de séquences d'enseignement et même de curriculums complets centrés sur la modélisation » (Martinand, 2005, p. 185). En tant qu'outil, le schéma de la modélisation permet « de dégager des idées-forces et des questions clés : Quelle tâche directrice ? Quel point de départ ? Quel point d'appui ou précurseur dans la vision du monde et l'outillage intellectuel déjà disponible pour que les apprenants ''rentrent dans le jeu'' et participent au ''bricolage des modèles'' » (*ibid*. p, 186).

Figure 2. Schéma de la modélisation adapté aux niveaux de l'école élémentaire et du collège (Martinand, 2007)



Nous retrouvons dans le schéma ci-dessus les deux registres exposés précédemment, à savoir le registre du « référent empirique » et le registre des « modèles ». Le registre du « référent empirique » a déjà été discuté. Rappelons seulement que ce registre ne comprend que des objets mais aussi des connaissances et des « savoirs manipulatoires » (Martinand, 2003) étant associés à ces objets. Le « modèle » constitue donc la synthèse de ces éléments.

Quant au deuxième registre, celui des « modèles », Martinand (2005) y place l'ensemble d'« exigences qui n'ont pas de solutions » dans le registre du référent empirique. Il se rapporte sur ce point à Bernard Walliser (1977) qui, par analogie avec la linguistique, définit trois types de problèmes relatifs aux modèles : des problèmes syntaxiques, des problèmes sémantiques et des problèmes pragmatiques. Chez Walliser chacun de ces aspects renvoie

respectivement, de manière très générale, aux caractéristiques formelles, au niveau d'abstraction et aux utilisations possibles des modèles. L'aspect sémantique caractériserait, dans la conception de Walliser, le degré d'abstraction du modèle par rapport au référent. Cet aspect, à savoir la « distance » modèle-réfèrent, constitue un élément auquel nous nous intéressons dans le cadre de cette recherche : c'est-à-dire à l'écart entre le modèle fonctionnel repéré chez les élèves et le réfèrent à propos duquel ils sont interrogés.

Chez Martinand (2005, p.180) ces aspects se traduisent par des questions plus concrètes vis-à-vis de la recherche en didactique : quelles sont les exigences, les problèmes, les visées qui n'ont pas de solutions dans le registre du référent empirique et qui ont amené à la construction des modèles ? Quelles sont les théories éventuelles, les outils symboliques utilisés ? Quelles sont les significations construites, les conditions d'utilisation, le champ de validité du modèle ou des modèles ? Le registre des modèles comprend ainsi « les enjeux, les systèmes symboliques, les ressources qu'apportent ces aspects du modèle pour questionner le référent empirique, se représenter, expliquer, prévoir, inventer » (*ibid.*, p. 181). L'ensemble de ces éléments doit amener le chercheur à construire des modèles capables à la fois d'anticiper (axe 2) et de simuler (axe 3) certains des comportements du référent empirique en fonction de certains objectifs : les axes 2 et 3 définissent ainsi le champ de validité du modèle.

Toutefois, sans pour autant ignorer ces deux dimensions, la problématique de notre recherche est principalement comprise dans les articulations possibles entre les deux registres à travers la notion de « tâches ou problèmes impliquant modélisation ». Cette notion (axe 1) recouvre la question de savoir « quels sont les processus de modélisations que les élèves peuvent prendre en charge, en tout ou en partie, et non les modèles plus ou moins "arrangés" que nous pouvons leur présenter au nom de la science ou des programmes » (Martinand, 2005, p.181). Une des contributions didactiques fondamentales de cette recherche se trouve ainsi sur l'axe 1.

En effet, comme nous l'avons déjà évoqué, il y a une réelle nécessite en didactique de la technologie de s'intéresser au « référent empirique » accessible aux élèves afin de développer des activités d'enseignement-apprentissage, c'est-à-dire aux objets, conceptualisation et représentations disponibles aux élèves. C'est également dans cette perspective que nous reprenons à notre compte l'approche de la modélisation de Martinand et son rapport avec la conception d'activités dans et pour l'enseignement de la technologie.

1.2.3. Conclusion – Processus de modélisation

Rappelons que le modèle ne porte pas sur la réalité mais sur ce que cette dernière évoque dans l'esprit de l'individu modélisateur, à savoir le réfèrent. S'intéresser aux représentations et aux conceptualisations des élèves à propos du fonctionnement des systèmes numériques est donc une manière de rendre compte du référent à partir duquel ils construisent leurs modèles fonctionnels de ces systèmes. Les modélisations fonctionnelles des élèves seront, en effet, plus ou moins adaptés à la description du comportement des systèmes numériques en fonctions de la pertinence de leurs représentations et de leurs conceptualisations de la réalité modélisée. De ce point de vue, l'approche de la modélisation nous fournit un cadre pour interroger le contenu des modèles et le processus de modélisation à partir desquels les élèves de collège rendent compte du fonctionnement des objets et systèmes numériques contemporains.

Du point de vue du « registre du référent empirique », cette recherche nous permettra donc d'interroger les connaissances, représentations, conceptualisations des élèves par rapport à la structure et le fonctionnement des systèmes numériques retenus. À partir donc des « formes de rationalité » (Martinand, 2005) repérées chez les élèves, cette recherche veut contribuer, du point de vue du « registre des modèles », à la définition des problèmes et activités accessibles aux élèves plus qu'à mieux préciser les buts et les enjeux des situations d'enseignement concernant l'apprentissage du fonctionnement des systèmes numériques contemporains. Dans une perspective curriculaire, cette recherche permet d'envisager, enfin, des activités possibles pour les collégiens dans la découverte et la compréhension de ces objets et systèmes numériques.

1.3. Et l'élève, comment approche-t-il les systèmes ?

Les sections précédentes ont montré que l'analyse des objets ou systèmes numériques relève d'une complexité non négligeable. Il s'agit effectivement de mettre en relation la structure du système avec l'ensemble de ses fonctions (de service, techniques), mais aussi de prendre en compte les flux d'entrée et de sortie au système (de matière, d'énergie, d'information), l'ensemble de ces considérations renvoyant à la question de la délimitation des frontières. Rien de cela paraît être évident pour le non-spécialiste, cela l'est encore moins pour les élèves. La question que nous voulons aborder dans cette partie est justement celle de savoir quels sont les constats de la recherche par rapport à la manière dont les élèves abordent

spontanément l'ensemble de ces problématiques : existe-t-il une pensée systémique spontanée chez les élèves ? Quelles frontières d'analyse établissent-ils ? Quelles fonctions identifient-ils ? Voyons qu'est-ce que dit la littérature à cet égard.

L'ensemble des définitions de la notion de système convergent vers le fait que la principale caractéristique d'un système tient à ce que son comportement (ou fonction) global(e) ne peut pas être localisé dans ses parties constituantes. Cette idée est résumée dans la formule « l'ensemble est supérieur à la somme des parties » (Bertalanffy, [1968] 2012, p. 53). De ce point de vue, juger de si un élève manifeste ou ne manifeste pas une approche systémique face à une situation donnée tient donc principalement à l'observation de si l'élève en question reconnait et met en avant que « l'ensemble est supérieur à la somme des parties ».

En effet, Ing (2013, p. 527) précise en ce sens que « l'intérêt de développer une approche systémique [chez les élèves] est de mettre en évidence le tout, les parties, et leur relation ». Certains auteurs considèrent à cet égard que sans le développement d'une approche systémique, les élèves seraient condamnés à ne pouvoir décrire que les caractéristiques de surface de ces ensembles (Booth Sweeney et Sterman, 2007). En outre, dans la mesure où les systèmes technologiques contemporains présentent un niveau d'abstraction particulièrement élevé, on doit reconnaître avec Sullivan (2008) que plus les élèves développeront une pensée de type systémique, plus ils seront capables de comprendre la structure et d'identifier les relations causales et fonctionnelles des systèmes contemporains (Pérez & Lebeaume, 2015).

Certains auteurs défendent toutefois l'idée que « les enfants ont une pensée systémique naturelle capable de reconnaitre des interdépendances et des interconnexions bien avant qu'ils soient en contact avec ces concepts dans l'enseignement scolaire » (Brown et Campione, 1994 ; Senge et al., 2000, cité dans Booth Sweeney & Sterman, 2007, p. 285). Qu'il s'agisse d'un « pensée naturelle » nous semble pour le moins discutable. Néanmoins, nous ne nous opposons pas ici à l'idée qui voudrait que la grande majorité de nos élèves arrivent à l'école avec certaines connaissances qui viendraient conforter une pensée qu'on pourrait appeler de « systémique-élémentaire ».

En effet, dans un entourage domestique et urbain bien garni d'une large variété de systèmes de toutes sortes, nos actuels élèves ont pu interagir dès très tôt avec des objets de complexité structurelle et fonctionnelle variées tels que le lit, les draps, les portes, les vêtements, les chaussures, le robinet, les jouets, le vélo, les appareils ménagers, etc. Ces interactions ont sans doute constitué pour nos élèves leur tout premier accès — perceptif — aux univers des mécanismes, des interconnexions, des contacts, des fonctions (« ça marche »), des

dysfonctionnements (« ça ne marche pas »), de fonctionnement conditionnel (ça marchera si …). Par conséquent, un enfant possédant des jouets électriques par exemple, a pu comprendre très tôt que si on enlève la batterie du jouet en question, alors ce dernier ne fera plus ce qu'il faisait initialement ; qu'une poupée sans bras et qu'un camion sans roues sont incomplets du point de vue de leur structure initiale ; qu'un livre a toujours des feuilles (pages) attachées les unes aux autres et qui se succèdent toujours ; que les robinets s'ouvrent et se ferment toujours selon des mouvements précis ; et ainsi bien d'autres régularités structurelles et fonctionnelles que l'enfant découvre et intègre en interagissant avec son environnement.

Ces interactions, ludiques et élémentaires, mais pleinement conscientes, ont permis à l'enfant d'accéder perceptivement à ce que le langage formalisera pour lui plus tard sous les termes de « tout », de « parties », de « structure », d'« interaction », de « mécanisme », de « fonction », de « fonctionnement », etc. Bien qu'il ne s'agisse pas des connaissances explicitables par l'enfant, nous pouvons considérer que ce fondement structuro-fonctionnel construit avec l'expérience, constituera l'échafaudage sur lequel il pourra bâtir plus tard, avec l'aide et l'influence de l'enseignement, l'un des concepts considérés aujourd'hui comme concept fondamental dans les domaines des sciences et de la technologie, à savoir le concept de système (Barak & Williams, 2007 ; Booth Sweeney & Sterman, 2007 ; Keynan, Assaraf, & Goldman, 2014 ; Koski & de Vries, 2013 ; Svensson & Ingerman, 2010). L'enfant, comme conséquence des expériences préalables, arriverait alors à l'école de base avec une pensée empirique qui viendrait déterminer le contenu et les contours de ce que Vygotski appelle la « zone proximale de développement » et qui, par définition, faciliterait le développement d'une pensée plus élaborée dont les notions d'éléments, de structure, de fonction, d'interdépendance et notamment de système constituent le centre.

La littérature consultée suggère effectivement que la pensée de l'enfant n'est pas complètement étrangère à la notion de système et ses correspondances notionnelles. Les recherches sous-entendent que les enfants n'ont pas de difficultés particulières dans la compréhension de ce qu'est un système, ni dans l'identification, ni dans les analyses les plus élémentaires de ses éléments et ses connexions (Booth Sweeney & Sterman, 2007 ; Keynan, Assaraf, & Goldman, 2014 ; Koski & de Vries, 2013 ; Svensson & Ingerman, 2010 ; Sullivan, 2008). Selon les travaux ici cités, face à une machine à café, à un robot, à un téléphone portable, ou à un lave-linge, les élèves, de manière générale, explicitent sans difficulté qu'il s'agit d'« un tout » constitué « des parties », possédant une « structure » et assurent un « fonctionnement donné » : le système, en tant qu'assemblage d'éléments subordonnés à une fonction paraît être une définition assez proche de l'univers conceptuel des élèves. Plus

particulièrement, Ortnas (2007, cité dans Hallstrom, Klasander & Svensson, 2012, p. 203), intéressé par la manière dont les élèves de collège se représentent les systèmes technologiques proches de leur expérience, conclut qu'« avec un peu d'aide, ils peuvent [les élèves] comprendre comment fonctionnent le système de téléphonie mobile, le système de collecte des déchets et la machine à laver, au moins sur ce qui relève de la structure et sur comment ils sont liés à d'autres sous-systèmes et aux humains ». Ces résultats sont proches de ceux de Koski et de Vries (2013, p. 847), qui constatent que les élèves (8 ans et 10 ans), avec l'aide de l'enseignant, mais sans enseignement préalable, comprennent facilement que, dans un lave-linge, « il existe des parties qui fonctionnent à l'intérieur d'autres parties ou encore que le fonctionnement du système suit une série d'étapes bien déterminées. Dans le domaine de la robotique, Sullivan (2008), après quelques séances de travail dans la conception et la mise au point de robots, constate que les progrès les plus remarquables dans la pensée de ses élèves (12 ans) sont justement dans le développement d'une vision plus pertinente du « système robot ».

Cependant, il ne suffit évidemment pas de distinguer le « tout » des « parties » et la « structure » de la « fonction », pour assurer une pensée systémique : « pour comprendre ces ensembles, explique Bertalanffy en parlant de systèmes, il faut connaitre non seulement leurs éléments mais aussi leurs relations » (2012, p. xv). Or, tout en reconnaissant la complexité des dispositifs présentés aux élèves, les recherches citées précédemment, montrent que les enfants ne tiennent compte que des éléments et des connexions les plus évidents du système et se concentrent davantage sur les actions exécutées par le système que sur les interactions de ces éléments. Ainsi, Svenssson (2011, cité dans Hallstrom, Klasander & Svensson, 2012, p. 203), remarque que les élèves ayant participé à sa recherche, tout en décrivant « assez bien » la structure d'un système donné, ont des difficultés quant à la compréhension de la manière dont les composants interagissent entre eux.

Dans le même ordre d'idées, Keynan, Assaraf, et Goldman (2014) ainsi que Koski et de Vries (2013), constatent que les enfants ont des difficultés lorsqu'ils doivent exposer les interconnexions des parties et sous-parties ou bien lorsqu'ils doivent décrire précisément la manière dont les éléments du système interagissent entre eux. Sullivan (2008) remarque également que l'explicitation de l'ensemble de relations fonctionnelles et causales est une opération difficile pour les élèves. Koski et de Vries (2013), constatent aussi que les élèves ne distinguent pas ce qui relève de la notion de « processus » de ce qui relève de la notion de « système » et confondent de ce fait — i.e. confondre le système « lave-linge » du processus « laver le linge ». Cette confusion, remarquent ces auteurs, empêche les élèves de comprendre

qu'un système peut avoir plus d'une fonction et de définir les « frontières » du système étudié. Remarquons, enfin, que certains travaux signalent la difficulté que représente pour les élèves entre 12 et 15 ans, la « généralisation » des systèmes étudiés à d'autres, sous la base des caractéristiques structurelles et fonctionnelles relevées (Booth Sweeney & Sterman, 2007 ; Koski et de Vries, 2013 ; Keynan, Assaraf, & Goldman, 2014).

Conclusion-pensée systémique chez l'élève

Dans la mesure où les enfants savent qu'un simple agrégat d'éléments ne constitue pas un système, leur pensée spontanée n'est pas étrangère à cette notion ainsi qu'à quelques-uns de ses attributs principaux. Les élèves sont en ce sens capables de manipuler les notions d'« éléments », ou « composants », de « tout », de « parties », ainsi que celles de « structure » et de « fonction ». Néanmoins, la littérature s'accorde de manière générale pour admettre que, face aux différents systèmes, les élèves se focalisent davantage sur les éléments et les actions isolées que sur les liens entre les éléments, la nature de ces liens et les interactions engendrées. C'est pourquoi nous exclurons de notre propos que la pensée des élèves présente les traits d'une pensée systémique.

L'ensemble des travaux consultés suggèrent finalement que la pensée des élèves se limite à la description des caractéristiques les plus superficielles et les plus évidentes des systèmes. Cela explique pourquoi les élèves manifestent moins de difficultés dans la compréhension de l'arrangement spatial des éléments (la structure), car visibles, et ont plus de difficultés lorsqu'ils doivent tenir compte de l'arrangement temporel des éléments et des interactions (les processus). Les recherches ici évoquées remarquent également que la pensée des élèves ne fonctionne que « dans un sens », et elle est donc caractérisée comme une pensée « unidirectionnelle » (Booth Sweeney & Sterman, 2007). Ce type de pensée se manifeste essentiellement par le fait que les élèves explicitent rarement des processus ou des sous-ensembles interdépendants. Il est enfin remarquable que les notions de « boucle » ou de « feedback » soient moins présentes dans la pensée des enfants (Svensson & Ingerman, 2010).

1.4. Processus de conceptualisation

Nous sommes intéressés dans cette recherche par les questions concernant les composants, les relations, les processus, les phénomènes et les propriétés identifiés par les élèves afin de rendre compte du fonctionnement des systèmes numériques qu'ils utilisent. En d'autres termes, nous sommes intéressés à leurs conceptualisations du fonctionnement des systèmes numériques proposés. Dans les lignes qui suivent nous évoquons essentiellement l'approche de la conceptualisation dans la perspective développée par Gérard Vergnaud (1981), c'est-à-dire la conceptualisation en tant que processus d'identification d'objets, de leurs propriétés et de leurs relations. Préalablement à cela, nous faisons allusion à la conceptualisation du point de vue linguistique et à la conceptualisation développée par Vygotski, notamment à la distinction entre concepts quotidiens et concepts scientifiques.

Les principaux objectifs poursuivis dans le cadre de cette partie sont, d'une part, de souligner la place centrale de la notion de représentation à la fois dans le processus de conceptualisation et dans la régulation de l'activité des élèves. Selon l'approche qui sera exposée par la suite, « *la fonction principale de la représentation*[28] *est de conceptualiser le réel pour agir efficacement* » (Vergnaud, 1981, p. 245). De ce point de vue, le texte qui suit tente de montrer que c'est, en fin de compte, « l'analyse du contenu des représentations et de leur niveau de généralité ou d'abstraction qui donnera la clé pour comprendre les différences entre raisonnements » (Le Ny & Gineste, 1995, p. 516). Il s'agit également d'insister ici sur la relation fondamentale entre *concept*, au singulier, et *situations*, au pluriel, c'est-à-dire de remarquer que le contenu et le caractère opératoire qu'un élève attache à un concept donné dépend fondamentalement de la variété des situations dans lesquelles il a pu effectivement l'utiliser. Nous terminerons enfin cette section en abordant la notion de « champ conceptuel » afin de formaliser l'idée que le développement de la conceptualisation chez l'élève se fait à l'intérieur d'un champ conceptuel donnée, à savoir dans sa relation avec la triade concept-situations-opérations.

1.4.1. Approche de bas niveau

L'approche de la conceptualisation telle que nous la propose Vergnaud est hautement théorisée, voire, justement, fortement conceptualisée. Avant de développer une telle

[28] La principale critique de Vergnaud au behaviorisme par du constat que ce courant a voulu de se débarrasser du concept de représentation, alors que « c'est l'objet principal de la psychologie. Quelle erreur d'appréciation ! » (Vergnaud, 2007, p.37).

perspective, il est donc pertinent de définir l'activité de conceptualisation selon une approche qu'on peut désigner comme étant de « bas niveau ». Il s'agit de définir la conceptualisation premièrement comme une « opération commune à toutes les langues qui consiste à partir d'un signifié qu'une langue donnée véhicule, à l'appréhender comme une entité » (Martin, 2011, p. 66).

On comprend que dans cette perspective conceptualisation et signification, ainsi que concept et mot sont confondus. Dans cette approche, en effet, la « conceptualisation » désigne simplement le processus d'élaboration et d'utilisation des « concepts » d'une langue. Il s'agit en ce sens d'une activité de catégorisation, de généralisation et d'abstraction sous-jacente à la fois au langage et à la pensée (Martin, 2011). Le concept est donc fondamentalement compris comme un outil dont la fonction est de permettre à la pensée et au langage de se détacher de l'expérience sensible, compte tenu de son contenu abstrait et de sa fonction catégorielle et généralisatrice.

Cependant, cette approche de la conceptualisation présente l'inconvénient de considérer que l'ensemble des concepts ont une origine et une fonction équivalente. Surtout, cette approche de bas niveau ne distingue pas le « mot », imprécis et contextualisé, du « concept scientifique » en principe précis et universel. Enfin, dans cette perspective on considère que toute pensée est une pensée conceptuelle.

1.4.2. La conceptualisation chez Vygotski

En revanche, précise Vygotski ([1937] 1998), « en soi l'apprentissage des mots et leur rattachement à des objets n'entrainent pas la formation d'un concept » (p. 195). Dans la perspective de Vygotski, d'une part on ne peut parler de « pensée conceptuelle » que si cette dernière est capable d'opérations de catégorisation, d'analyse et d'abstraction[29] et d'autre part, tous les concepts impliqués dans les opérations de pensée ne sont pas équivalents. En effet, Vygotski distingue deux processus de conceptualisation : la conceptualisation sous-jacente à la formation des « concepts scientifiques » et la conceptualisation spontanée opérée sur des « concepts quotidiens », ces derniers étant acquis par l'enfant dans le cours de son expérience selon des rencontres non-systématiques et non-médiatisées.

Dans la perspective vygotskienne il y aurait donc d'une part les « concepts quotidiens », ceux

[29] Pour Vygotski ([1937] 1998) il n'y a pensée conceptuelle que si cette dernière est capable d'opérations de catégorisation, d'analyse et d'abstraction. Avant d'être conceptuelle, Vygotski constate d'abord chez l'enfant une « pensée par tas », constituée de groupes « de liaisons subjectives » sans généralisation ni structure logique, puis une « pensée par complexes », où il y déjà généralisation mais où l'abstraction et la logique sont toujours attachées à la perception concrète de l'enfant.

dont l'apprentissage est spontané et non-institutionnalisé et, d'autre part, les « concepts scientifiques », ceux dont l'apprentissage est à la fois organisé et médiatisé par l'enseignant, ou l'enseignement en général. La distinction établie par Vygotski ([1937] 1998) entre concepts quotidiens et scientifiques réside fondamentalement : (1) dans le processus de genèse de chacune des modalités (genèse spontanée *vs.* genèse médiatisée) ; (2) dans l'organisation et les relations plus ou moins structurées du contenu du concept (organisation partiellement structurée et non-hiérarchisée *vs.* organisation structurée et hiérarchisée) ; et (3) dans le degré de conscience et de maitrise que l'enfant a de la fonction du concept et des situations dans lesquelles le concept s'applique (non-conscient et non-systématique *vs.* conscient et systématique).

À la différence des concepts quotidiens, les concepts scientifiques se caractérisent donc par être organisés dans des systèmes bien définis et structurés. De manière plus importante encore, à l'opposé des concepts quotidiens, l'emploie des concepts scientifiques chez l'enfant relève d'un caractère conscient. En revanche, notons avec Brossard (2008, p. 76) que « chaque groupe de concepts a sa force et sa faiblesse : les concepts quotidiens sont ''forts'' en ce qu'ils sont saturés d'expériences concrètes […] mais ils ont un faible degré de généralité (là est leur faiblesse). Inversement les concepts scientifiques ont un haut degré de généralité et sont mis en œuvre consciemment et volontairement (là est leur force) mais au moment de leur transmission, du fait de leur pure généralité, ils ne permettent pas encore de conceptualiser les expériences concrètes (là réside leur faiblesse) ».

De plus, à contrario des concepts quotidiens, la formation des concepts scientifiques résulterait d'une action finalisée. Leur caractère opératoire doit se circonscrire à des classes de problèmes et des situations aussi bien définies. En raison de ces éléments, Vygotski – ainsi que Vergnaud – accorde une importance particulière à la médiation de l'adulte dans le développement de la conceptualisation scientifique chez l'enfant. Car, en effet, « il faut que le sujet de l'expérience rencontre un problème qui ne peut être résolu qu'à l'aide de la formation de concepts pour qu'apparaisse ce processus » (Vygotski ([1937] 1998, p. 195). Or ces rencontres à l'origine de l'apprentissage des concepts scientifiques doivent être médiatisées et se traduisent chez l'enfant par un long et coûteux processus d'apprentissage.

A la différence donc de la perspective de bas niveau, la conception de la conceptualisation chez Vygotski nous permet de distinguer lors de l'analyse des productions des élèves l'emploi des simples « mots » du lexique, à savoir des unités lexicales imprécises et dont le contenu reflète des usages quotidiens, de l'emploi des concepts scientifiques, à savoir des unités

lexicales précises et dont le contenu se circonscrit à la fois au domaine et à la situation interrogée. Cette distinction nous permet plus précisément de distinguer dans les réponses des élèves ce qui relève d'une activité de lexicalisation de ce qui relève d'activité de conceptualisation, au sens de concepts scientifiques.

1.4.3. La conceptualisation chez Vergnaud

Tout en reconnaissant l'utilité épistémologique de la distinction entre concepts quotidiens d'un côté et concepts scientifiques de l'autre, certains chercheurs (Vergnaud, 1989, 2002, 2007a), considèrent toutefois qu'elle devient « excessive » lorsque Vygotski en fait une opposition. Pour Gérard Vergnaud il n'y a, en effet, que des « concepts », tous issus d'un seul et même processus de « conceptualisation ». Vergnaud (1989) remarque effectivement que tant dans la connaissance de relations de parenté — Vygotski utilise le concept de « frère » afin d'illustrer la genèse et la fonction des concepts quotidiens — que dans la connaissance scientifique, la conceptualisation repose sur un même processus, à savoir le processus d'« identification des objets du monde, de leurs propriétés et relations que ces objets soient directement accessibles à la perception ou totalement construits par le sujet » (p. 112).

L'approche de la conceptualisation chez Vergnaud, celle à laquelle cette recherche s'attache particulièrement, est effectivement de nature différente. Chez Vygotski ([1931] 2014), concerné davantage par le langage, la préoccupation centrale est celle de la « signification ». Or chez Vergnaud (1995) la préoccupation centrale est celle des prérequis du « raisonnement ». A la lumière de l'épistémologie génétique et de la psychologie cognitive, Vergnaud cherche à mettre en évidence comment les enfants s'approprient des connaissances mathématiques (Brousseau, 2007). Ce à quoi s'intéresse Vergnaud (2007a, p. 30), plus précisément, ce sont « les raisons principales des réussites et des erreurs » derrière les raisonnements mathématiques des enfants[30] : où résident les difficultés des enfants dans l'apprentissage de tel ou tel concept ? Quelles relations l'enfant établit-il entre ces concepts ? Dans quelles situations les mobilise-t-il ?

La théorie de la conceptualisation développée par Vergnaud (1981, 1989, 1990, 1995, 2000, 2002, 2007a, 2009) trouve donc ses fondements dans des observations d'enfants en situations de résolution de problèmes[31]. Parmi ces observations, trois sont capitales[32]. D'un côté,

[30] En se penchant sur ces aspects, Vergnaud « prend pour objet d'étude les objets mêmes que doit étudier le didacticien » (Brun, 2007, p. 65).

[31] Les analyses de Vergnaud portaient sur des études qui « consistaient à confronter les élèves à des taches soigneusement conçues et à modéliser leurs procédures » (Laborde, 2007, p. 69).

Vergnaud constate que le raisonnement de l'enfant face à des situations semblables n'est pas toujours subordonné à des opérations mentales logiques, comme l'avait envisagé Piaget, mais que son raisonnement semble être guidé par une organisation structurée et structurante de la pensée de l'enfant, organisation qu'il désigne sous le nom de « schème »[33]. Parler de schème « c'est sans doute parler avant tout d'invariant opératoire » (Sensevy, 2007, p. 41). Vergnaud remarque, en effet, que l'organisation de la pensée de l'élève a pour propriété d'être « invariante » face à des situations d'une même classe. Vergnaud (2002) comprend ainsi le schème comme « une organisation invariante de l'activité pour une classe de situations définie ». Ces éléments conduisent au chercheur (1990) à conclure que c'est « dans les schèmes qu'il faut chercher les connaissances-en-acte du sujet, c'est-à-dire les éléments cognitifs qui permettent à l'action du sujet d'être opératoire » (p. 136). Notons que, dans cette perspective, l'erreur peut être interprétée comme le résultat de l'évocation d'un schème familier mais non adapté à la situation.

De l'autre côté, Vergnaud constate que le raisonnement chez l'enfant est souvent « entravé » par des considérations non-pertinentes faites sur les éléments de la situation. Il s'agit de propositions tenues pour vraies par l'enfant face à un problème donné alors qu'elles ne le sont pas vis-à-vis de la discipline. L'ensemble de ces propositions — qu'elles soient vraies ou fausses — sont désignées par Vergnaud sous le nom de « théorèmes-en-acte » et se fondent sur la représentation que l'enfant a de la situation (Vergnaud, 2002). Vergnaud constate enfin que la pertinence de la pensée de l'enfant est aussi fonction des « catégories » de pensée dont il dispose pour lire le réel, c'est-à-dire des concepts lui permettant de prélever l'information pertinente dans chacune des situations. Ces catégories sont désignées par Vergnaud sous le nom de « concepts-en-acte » et, comme tout concept, ne sont ni « vrais » ni « faux » : ils ne révèlent au sujet que ce que dans la situation est, de son point de vue, de l'ordre du « pertinent » ou du « non-pertinent » (Vergnaud, 2009). Notons, enfin, que les concepts-en-acte sont rarement explicités par les élèves car, comme on le verra par la suite, ils les construisent dans l'action.

L'ensemble de ces considérations conduisent Vergnaud vers l'idée que la différence principale entre les raisonnements des enfants tient à la « conceptualisation » qu'ils se font de la situation ou du problème qui leur est présenté. Dans son approche, la conceptualisation a un contenu psychologique précis : il s'agit d'un processus sous-tendu essentiellement par la

[32] Il s'agit des remarques faites à partir notamment des expériences de Piaget sur l'inclusion : « y a-t-il plus de fleurs ou de marguerites dans le vase ? », etc.

[33] Les notions de schème et d'invariant opératoire avaient déjà était introduites dans l'œuvre de Piaget, mais elles restaient disjointes dans sa théorisation (Sensevy, 2007).

formation de « schèmes » et d'« invariants opératoires », à savoir des « théorèmes-en-acte » — ce que le sujet tient pour vrai dans la situation — et des « concepts-en-acte » — ce que le sujet tient pour pertinent dans la situation. Le schème rend ici compte de la forme opératoire de la connaissance : il organise l'activité. Les invariants opératoires — concepts et théorèmes « en acte » — assurent au sujet la prise d'information pertinente (vis-à-vis du sujet) en fonction du problème à résoudre et du but à atteindre (Vergnaud, 2009). On comprend donc que c'est du côté des invariants opératoires que se trouve la représentation du réel.

Soulignons que le schème, de par son contenu épistémique, permet au sujet de distinguer ce qui est familier dans la situation de ce qui est nouveau (Vergnaud, 2002). Par conséquent, face à des situations nouvelles, l'élève, par exemple, n'est donc pas totalement démuni car son répertoire de schèmes est en mesure de lui offrir des ressources plus ou moins adaptées à la situation. Toutefois, il se peut aussi que les schèmes disponibles ne soient pas adaptés à la situation. Plus précisément, il se peut que les propositions et les catégories sous-tendant l'organisation de l'activité de l'élève – le schème – induisent ce dernier en erreur. Ces erreurs s'expliquent donc par l'inadéquation des schèmes mobilisés et, en dernière analyse, par l'inadéquation des théorèmes-en-acte et des concepts-en-acte mobilisés selon la représentation de la situation. Par exemple, si dans un dispositif à écran tactile l'élève se représente la détermination de la position relative doigt-icône comme une opération relevant d'une simple détection du doigt, alors le schème mobilisé dans sa pensée pour rendre compte de cette situation l'induit en erreur car il est fondé : (a) sur la proposition « c'est en détectant le doigt que le dispositif détermine sa position par rapport à l'icône » (théorème-en-acte) et (b) sur la catégorisation de l'opération dans le bloc fonctionnel « Détection » alors qu'elle appartient au bloc fonctionnel « Traitement » (concept-en-acte).

1.4.4. Conceptualisation et représentation

Soulignons à présent que la conceptualisation définie par Vergnaud –*processus d'identification des objets, de leurs propriétés et relations* – est un processus intimement lié à la représentation du sujet de la situation. Nous avons déjà évoqué, en effet, que dans cette perspective la fonction principale de la représentation est de conceptualiser le réel. Selon les mots de Vergnaud (1981), la représentation du réel serait « le noyau dur » de la conceptualisation, celui sans lequel ni les inférences, ni les règles d'action, ni les prédictions, ni les signifiants n'ont de sens. Cette représentation, toujours selon Vergnaud (1990), « ne doit pas être recherchée au niveau des symbolismes d'abord, mais au niveau des invariants

opératoires contenus dans les schèmes. C'est là que se situe la base principale de la conceptualisation du réel » (p. 168). L'exemple développé ci-dessus illustre bien cet aspect.

C'est d'ailleurs pourquoi la notion de schème a un rôle central dans la perspective de Vergnaud. « Les schèmes enfin. Si j'ajoute cette dernière composante, explique le chercheur (2007a), c'est parce que la représentation n'est ni simplement un dictionnaire ou une bibliothèque, ni même un ensemble de cellules garnies de marques comme la bande de la machine de Turing, mais *un ensemble dynamique de formes d'organisation de l'activité* » (p. 37). Cela implique que si le schème est au centre de l'organisation de l'activité, alors la représentation de la situation est au centre du schème. Cet aspect a des retombées méthodologiques importantes car dans la mesure où le schème se répète et se concrétise dans l'activité de l'élève, il devient une entité accessible au chercheur lui permettant ainsi d'inférer la représentation qu'a l'élève de la situation ou du problème en question. En conséquence, pour étudier la représentation et la conceptualisation des élèves on doit donc partir de l'étude des schèmes mobilisés dans une activité donnée, c'est-à-dire qu'il faut commencer par repérer la façon dont les élèves procèdent systématiquement face à une classe de situations.

En effet, en raison de son contenu épistémique — catégories de pensée, objets, prédicats, propositions —, le schème est sous-tendu par l'*identification* préalable des propriétés et des relations des objets de la situation. Or ce processus d'identification dépend justement de la représentation du sujet de la situation et de ses éléments. En outre « le schème n'a pas uniquement une fonction d'action sur le réel, mais aussi une fonction d'interrogation du réel » (Vergnaud, 2007a, p. 28). Or, dans la mesure où cette interrogation du réel c'est le sujet qui l'opère, elle est donc également dépendante de la représentation que se fait le sujet du réel en question. La représentation de la situation fait donc partie indissociable du schème et, de ce fait, en constitue une unité qui permet de la comprendre (Brun, 2007).

1.4.5. Conceptualisation et perception

Lorsque Vergnaud définit la conceptualisation comme un *processus d'identification*, il inclut dans son modèle théorique la perception du sujet. Selon le chercheur, (2007, p. 30), « parler d'identification c'est comprendre, dans le processus de conceptualisation, à la fois la perception (qui donne un accès relativement direct aux objets et à leurs propriétés) et la construction imaginaire d'objets, qui commence avec l'évocation des objets en leur absence chez le bébé, et qui va jusqu'à l'élaboration des grands concepts scientifiques comme ceux de force chez Newton, d'oxygène chez Lavoisier, d'évolution chez Darwin, de gène chez

Mendel, ou d'inconscient chez Freud ». Dans cette optique, la perception des composants, de leurs interactions temporelles et spatiales et des comportements émergeants de l'ensemble, est donc indispensable, par exemple, de la conceptualisation développée par l'enfant de la notion de système.

Vergnaud, (1995) généralise au fait que « la conceptualisation scientifique repose immanquablement sur la perception, l'action et le langage » (p. 522). Compte tenu des différences relatives à la manière dont les artefacts retenus dans cette recherche se présentent à la perception et à l'action des élèves, cette précision nous met en garde sur les éventuelles différences entre les modes de conceptualisation des élèves correspondants au Tableau Numérique Interactif et au Smartphone tactile. On constate que le modèle de la conceptualisation que nous propose Vergnaud, comme le souligne bien Weil-Barais (2007), « intègre des aspects qui sont traditionnellement séparés dans les recherches : la perception, l'action, les représentations et les modèles mentaux, les systèmes sémiotiques dont le langage. Sa conception de l'homomorphisme entre ces trois registres lui permet d'expliquer que le fonctionnement de l'un contribue à modifier et enrichir les autres » (p. 22).

1.4.6. Concepts-Situations-Activité

Il convient maintenant de préciser le caractère situé du processus de conceptualisation, c'est-à-dire le fait qu'il s'agit d'un processus entièrement lié aux activités et aux situations dans lesquelles il se développe. Mais quel lient peut-t-il avoir entre un *ensemble de situations* et la genèse des concept(s) ? Répondre à la question nécessite de prendre en compte un élément essentiel à la théorie de Vergnaud : *l'action* du sujet et, plus précisément, son *activité* [34]. En effet, Vergnaud conçoit l'*action* du sujet comme étant indissociable du processus de *conceptualisation* (Vergnaud, 2007)[35]. Il s'agit ici d'un des apports capitaux de l'œuvre de Gérard Vergnaud : la conceptualisation prend source dans l'action du sujet sur le réel et avec le réel (Pastré, 2007). Cet aspect révèle le caractère bidirectionnel intrinsèque au processus de conceptualisation avec le réel : agir suppose de conceptualiser et conceptualiser suppose d'agir (Sensevy, 2007).

[34] Nous utilisons la notion d'« activité » telle qu'elle conceptualisée dans la théorie de l'activité. Dans ce cadre, « l'action accomplie par l'homme […] fait partie d'un tout plus vaste, celui de l'activité d'une personnalité donnée, et ne peut se comprendre qu'en relation avec elle » (Rubinstein, 2007, p. 141). La catégorie « action » est ainsi subordonnée à celle d'« activité » (Leplat, 2008). Les actions y sont comprises comme les unités qui permettent à l'activité d'attendre son but final. Les buts et les motifs des actions ne peuvent se comprendre qu'à l'intérieur de l'activité dans laquelle ils s'exécutent.

[35] Dans la conception de Vergnaud, la pensée est un « geste » (Sensevy, 2007).

L'expression « en-acte » attachée par Vergnaud aux invariants opératoires du schème — théorèmes et concepts « en acte » — souligne justement que ces derniers se constituent et se structurent dans les activités auxquelles le sujet est invité par les situations. « Agir c'est toujours agir en situation », remarque Sensevy (2007, p. 42). Par voie de conséquence, « activité », « situation » et « conceptualisation » sont donc des catégories indissociables. Nous accordons une importance particulière à cet aspect car il met en évidence le fait que tant que l'élève n'est pas effectivement confronté aux activités et aux situations relatives au développement de la conceptualisation de tel ou tel domaine ou de tel ou tel concept, alors ce processus ne sera pas stimulé et son développement intellectuel, vis-à-vis du domaine et du concept en question, sera de ce fait compromis, et cela en dépit du développement cognitif de l'élève et de la complexité du domaine visé.

En effet, que le processus de conceptualisation soit ancré dans l'activité du sujet, implique que la genèse et le développement des catégories de pensée, des représentations, des propositions et prédicats impliqués dans la conceptualisation du réel, n'ont lieu que lorsque le sujet est confronté à des activités et des situations effectives, selon les contraintes et les exigences de ces dernières. Cela implique donc que, d'une part, ce soient les situations qui donnent la fonction et le sens aux concepts et, d'autre part, que « l'étude du développement d'un concept suppose une diversité de situations de référence » (Vergnaud, 1989, p.115).

Compte tenu de ces éléments, Vergnaud (1985, p. 248) propose de définir le concept comme étant « nécessairement un triplet de trois ensembles : C= (S, I, S)

S : ensemble de situations qui donnent du sens au concept.

I : ensemble d'invariants opératoires qui sont sous-jacents au traitement de ces situations par le sujet.

S : ensemble de signifiants (ou symbolisations) qui permettent de représenter les invariants, les situations, les procédures de traitement ».

En définissant le concept comme « invariant opératoire », Vergnaud pointe qu'il s'agit d'une entité psychologique dont la fonction est de participer à l'organisation de l'activité du sujet. Le caractère plus ou moins opératoire du concept est lié à son contenu épistémique. Or ce sont en fin de compte les situations qui vont préciser la fonction du concept. La référence aux situations devient donc « indispensable » (Vergnaud, 1981) dans la définition du concept. Précisons que l'ensemble des *situations* auxquelles fait référence Vergnaud doivent être comprises comme l'espace-temps qui justifie et coordonne chez l'élève l'exécution d'une

combinaison de taches (Brousseau, 2007) [36]. Sur ce point Vergnaud rejoint Brousseau (2007) pour qui une question fondamentale en didactique est celle de la correspondance « situation-connaissance ». C'est effectivement à travers des situations et des problèmes à résoudre qu'un concept acquiert du sens pour l'enfant. C'est pourquoi Vergnaud (2002) insiste sur le fait que « le premier acte de médiation de l'enseignant est celui du choix de la situation à proposer ».
La référence aux situations est d'autant plus indispensable que « le développement de connaissances d'un enfant se fait à travers un ensemble relativement vaste de situations entre lesquelles il existe des parentés (analogies, contrastes, variations) et pour l'analyse desquelles il faut faire appel à plusieurs concepts et à plusieurs types de symbolisations » (Vergnaud, 1985, p. 249). Le choix des situations est relativement difficile car il existe, pour un même concept, non pas une seule situation mais un ensemble vaste et différencié de situations. En revanche, cette identification, toujours selon Vergnaud, est « absolument nécessaire pour comprendre les représentations explicites et implicites de l'enfant : langagières, symboliques, purement intuitives, voire enfermées dans la gangue de la conduite non analysée des enfants » (1989, p. 113). De ce fait, Vergnaud (1989) propose concrètement à la didactique des disciplines un vaste programme dont le but est d'identifier clairement les situations de référence qui donnent du sens aux concepts. Notre recherche s'inscrit aussi dans cette perspective.

1.4.7. Champ conceptuel

Non seulement un concept renvoie à plusieurs situations mais, réciproquement, une seule et même situation renvoie à la fois à plusieurs concepts et à plusieurs opérations, le tout formant ce que Vergnaud (1990) désigne sous le nom de « champ conceptuel ». La *Théorie des champs conceptuels* peut être considérée comme l'aboutissement de la théorisation de Vergnaud à propos du processus de conceptualisation. La notion de champ conceptuel renvoie d'abord à l'idée de structure. Il s'agit d'une structure comprenant à la fois une classe de situations propres à un domaine donné *(électrostatique, thermodynamique, informatique etc.)*, à un groupe d'opérations ou des procédures rendent compte de ces situations et à l'ensemble

[36] La notion de « situation » chez Vergnaud ne renferme pas les attributs de celle de « situation didactique » développée par Brousseau. Selon Brousseau, Vergnaud « sépare très nettement les situations qu'il considère et qui sont des problèmes donnés à faire aux élèves, de la « mise en scène » qui – dit-il –relève de l' « art » didactique ». Il en résulte donc que les situations auxquelles fait référence Vergnaud dans sa théorie renvoient à la notion de « *milieu* où se tient l'action du sujet » (Brousseau, 2007, p.55). Chez Vergnaud une situation est donc généralement l'équivalent de problème mathématique, ce à quoi l'élève doit donner une solution. C'est aussi dans cette perspective que nous employons la notion de « situation ».

des concepts et des théorèmes qui permettent d'analyser ces situations comme des opérations propres au domaine en question (Vergnaud, 1990).

Un champ conceptuel se défini essentiellement par le contenu conceptuel du domaine et par l'ensemble de situations qu'il délimite. Cette approche, toujours selon Vergnaud (2007, p. 36) « donne un contenu concret à la zone de proche développement, contenu conceptuel par contenu conceptuel, tant il est vrai que le problème de l'appropriation des connaissances est très largement dépendant de ce contenu ». L'idée sous-jacente étant que la conceptualisation doit être comprise comme un processus progressif qui s'opère et devient opératoire à l'intérieur d'un champ conceptuel donné. Pastré (2007) la caractérise en ce sens comme une « théorie du développement dépendant des contenus est des domaines » (p. 81). L'intérêt pour la didactique disciplinaire est considérable car la réflexion en termes de champs conceptuels permet au didacticien « de repérer et d'étudier les filiations et les ruptures entre connaissances du point de vue de leur contenu conceptuel ; elle permet également d'analyser la relation entre les concepts comme connaissances explicites, et les invariants opératoires qui sont implicites dans les conduites des sujets en situation, ainsi que d'approfondir l'analyse des relations entre signifiés et signifiants (Vergnaud, 1990, p. 133).

Plus essentiellement encore, la théorie des champs conceptuels nous signale d'une part que la difficulté d'un problème dépend du champ conceptuel dans lequel il se pose, c'est-à-dire de la difficulté des situations, concepts et opérations associés au champ en question. D'autre part, la théorie des champs conceptuels nous dit que l'apprentissage, c'est-à-dire le développement des compétences et des connaissances (de l'apprenant), se fait toujours à l'intérieur d'un domaine donné : les compétences et connaissances ne sont pas forcément transposables d'un domaine d'expérience à un autre. Ainsi, par exemple, un enfant ayant compris en mathématiques comme calculer les coordonnées d'un point dans un repère orthonormé, peut ne pas être pour autant capable de transférer cette connaissance à la manière dont son Smartphone tactile détermine la position du doigt sur l'écran.

Enfin, la théorie des champs conceptuels nous éclaire, dans un sens, que ce n'est pas la structure logique du problème qui définit sa complexité mais son contenu conceptuel (situations, schèmes, invariants opératoires, concepts) et, dans l'autre sens, qu'il n'y pas de développement conceptuel chez l'apprenant dans un domaine donné si ce dernier n'est pas mis en situation effectivement avec le domaine en question. De ce fait, remarque Pastré (2007, p. 81), « un problème de consommation automobile et un problème de chaleur

massique, qui ont tous les deux la même structure : le 1er est résolu par 90 % d'élèves de seconde ou de 1ère année de BEP ; le 2e est résolu par 10 % des mêmes élèves ».

1.4.8. Conclusion-Processus de conceptualisation

La conceptualisation chez Vergnaud renvoie toujours à une activité d'élaboration et d'utilisation de concepts. Or il ne s'agit pas de l'usage de simples unités lexicales, c'est-à-dire à des mots, comme c'était le cas de l'approche de bas niveau présentée initialement. La conceptualisation chez Vergnaud ne se réduit pas non plus à l'opposition vygotskienne entre concepts scientifiques d'une part et concepts quotidiens de l'autre, bien que cette approche, en proposant une distinction épistémologique importante, se différencie fondamentalement de la première. L'approche de Vergnaud – celle qu'on retient dans cette recherche – met en avant la fonction cognitive du concept, à savoir son caractère opératoire dans l'activité du sujet[37].

Nous retenons donc de cette approche que :

- La conceptualisation est un processus subordonné et sous-jacent à l'activité du sujet.
- La représentation du réel est au centre du processus de conceptualisation.
- La perception du réel est une activité essentielle au processus de conceptualisation.
- Le contenu et la fonction du concept dépendent, en premier lieu, des situations auxquelles il s'applique.
- Un champ conceptuel est, par définition, la triade concepts-situations-opérations.
- Les connaissances et les compétences acquises dans un domaine d'expérience ne sont pas intégralement transposables à d'autres domaines d'expérience.

Nous avons signalé dans l'introduction de cette partie qu'une des raisons pour lesquelles nous sollicitons la théorie de la conceptualisation de Vergnaud tient au fait qu'elle avance l'idée que situations et concepts font un couple indissociable : ce sont les situations qui donnent du sens aux concepts et, réciproquement, ce sont les concepts qui permettent d'opérer pertinemment sur les situations. De ce fait, un des enjeux majeurs pour la didactique est donc de fournir aux disciplines un répertoire le plus représentatif possible des situations dans lesquelles l'élève peut développer l'apprentissage de tels ou tels concepts. Cette recherche s'inscrit pleinement dans cette perspective en ce sens où un de ces enjeux est, à partir des représentations et des conceptualisations repérées chez la population d'élèves interrogés, de contribuer à l'identification de situations favorables à l'apprentissage d'un certain nombre de

[37] La contribution de Vergnaud, en plus des grands apports théoriques dans le champ de l'épistémologie, a le mérite de détenir un fort caractère pragmatique (Pastré, 2007 ; Sensevy, 2007).

concepts comme « logiciel », « capteur », « information », « détection », « traitement ». A cet égard il ne faut pas oublier que la conceptualisation, comme tout apprentissage, doit être comprise comme un processus progressif qui se développe à l'intérieur d'un champ conceptuel donné.

L'approche que nous propose Vergnaud pour définir le processus de conceptualisation ne fournit pas seulement des outils théoriques pour notre recherche, elle a aussi des implications d'ordre méthodologique. En effet, on a signalé que les représentations doivent être inférées par le chercheur. Or la représentation dans l'approche de Vergnaud (1981, p. 9) est fonctionnelle, c'est-à-dire qu'elle a un caractère opératoire en ce sens que « les moyens utilisés par l'enfant, les chemins qu'il suit pour résoudre un problème ou atteindre l'objectif demandé dans une tâche scolaire donnée, sont profondément enracinés dans la représentation qu'il se fait de la situation ». La représentation constitue donc l'une des composantes internes de l'organisation invariante de l'activité, c'est-à-dire du schème. Compte tenu que le chercheur a accès au schème à partir de l'activité finalisée de l'élève, cela implique que « c'est le schème qui est la meilleure unité pour étudier la représentation » (Vergnaud, 1985, p. 250).

Cette recherche constitue en ce sens un exemple de l'utilité d'une telle démarche dans le sens où les résultats ici constitués correspondent fondamentalement aux invariants dans les analyses des élèves. En effet, comme ce sera développé dans la deuxième partie de cette recherche, nous avons modifié la forme de la question posée aux élèves à plusieurs reprises mais tout en visant dans la question la même situation (études N°2 et N°3 ; études N°4 et N°5). Sans anticiper la présentation des résultats, nous pouvons indiquer que nous repérons dans les réponses des élèves certaines variations mais aussi un certain nombre d'invariants, c'est-à-dire un certain nombre de schèmes de pensée ayant conduit les élèves à prendre ou à ne prendre en compte certains éléments de réponse. Ce sont ces invariants qui nous renseignent le plus à propos des représentations et des conceptualisations des élèves.

1.5. La Représentation

Nous aborderons dans cette section l'une des notions centrales de cette recherche, à savoir la notion de « représentation ». Nous allons aborder cette notion, dans un premier temps, à l'intérieur du champ de la didactique. Le but de cette première partie est de mettre en évidence un certain nombre de contradictions, des débats mais aussi des consensus relatifs aux propriétés des représentations des élèves et à l'utilité de leur étude du point de vue de l'enseignement. Nous y insisterons sur la terminologie employée, sur la variété des regards portés sur cette entité cognitive et, surtout, sur le fait qu'on lui associe un certain nombre d'attributs sans que, pour autant, ni sa définition, ni son rôle dans le système cognitif aient été l'objet d'un travail de clarification : ce qu'est une représentation va de soi dans la littérature consultée.

Cette section, dans un deuxième temps, interrogera la notion de représentations à l'aide des champs disciplinaires autres que la didactique. La deuxième partie de cette section mobilise donc un certain nombre de disciplines qui, tout comme la didactique, postulent l'existence des représentations et la placent au centre de leurs cadres épistémologiques et méthodologiques. L'objectif d'une telle démarche est de mieux conceptualiser cette notion en identifiant au mieux ces attributs ainsi que son rôle dans les processus de pensée. Nous proposerons enfin une définition de travail de la notion de représentation

1.5.1. La représentation en didactique des sciences et de la technologie : origines et stabilisation d'une notion

Un des éléments fondateurs de la didactique des sciences est la prise de conscience qu'il existe chez l'élève et chez l'étudiant des représentations ou des conceptions induisant ces derniers à des erreurs ou à des difficultés d'appropriation (Astolfi, Darot, Ginsburguer-Vogel, & Toussaint, 1997 ; Tiberghien, 2003). L'idée sous-jacente à l'ensemble de ces travaux est relativement simple : dans leur expérience langagière et phénoménologique, les élèves élaborent un certain nombre de représentations des concepts et des phénomènes qui, une fois confrontés à l'école avec des contenus et à des problèmes formalisés, peuvent les induire en erreur.

Cette corrélation, entre d'un côté l'erreur et de l'autre côté la représentation, semble avoir été formellement introduite dans les années 1970 dans l'article *Pédagogie et représentations* de Jean Migne (Caillot, 2001 ; Orange & Orange, 2013). Inspiré des travaux de Moscovici en

psychologie sociale, Migne définit la représentation comme une « forme de connaissance » (Migne, [1970] 1994). Or, en revendiquant une épistémologie piagétienne et bachelardienne, Migne postule que représentations et concepts scientifiques renvoient à des modes de connaissances ontologiquement distincts. Pour lui, le concept a une « fonction opératoire » et relève d'une logique de relations ; or la représentation n'a qu'une « fonction figurative » et relève d'une logique d'attributs. Par rapport au concept, « la représentation selon Migne traduit un déséquilibre des processus cognitifs » (p. 26). En ce sens, conclut le chercheur, « nous ne retiendrons qu'un aspect pédagogique découlant de l'étude des représentations : l'utilisation des erreurs des adultes en formation » (p. 28).

Depuis, comme le remarque Pastré (1994, p. 33), « adopter en didactique le point de vue du sujet, c'est tomber tôt ou tard sur la notion de représentation ». La question des représentations des élèves dans les travaux en didactique des sciences est effectivement une question relativement banale. Comme nous le verrons par la suite, ces travaux admettent de manière assez unanime, en premier lieu, que la prise en compte des représentations des apprenants constitue un des fondements méthodologiques principaux pour rendre compte des erreurs et des difficultés expérimentées chez l'apprenant face à un problème donné, en deuxième lieu, qu'un apprentissage réussi suppose une transformation ou abandon des représentations des élèves et, en troisième lieu, que les représentations des élèves se constituent le plus souvent en des « obstacles épistémologiques », en référence à Bachelard (Astolfi & Peterfalvi, 1993). Comme le remarquent en effet Orange et Orange (2013, p. 48), « quand il s'agit de penser les apprentissages des élèves et les dispositifs didactiques, la question des représentations des élèves et de leur évolution est ainsi souvent traduite en termes de dépassement d'obstacles ». C'est également la perspective défendue par Clément (2014, p. 136) pour qui « l'objectif de l'analyse des conceptions n'est pas de les juger fausses, mais d'identifier quels obstacles sont à l'origine de ces conceptions, afin de définir ensuite des objectifs-obstacles », notion définie et discutée par Martinand (1985).

Dans ce contexte, la notion de représentation s'est formellement érigée comme un des « pivots théoriques » de la didactique des sciences et de la technologie française (Martinand, 1990). La recherche et la prise en compte des représentations des élèves dans la conception des stratégies didactiques fait ainsi partie des évidences du domaine et « est largement intégrée dans les différents textes institutionnels » (Paba, Ginestié, & Agostini, 2013, p. 140). Une preuve de cela c'est que la consigne de relever et de prendre en compte les représentations des élèves dans l'enseignement constitue « la première trace explicite des recherches didactiques dans les programmes de sciences » (Orange & Orange, 2013, p. 46).

1.5.1.1. La représentation et ses propriétés : consensus et débats autour de ses attributs

Personne ne conteste aujourd'hui le fait qu'élèves et étudiants arrivent en cours avec des nombreuses représentations sur certains concepts et phénomènes visés par l'enseignement. En revanche, la recherche est bien moins unanime sur les propriétés et caractéristiques associées aux représentations des élèves. On distingue dans la littérature deux tendances correspondant à leur caractérisation. Certaines propriétés, comme leur robustesse ou résistance à l'enseignement ainsi que leur contextualisation ou subordination à un champ notionnel donné, semblent être largement partagées par l'ensemble des auteurs évoqués ci-dessous. En revanche, d'autres caractéristiques, comme le fait d'être des entités cohérentes et bien structurées, fait encore l'objet de débats.

En effet, premièrement, la littérature consultée est assez unanime sur le fait que les représentations des élèves *résistent* à l'apprentissage (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Balacheff & Gaudin, 2002 ; Brousseau, 1997 ; Chi, 2005 ; diSessa, 2013 ; Duit & Treagust, 2003 ; Givry, 2003 ; Joshua & Dupin, 1993 ; Migne, 1994 (1970) ; Özdemir & Clark, 2007 ; Pastré, 1994 ; Reiner, Slotta, Chi, & Resnick, 2000 ; Roth, 2008 ; Tiberghien, 2003 ; Vosniadou, 2013 ; Zirbel, 2004). Les tenants de cette perspective affirment que les représentations des élèves « tendent à perdurer, de façon quasi-inchangée, jusqu'au niveau de l'enseignement supérieur inclus, malgré une importante pression d'enseignement » (Astolfi & Peterfalvi, 1993, p. 105). Tiberghien (2003, p. 22) rajoute à ce propos que l'ensemble des recherches en didactique ayant étudié les représentations des élèves dans le domaine de l'électricité « montrent que, pour des questions associées aux circuits simples (générateur, ampoules ou résistors en série ou en parallèle) certaines des réponses obtenues sont semblables quel que soit le niveau des élèves, de la 6ème à la maîtrise ». Cette « résistance » des représentations est également constaté par Brousseau (1997, p. 18) pour qui « certaines des conceptions acquises ne disparaissent pas immédiatement au profit d'une conception meilleure. Elles résistent, provoquent des erreurs et se constituent ainsi en « obstacles ». La recherche anglo-saxonne parlera ainsi de « robustesse » (Chi, 2005 ; Vosniadou, 2013), soulignant de ce fait la difficulté rencontrée par l'enseignant lorsqu'il vise l'évolution dans l'esprit des élèves de certaines représentations (*misconceptions*) erronées. D'après Chi (2013, p. 56), la robustesse des représentations des élèves par rapport aux phénomènes thermiques, mécaniques, électriques et optiques « a été démontrée par littéralement plus d'un millier d'études ». De son côté, Vosniadou affirme que « chercheurs et enseignants sont déçus de voir que les *misconceptions* ne disparaissent pas facilement et cela même si l'élève constate qu'elles sont

erronées » (2013b, p. 25).

Malgré le consensus général ici évoqué, certains travaux avancent toutefois des résultats solidement construits allant à l'encontre de l'idée que les représentations des élèves résistent au changement et montrent, à l'opposé des positions précédentes, que les élèves abandonnent aisément leurs représentations initiales. C'est le cas par exemple de la recherche de Potvin et Thouin (2003). Cette dernière avait pour but d'interroger la notion même de conception « en tant qu'objet fertile », c'est-à-dire en tant qu'objet solidement ancré dans l'esprit des élèves et sur lequel il serait possible de fonder des stratégies d'enseignement. Les auteurs montrent toutefois que les représentations explicitées par les élèves sont très facilement abandonnées par ceux-ci. Leur étude consigne effectivement des nombreux épisodes où les élèves abandonnent complètement leurs conceptions, pourtant efficaces, soit après une simple intervention du chercheur, soit après que l'élève lui-même « fait une mauvaise prédiction dont la raison est... une faute de frappe ! » (p. 533). Les auteurs concluent en affirmant que la résistance ou robustesse associée aux représentations n'est pas confirmée par leur recherche. Ce constat est également partagé par Wells (2008) qui, à partir de l'étude d'une série d'extraits d'entretiens constate « la rapidité déconcertante avec laquelle les enfants peuvent produire des nombreuses représentations en très peu de temps afin de rendre compte des différents aspects du problème présenté » (p. 332).

Deuxièmement, la littérature citée ci-dessus laisse également transparaitre un second consensus, à savoir que les représentations des élèves ne sont pas universelles mais fortement contextualisées. Les différents auteurs s'accordent en effet sur le fait que la pertinence des représentations, le plus souvent, ne se définit que par rapport à une classe de situations et de problèmes. Cette dépendance des représentations du contenu et du domaine semble faire l'unanimité dans la communauté des chercheurs (Chi, 2005). Le caractère contextualisé des représentations avait déjà été remarqué dès leur introduction dans le domaine de la didactique française lorsque Migne caractérise ces dernières comme un « modèle personnel d'organisation de connaissances par rapport à un problème particulier » (1994 (1970), p. 23). Les représentations correspondent, dans cette conception, à « des explications, interprétations, ou prédictions produites dans une situation spécifique » (Tiberghien, 2003, p. 22). De manière générale, les différents auteurs ici cités s'accordent sur le fait que les représentations de définissent « localement », c'est-à-dire « domaine notionnel par domaine notionnel » (diSessa, 2013).

Deux points semblent donc faire consensus dans la communauté de chercheurs : ils

s'accordent à la fois sur le caractère local ou contextualisé des représentations et sur leur résistance à l'apprentissage. La première caractéristique, à savoir le caractère situé des représentations, est expliquée à partir de l'état des connaissances de l'élève par rapport à la situation ou le problème où la représentation est repérée. C'est la perspective défendue par Zirbel (2004) pour qui les représentations doivent être associées en premier chef « à l'état de compréhension des étudiants par rapport à la situation dont il est question » (p. 65). Néanmoins, nous proposerons une autre explication dans la deuxième partie de cette section. Quant à la supposée « résistance » des représentations à l'enseignement, nous avons repéré dans la littérature trois approches visant à rendre compte de cet aspect.

Les explications les plus classiques avancent la thèse selon laquelle les représentations résistent car elles seraient des objets stables et solidement ancrés dans l'esprit de leurs détenteurs (De Vecchi & Giordan, 2002 ; Demougeot-Lebel & Perret, 2008 ; Sinatra, 2005). Les supporteurs de cette position affirment, comme corollaire, que si l'on ne tient pas compte des représentations des élèves « le savoir proposé glisse à la surface des élèves sans même les imprégner » (De Vecchi & Giordan, 2002, p. 11). Sans pour autant négliger ce premier aspect, d'autres chercheurs avancent l'idée selon laquelle les représentations résistent à l'apprentissage car elles sont des modes de connaissances « opératoires » et « efficaces » pour l'individu (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Joshua & Dupin, 1993 ; Paba, Ginestié, & Agostini, 2013). Dans cette perspective, ce ne serait pas tellement l'ancrage des représentations dans l'esprit des élèves que leur caractère fonctionnel qui les rendrait si solides et résistantes. C'est la position défendue par Astolfi & Peterfalvi, pour qui « elles fonctionnent, chez lui [l'élève], comme un mode de connaissance parmi d'autres ; elles correspondent à un système d'interprétation cohérent des phénomènes scientifiques qu'il s'est construit de longue date, et qui pour lui "marche" (Jonnaert, 1988). C'est bien pour cela que les représentations résistent à l'enseignement et perdurent tout au long de la scolarité » (1993, p. 106).

Un troisième groupe de chercheurs présente des arguments moins classiques mais plus proches de notre conception (Chi, 2013 ; Chi & Roscoe, 2002 ; Reiner, Slotta, Chi, & Resnick, 2000 ; Vosniadou, 2013). Ces auteurs considèrent que si certaines représentations – notamment celles rattachées à des concepts scientifiques – sont si difficiles à éradiquer c'est bien parce que cela exige des changements fondamentaux au niveau ontologique. Le postulat implicite à cette approche se fonde sur l'idée de Lakof (1987) selon laquelle « attribuer des catégories ontologiques aux phénomènes constitue une compétence humaine fondamentale » (Chi, 2005, p. 164). Dans cette perspective, les représentations erronées seraient donc des connaissances attachées par les élèves à des catégories ontologiques inadéquates. Par

« catégorie ontologique » il faut comprendre « les classes d'existants de la réalité tels que les objets concrets, les événements et les abstractions » Chi (2005, p. 165). Chaque catégorie se distingue du reste dans la mesure où les entités qu'elle contient sont affectées par des « attributs ontologiques » exclusifs à la catégorie en question : alors qu'il est possible, par exemple, de peser un processeur (objet tangible), il est impossible de peser le traitement de l'information (processus).

La résistance de certaines représentations à l'enseignement s'expliquerait donc en tenant compte du fait que celles-ci peuvent être rattachées par les élèves à des catégories ontologiques inappropriées. En effet, dans la mesure où chaque catégorie possède ses propres attributs — la catégorie des objets tangibles possède les attributs surface, volume, poids, etc. ; la catégorie « processus » possède les attributs durée, causalité, etc. — les élèves doivent donc être amenés à associer les concepts et phénomènes avec les attributs de leurs catégories ontologiques propres. De ce point de vue, la difficulté associée à l'éradication ou à l'évolution d'une représentation vers une autre plus acceptée ou validée scientifiquement, réside fondamentalement dans le travail de déplacement vers la catégorie ontologique à laquelle le concept ou le phénomène appartient effectivement (Chi, 2013). Par exemple, la modification des représentations associées aux concepts chaleur, force, mouvement ou électricité, serait si difficile et coûteuse en termes de temps d'enseignement, car, selon la théorisation précédente, les concepts sont placés par les élèves dans la catégorie ontologique correspondante aux « choses », c'est-à-dire la catégorie contenant des objets tangibles et non pas dans la catégorie « processus » (Reiner, Slotta, Chi, & Resnick, 2000). Chacun de ces concepts prendra ainsi les attributs de la catégorie « objet matériel », ce qui implique, du point de vue des élèves, qu'ils pourront être contenus, avoir du poids, être déplacés, être au repos, être localisés, être consommés, enfin, tout ce qu'on peut attribuer aux objets tangibles.

Cette approche présente un certain intérêt du point de vue de cette recherche. Elle nous met en garde par rapport à la catégorie ontologique que les élèves font correspondre au concept d'information : est-elle placée par les élèves dans la catégorie ontologique adéquate ? En outre, compte tenu du rôle clé de l'information dans le fonctionnement des systèmes numériques, on peut s'interroger aussi, de manière plus fondamentale encore, sur la catégorie ontologique que les élèves font correspondre aux systèmes numériques en général. Ces derniers, on l'a vu, doivent être conçus essentiellement comme des systèmes de traitement de l'information. Ce qui implique donc de se représenter son fonctionnement à partir du bloc fonctionnel « Traitement », les autres y étant subordonnés.

1.5.1.2. Les représentations des élèves : des entités fragmentées ou structurées ?

Le débat autour de la robustesse ou résistance de certaines représentations à l'enseignement est intimement lié à la question de savoir si celles-ci sont bien des entités structurées selon une certaine cohérence ou bien si les représentations ne correspondent qu'à des entités isolées et sans cohérence interne. A ce propos la littérature est également partagée. Certains auteurs considèrent que les représentations des apprenants sont cohérentes, systématiques et bien structurées (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; De Vecchi & Giordan, 2002 ; Duit & Treagust, 2003 ; Giordan, 2013 ; Joshua & Dupin, 1993 ; Reiner, Slotta, Chi, & Resnick, 2000 ; Vosniadou, 2013), alors que d'autres, en revanche, les considèrent comme des connaissances non-systématiques, fragmentées et sans cohérence entre-elles (diSessa, 2013 ; Orange & Orange, 2013 ; Potvin & Thouin, 2003 ; Wells, 2008). Les tenants du premier groupe caractérisent les représentations ou conceptions comme des structures cognitives stables, organisées et, dans la mesure où elles sont systématiques et structurées, manifestant une certaine cohérence. Cette position est contestée par les partisans du second groupe pour qui les représentations seraient plutôt des entités fragmentaires et sans cohérence, construites au cas par cas, c'est-à-dire « sur commande » et « au besoin » lorsqu'elles sont sollicitées » (diSessa, 1996).

Chez Joshua & Dupin (1993, p. 127), par exemple, les représentations sont conceptualisées comme « des modèles théoriques avec une cohérence interne remarquable et peuvent fonctionner comme base d'autres raisonnements ». En revanche, chez Potvin et Thuin (2003, p. 537), la tendance à considérer est qu'« il n'y a aucune raison de croire que les conceptions existent généralement depuis longtemps dans la structure cognitive de leurs détenteurs, qu'elles sont aussi généralement présentes avant l'enseignement comme telles et qu'elles vont donc nécessairement interférer – positivement ou négativement – avec l'apprentissage. On peut se convaincre facilement de cela en observant la facilité déconcertante avec laquelle nos sujets abandonnent leurs conceptions dès que le moindre conflit cognitif se présente et en constatant la rapidité avec laquelle ils en inventent de nouvelles dès que leurs explorations deviennent fructueuses ». Nous verrons dans les sections suivantes que cette position semble être, de notre point de vue, la perspective à privilégier.

Ce débat à propos de savoir si les représentations constituent des connaissances en miettes, des objets fragmentés et incohérentes ou s'il agit plutôt d'entités structurées et manifestant de la cohérence, renvoie chez certains auteurs à la « granularité » (Tiberghien, 2003) privilégiée lors de l'analyse des réponses, à savoir « le niveau de détail à partir duquel seront décrites et

caractérisées les idées naïves repérées chez les élèves » (diSessa, 2013, p. 33). Ainsi, toujours selon diSessa, les défenseurs de l'idée selon laquelle les représentations constituent des connaissances en miettes et sans cohérence se placent à un niveau micro et s'intéressent davantage à la structure et à aux relations des représentations repérées. La granularité de l'analyse des données est aussi mise en relation avec la « référence » choisie pour juger de la pertinence des réponses des élèves : « le plus souvent, écrit Tiberghien, la référence choisie est le savoir disciplinaire en jeu dans l'enseignement comme l'ont souligné Marin et al. (2001). Quelques travaux ont pris explicitement des références différentes. Dans ces cas-là, ils ont choisi souvent de partir de l'hypothèse de la cohérence de l'élève, qui, notons-le, est un objet de débat actuel au sein de la communauté des psychologues et d'une partie de celle des didacticiens » (2003, p. 21).

1.5.1.3. Prendre en compte les représentations des élèves : oui, mais avec quelle intention ?

Nous avons évoqué jusqu'ici certaines des caractéristiques attribuées aux représentations par un certain nombre de chercheurs. On a vu également qu'une partie de ces attributs semblent être unanimement acceptées, comme leur caractère contextualisé et leur résistance à l'enseignement, alors que d'autres, comme leur cohérence et systématicité, font encore l'objet des débats. Compte tenu de ces éléments, la recherche ne semble pas justifier ni accorder la même importance à l'étude des représentations des élèves.

En effet, la première idée, « largement répandue » selon certains auteurs (Caillot, 2001 ; Firode, 2013 ; Goubet, 2013), consiste à dire qu'une bonne connaissance des représentations des élèves favorise la mise en place de stratégies d'apprentissage visant à modifier ces dernières. L'argument classique voudrait ainsi que l'étude des représentations se justifie car il s'agit de faire passer les apprenants de leurs représentations primitives ou initiales à des représentations plus scientifiques (Astolfi & Peterfalvi, 1993 ; Giordan, 2013). Dans cette perspective s'inscrit également ce que les anglo-saxons appellent le paradigme du « changement conceptuel » (Chi, 2013 ; diSessa, 2013 ; Vosniadou, 2013). Le « conflit cognitif » constitue dans cette approche « la stratégie d'enseignement la plus importante » (Vosniadou, 2013b) en ce sens où il vise à produire l'insatisfaction de l'élève avec sa représentation du concept ou du phénomène étudié et de le conduire ainsi à la substituer par la représentation adéquate. Or le lien entre le conflit cognitif et la modification des représentations ne se vérifie pas toujours dans la pratique. Duit et Treagust (2003, p. 673) affirment à cet égard qu'« aucune étude n'a montré que la conception d'un élève en particulier

pourrait être complètement éteinte, puis remplacée par le point de vue de la science ». Le fait est que l'éradication ou le remplacement d'une représentation erronée du point de la science s'est révélée, dans la pratique, difficile à justifier à partir de leur seule prise en compte. Caillot (2001) ne laisse en ce sens place à aucun doute lorsqu'il affirme que « tous les travaux en didactique montrent la difficulté à procéder au changement conceptuel, en partant seulement du repérage des dites conceptions » (p. 144).

En effet, l'approche qui voudrait que la connaissance des représentations, conceptions ou idées naïves des élèves permettrait de les substituer ou les remplacer après enseignement ne semble pas être confortée par la recherche. Cette approche est « fortement critiquée » dans le numéro 17 de la revue *Recherches en éducation.* Les auteurs y ayant contribué se sont proposés, en effet, « de mesurer exactement le sens et la valeur de la notion de représentation en pédagogie et en didactique et plus exactement la valeur de cette notion en tant que principe pratique, c'est-à-dire susceptible d'orienter correctement notre action éducative » (Vincent, 2013, p. 3). Deux contributions se remarquent nettement par leur positions critiques : celles des philosophes François Gobet et Alain Firode.

Quant à la contribution de Goubet (2013), l'auteur s'y interroge sur le sens et les usages induits par l'expression « faire bouger les représentations » et, plus particulièrement, sur la conviction chez certains didacticiens des sciences qu'« il existe une transformation des représentations initiales, une mutation de l'idée fausse en idée vraie ». L'auteur s'attaque donc au principe selon lequel il serait possible de « faire bouger les représentations », de les faire « disparaître ». Gobet s'affiche contre le « transformisme », contre « la purge » des idées naïves, pure et simple. De manière plus essentielle encore, Gobet critique toute approche prenant parti pour une rectification « non de la manière de penser, mais de la représentation elle-même, comme si la conception héliocentrique de la nature pouvait surgir de mon expérience quotidienne » (p. 30).

Chez Alain Firode (2013), philosophe également, la critique est encore plus radicale. Dans une perspective « radicalement anti-psychologiste » de la connaissance scientifique, la contribution de Firode met notamment en question l'usage et les attributs associés actuellement à la notion de représentation. En effet, en prenant appui sur les propositions épistémologiques poppériennes, Firode, insiste d'abord sur la distinction entre ce qui est de l'ordre du « logique » de ce qui est de l'ordre du « psychologique », pour refuser ensuite toute approche psychologique, mentale ou subjective de la connaissance. Dans sa conception, tout comme dans la conception poppérienne, la connaissance est avant tout une construction

langagière, symbolique et externe à l'individu. Par conséquent, conclut Firode (p. 42) « le passage d'une représentation à l'autre n'est pas un processus d'ordre logique. Pour qu'il puisse y avoir une évolution rationnelle de la connaissance scientifique, il ne faut pas mettre en concurrence des constructions mentales, des représentations, mais des constructions symboliques, des théories détachées du sujet pensant ». Cette perspective est sans doute questionnable. Or elle a le mérite de « distinguer jusqu'à les opposer radicalement ce que les pédagogues et les didacticiens ralliés au constructivisme tendent au contraire à identifier sans véritable recul critique : à savoir, d'un côté, l'ordre psychologique des causes d'une représentation mentale à une autre ; de l'autre côté, l'ordre logique des raisons par lequel celui-ci compare et sélectionne des objets logiques (des théories) en concurrence » (p. 44).

Les résultats empiriques de certaines recherches constituent en ce sens des critiques plus concrètes du paradigme des représentations ou du changement conceptuel. C'est le cas par exemple de la recherche de Potvin et Thouin (2003) évoquée précédemment. Tout en constatant une variabilité particulièrement forte des « itinéraires cognitifs empruntés » par les élèves confrontés aux mêmes situations, les auteurs concluent qu'« il semble alors clair que la première assertion concernant les conceptions, à savoir que, dans l'étude des problèmes de physique, les conceptions jouent le rôle d'un mobile sur lequel on peut construire ou faire évoluer sa compréhension, et qu'elles permettent de suivre les itinéraires cognitifs des individus, ne soit pas vérifiée par nos observations » (p. 536).

D'autres critiques repérées dans la littérature concernant l'étude des représentations des élèves sont également d'actualité. D'une part, Sinatra (2005) et diSessa (2002) pointent respectivement le fait que peu de recherches tiennent compte dans leurs analyses des aspects volitifs et affectifs et de l'influence des facteurs sociaux et contextuels. Ce dernier aspect renvoie en didactique disciplinaire française à la tendance dans les recherches à considérer l'élève essentiellement comme « sujet épistémique », c'est-à-dire en tant que « sujet qui entretient des relations avec le savoir » (Maury & Caillot, 2003, p. 10, cité dans Lebeaume, 2011, p. 38).

1.5.1.4. Des terminologies plurielles

Les sections précédentes ont mis en relief un certain nombre de débats relatifs aux propriétés associées aux représentations ainsi que sur l'intérêt et l'efficacité de les prendre en compte dans l'enseignement. Ces divergences autour de la manière dont la recherche aborde la question des représentations se reflètent clairement aussi dans la terminologie employée pour

s'y référer. A ce sujet, Reuter (2007, p. 200) constate en effet que « le même terme [représentation] pourra aujourd'hui définir des éléments très disparates ». Cette variété de termes témoigne pour certains auteurs (Chi, 2005, diSessa, 2002 ; Orange & Orange, 2013) principalement du manque d'approche théorique commun concernant l'étude des représentations, conceptions ou connaissances naïves des élèves.

En effet, la terminologie employée pour désigner les représentations des élèves varie selon les auteurs. Le choix d'un terme par rapport à un autre n'est en aucun cas justifié, ni ontologiquement, ni conceptuellement. A cet égard, Vergnaud, Halbwachs et Rouchier (1978, p. 9, cité dans Orange & Orange, 2013, p. 47), constatent que « les expressions ''représentation'' et ''mode de raisonnement'' ou d'autres analogues sont couramment utilisées pour désigner la façon dont un élève comprend et traite une notion ou une classe de situations ». Les termes, sont interchangeables et varient d'un texte à l'autre. On peut y trouver indistinctement les expressions conceptions, idées alternatives, modèles implicites, préconceptions, etc., mais aussi d'autres expressions telles que connaissances naïves, modèles implicites, connaissances spontanées ou connaissances initiales sont également utilisées pour dénoter une signification similaire, à savoir « des croyances ou des connaissances que les enfants acquièrent à partir de leur propre expérience dans les situations de la vie quotidienne » (Lautrey, 2008, p. 8).

Bien que l'usage du terme conception soit actuellement *préféré* (Tiberghien, 2008), la terminologie est « loin d'être consensuelle » (Castéra & Clément, 2010). Le choix de la terminologie dépend ainsi des considérations non explicitées et le plus souvent arbitraires. Pour leur part, Joshua et Dupin font le choix d'utiliser le terme « conception » car ils le considèrent « plus neutre » (1993, p. 125). Caillot (1992), De Vecchi et Giordan (2002) *préfèrent* également le terme conception car ils jugent que le vocable représentations « prête souvent à confusion ». Au contraire, Sallaberry (2004), lui *préfère* utiliser le terme représentation à celui de conception.

Tout semble indiquer, comme le pointe bien Tiberghien (2003) que « ce débat sur les termes de représentation et conception dépasse la didactique ; il se retrouve aussi au sein de la psychologie […]. Il serait important de continuer ce débat car il pourra aider à mieux comprendre les conditions de mobilisation des connaissances en situation d'apprentissage en particulier » (p. 19). Nous nous proposons justement de prolonger ce débat dans les sections suivantes. Plus précisément, nous nous proposons d'interroger la notion de « représentation » à partir d'un certain nombre de propositions théoriques des disciplines dites « cognitivistes »

qui, tout comme la didactique disciplinaire, postulent l'existence des représentations dans l'esprit des sujets qu'elles étudient. Qu'est-ce donc une « représentation » ?

1.5.2. La représentation : de quoi est-elle le nom ?

Au vu des nombreux travaux que la didactique a consacré à la notion de représentation, s'arrêter sur cette dernière pourrait paraître superflu et rébarbatif. Toutefois, dans la mesure où l'édifice didactique s'est érigé pour une large part à partir des briques conceptuelles, théoriques et méthodologiques provenant d'autres champs disciplinaires, nous sommes forcé à la prudence dès lors que nous employons certains concepts et certaines notions. Une de ces notions pour laquelle il faut être particulièrement prudent, compte tenu de son caractère très général, est justement celle de représentation. Elle doit, de notre point de vue, sinon être profondément interrogée, au moins être manipulée avec beaucoup de précautions, car, comme le remarque Vergnaud (2007, p. 10), peu de notions « sont utilisées avec autant de significations différentes, même dans le seul domaine de la psychologie ».

Nous constatons qu'un grand nombre de recherches en didactique postulent l'existence de représentations mentales chez les élèves, sans pour autant interroger ni son « véritable » contenu conceptuel, ni son rôle dans les processus cognitifs, ni la nécessité ou la pertinence de son usage dans leurs choix épistémologiques et méthodologiques. En outre, que ce soit dans des disciplines aussi distinctes que la physique-mécanique, la chimie, l'astronomie, l'histoire, l'électricité, la biologie ou la technologie, la recherche en didactique conceptualise la représentation comme étant homogène dans l'ensemble de l'espace conceptuel comprenant ces domaines, c'est-à-dire équivalente structurellement et fonctionnellement. La représentation en mathématiques a-t-elle les mêmes propriétés que la représentation en technologie ? Rien ne le dit. On pourrait donc se questionner sur les conséquences à la fois de l'emploi et de la recherche de ces entités, qui sont par définition « psychiques » et « hypothétiques », alors que leurs caractéristiques ne sont pas ou sont mal définies.

Le statut du concept de « représentation » est tellement variable que certains chercheurs se demandent « s'il s'agit d'un seul et même concept » (Le Ny, 1995). D'autres chercheurs, comme le cognitiviste Benjamin Putois, la considèrent comme un « concept putatif », une « métaphore », ou encore une « béquille qui assiste nos raisonnements sur le chemin des connaissances » (2011, p. 60). Ainsi, compte tenu de la diversité des approches de la notion de représentation dans les productions des chercheurs, il semble que nous ayons affaire à un objet d'étude complexe, diffus et dont la définition est loin de faire consensus (Blanc, 2011 ;

Doron & Parot, 2005 ; Gallina, 2011, Putois, 2011 ; Rogalsky, 2013 ; Vergnaud, 2007).

Précisons toutefois qu'il n'est pas question ici d'établir une définition consensuelle de la notion de représentation. Fortement dépendante du contexte épistémologique dans lequel elle est employée (Celse-Giot & Coutté, 2011), les significations étant fixées de manière assez conventionnelle par la communauté de chercheurs qui l'emploient (Putois, 2011), la représentation reste une notion fondamentalement polysémique (Rogalsky, 2013 ; Vergnaud, 2007). En revanche, nous visons, dans ce texte, une description ontologique et fonctionnelle de la notion de représentation. Le but est de mieux délimiter ses contours pour mieux la caractériser et mieux la distinguer des autres entités cognitives. Nous nous proposons donc de contribuer à formaliser une meilleure conceptualisation de la notion de représentation, c'est-à-dire à identifier les propriétés, les relations et les objets attachés à cette notion. Pour cela, compte tenu du fait que « la représentation se trouve au fondement même des modèles de la cognition » (Gallina, 2006, p. 11), nous allons dégager ses caractéristiques en interrogeant son rôle dans le fonctionnement cognitif. Cela nous permettra, enfin, de construire une définition de travail de cette notion.

1.5.2.1. Relation ontologique entre représentation, comportement et cognition

La représentation est une notion postulée[38]. Elle sera ici approchée du point de vue fonctionnel. Commençons par rappeler une évidence : les comportements sont des faits observables ; la cognition, son contenu et ses processus sont des faits inférés[39]. Les comportements observables ne constituent point la finalité de la recherche psychologique, mais le point de départ des modèles et des inférences sur le fonctionnement et les contenus mentaux qui le sous-tendent : tout ce qui relève des catégories et des processus mentaux renvoie à des concepts inférés à partir des comportements vérifiés effectivement et est destiné à en expliquer leurs détours (Gervet & Pratte, 1999). Ce n'est donc que pour rendre compte de l'activité psychique et physique des individus que des notions telles que pensée,

[38] La connaissance des représentations, selon les termes de Le Ny (1995, p. 283), est « fortement inférée, aussi bien en ce qui concerne leur existence qu'en ce qui concerne leur nature ».

[39] Cognition et comportement sont des catégorises ontologiquement indissociables : pas de comportement sans cognition et vice-versa. Le « comportement » doit être compris comme une propriété émergente du système cognitif, plus précisément de l'interaction de ce dernier avec lui-même et/ou avec son environnement physique et social (Gervet, 1996). Dans le cadre des sciences cognitives, le comportement des animaux, humains et non-humains, est sous-tendu par leur « cognition ». La cognition désigne « l'ensemble des processus qui permettent à l'animal de traiter, de retenir et d'agir en fonction des informations prises au moyen des organes sensoriels » (Shettleworthf, 2001, p. 277). Dans ce contexte, la fonction globale du cerveau « est d'être bien informé de ce qui se passe dans le reste du corps et en son sein propre, ainsi que dans l'environnement entourant l'organisme, de telle sorte qu'un ajustement convenable puisse se faire entre ce dernier et l'environnement, lui permettant de survivre » (Damasio, 2010, p.130)

connaissances, représentations, raisonnement, conceptualisation et bien d'autres apparaissent sur la scène théorique.

La notion de « représentation » est donc une notion *ad hoc*, postulée par le chercheur afin de rendre compte ou de modéliser les comportements et/ou les processus cognitifs étudiés. Ces propriétés et sa nature sont, en conséquence, également inférées à partir de la fonction qu'elle joue dans les différents processus étudiés. La démarche, comme l'explique Le Ny (1995, p. 283), serait la suivante : « Si, dans la situation S, l'individu I, présente la conduite C, alors on peut supposer que l'individu I possédait la représentation R et l'a mise en œuvre à partir des opérations O1, O2, O3, … ». Du point de vue du fonctionnement cognitif, la fonction principale de la représentation est donc d'intervenir dans l'orientation et la régulation de l'activité de l'individu. Or, ce qui est remarquable à cet égard, c'est que pour rendre compte des comportements et des activités étudiées, qu'ils soient simples ou complexes, individuels ou sociales, l'ensemble des disciplines intéressées par l'étude de la cognition et/ou du comportement animal – humain et non-humain – sont contraintes de postuler l'existence de représentations mentales chez les individus étudiés. En effet, que ce soit dans le champ de la *psychologie cognitive* (Blanc, 2011 ; Celse-Giot & Coutté, 2011 ; Dortier , 2014f ; Gallina, 2006 ; Kreutzer & Vauclair, 2004 ; Le Ny, 1995 ; Meunier, 2015 ; Pacherie, 2003 ; Pinker, 2000 ; Putois, 2011 ; Richard, 2004 ; Roy, 2011), dans le domaine des *neurosciences cognitives* (Damasio, 2010 ; Dehaene, 2014 ; Koenig, 2011 ; Kolb & Whishaw, 2002), dans le champ de l'*éthologie cognitive* (Chameron & Beugnon, 1999 ; Gervet, 1999 ; Gallo & de Gualejac, 1999; Leblanc, 2010 ; Munera, 2011 ; Poucet & Cressant, 1999 ; Poucet & Save, 2004 ; Saidel, 2009 ; Scapini, 1999 ; Viciana, 2011), ou bien encore dans le domaine de la *psychologie sociale* (Abric, 2003 ; Ayissi, 2014 ; Durkheim, 1898 ; Jodelet, 2003, Jovchelovitch, 2002 ; Moscovici, 2010), nous constatons que les différents champs disciplinaires ici évoqués placent au centre de leurs approches ce que Roy (2011) désigne comme étant la « propriété de représentation » des systèmes cognitifs.

Non seulement l'ensemble des disciplines intéressées par la cognition et/ou le comportement postulent la notion de représentation, mais aussi, comme nous le verrons plus en détails ultérieurement, la notion de représentation est considérée comme la notion « la plus centrale en psychologie cognitive » (Richard, 2004, p. 9). Il convient ainsi de souligner que c'est à partir de la notion de représentation, et non pas celle de connaissance, que les disciplines dites cognitivistes rendent essentiellement compte de l'ensemble des processus dits cognitifs comme le langage, la mémoire, la perception, la catégorisation, l'abstraction, mais aussi la

résolution de problèmes, la conceptualisation et la pensée en général[40]. La faculté de se représenter le monde, de construire et de mobiliser des représentations, est placée de manière assez consensuelle, comme nous le verrons, au centre des réflexions sur la cognition en général : la représentation est sans doute « l'objet principal de la psychologie » (Vergnaud, 2007).

1.5.2.2. Cognition et représentation : approche cognitiviste

Bien qu'élémentaire dans certains cas, le comportement des animaux ne peut en aucun cas être réduit aux principes physico-chimiques de la matière inorganique. Afin donc de rendre compte du fait que certains organismes, l'Homme inclut, sont capables de réguler et de contrôler leur comportement, il a donc fallu leur attribuer une certaine faculté interne, que les cognitivistes désignent sous le nom de « cognition ». La cognition est ainsi comprise comme « un système continu allant des facultés d'adaptation les plus simples, aux opérations mentales les plus abstraites et complexes » (Rodrigues, Corsini, & N'koua, 2011, p. 90). Distinguer une couleur d'une autre, un caillou d'une pomme, mais aussi abstraire les propriétés d'un objet ou d'un phénomène, les combiner entre elles pour établir des relations et faire des inférences sont des opérations assurées par ladite cognition. Notons que, dans leur version actuelle, les sciences cognitives comprennent l'ensemble des processus cognitifs comme étant essentiellement des processus de traitement à la fois d'information – des stimuli captés par les sens – et des représentations mentales – des entités cognitives stockées en mémoire (Blanc, 2011 ; Damasio, 2010 ; Dortier, 2014a ; Gallistel, 1990 ; Gallina, 2006, 2011 ; Gallo & de Gaulejac, 1999 ; Gervet & Soleilhavoup, 1999 ; Koeing, 2011 ; Kreutzer & Vauclair, 2004 ; Meunier, 2015 ; Pinker, 2000 ; Richard, 2004). Dans ce cadre, « toute activité cognitive ne serait rien d'autre que la manipulation d'une foule de symboles, d'images, de concepts, bref, des représentations » (Dortier, 2014f, p. 50).

En effet, « l'avènement de la révolution cognitive, ainsi qu'un intérêt accru pour la cognition physique et sociale, ont replacé le cadre théorique des représentations mentales au premier plan » (Viciana, 2011, p. 151). Dans cette perspective, la représentation est comprise comme « la plus petite entité cognitive dotée d'une signification et se rapportant à un objet ou à des états du monde » (Gallina, 2011, p. 21). L'idée fondamentale sur laquelle convergent les approches cognitivistes actuelles consiste à considérer que, « pour caractériser un organisme comme possédant un fonctionnement cognitif, il doit être capable d'élaborer des

[40] Précisons toutefois que « tout contenu mental n'est pas représentation » (Engel, 2014, p. 172)

représentations neuronales qui peuvent devenir des images, lesquelles peuvent subir un traitement dans le cadre d'un processus appelé pensée et finalement influencer le comportement » (Damasio 2010, p.130). Appliqué à la cognition humaine, le modèle en question repose sur une idée simple : abstraire, généraliser, analyser, conceptualiser, raisonner, bref, l'ensemble des processus cognitifs constatés chez l'Homme repose sur la manipulation des représentations mentales. Cela s'applique évidemment aux élèves[41] qui ont été l'objet de cette recherche : la pertinence de leurs analyses et de leurs conceptualisations repose, en dernière analyse, sur les représentations mobilisées face aux situations proposées.

1.5.2.3. Cognition sans représentation : est-ce possible ?

« La cognition est-elle représentation ? », s'interroge Pascal Engel (2014). Les éléments précédents peuvent nous amener à penser que l'activité cognitive ne peut pas se passer des représentations. Étant donné que « la représentation » est une entité introduite dans des modèles explicatifs pour rendre compte d'un certain nombre de comportements, la question précédente, à savoir si l'on peut se passer de la notion de représentation, doit alors être reformulée ainsi : est-il possible de décrire l'ensemble des comportements — étudiés par des psychologues, des sociologues, des anthropologues, ethnologues, soit par l'ensemble des sciences intéressées à la cognition et au comportement animal — sans postuler en aucune manière l'existence chez l'individu de représentations mentales ?

Deux espaces de théorisation vont se constituer par rapport à cette question, à savoir les théories représentationnelles et les théories non-représentationnelles. D'une part, les théories représentationnelles défendent l'idée que même les types de cognition les plus élémentaires ont besoin de créer des représentations qui vont informer ou guider ce que l'organisme fait ou expérimente. D'autre part, les théories non-représentationnelles, sans pour autant bannir la notion, refusent de considérer la représentation comme une notion centrale dans leurs modèles[42]. Parmi les approches non-représentationnelles, on cite fondamentalement la théorie

[41] D'autant plus que nous ne considérons dans cette recherche ni l'aspect volitif ni l'aspect motivationnel de notre échantillon d'élèves.

[42] La théorie de l'énaction, par exemple, donne une position explicative primordiale, non pas aux contenus représentationnels, mais aux interactions entre l'organisme et son environnement. La perspective de l'énaction considère ainsi que « l'activité de l'organisme — dans sa relation avec l'environnement — suffit à expliquer ses activités cognitives élémentaires. Une telle activité ne dépend pas des contenus informationnels récupérés de l'environnement. En bref, pas toutes les mentalités ont besoin de construire des représentations de leur monde » (Hutto & Myin, 2013, p. 5). Quant au connexionnisme, il propose de considérer l'ensemble des phénomènes cognitifs comme des propriétés émergentes du fonctionnement global du cerveau et non pas comme une propriété intrinsèque (Rodrigues, Corsini, & N'koua, 2011). Dans ce cadre la représentation n'est pas dans le cerveau, mais elle serait un produit émergent de son fonctionnement – contrairement au cognitivisme classique pour qui la représentation est une entité interne au système et indépendante de son activation.

de l'énaction (Varela, Thompson & Rosch, 1991) et les théories connexionnistes, telles qu'elles ont été formulées par Hilary Putman et Jerry Fodor (Koenig, 2011). Or ces approches ne prévalent que dans certains domaines de recherche où les processus cognitifs étudiés présentent un caractère simplifié. C'est le cas, par exemple, de l'intelligence artificielle, domaine où « l'environnement virtuel est simplifié et les résultats expérimentaux sont restreints à des fonctions cognitives dites de "bas niveau" (e.g. mémoire, attention, etc.) » (Rodrigues, Corsini, & N'koua, 2011, p. 84).

Le fait est que, lorsque les fonctions cognitives étudiées présentent un caractère hautement intégratif, le recours à la notion de représentation est indispensable : c'est le cas de la pensée, de la mémoire procédurale, du langage qui requièrent l'intégration de traces distinctes, induites par l'expérience sensible du monde ou par les productions internes de l'individu (Roy, 2011). Notons cependant que la notion est plus au moins opérationnelle en fonction des activités cognitives auxquelles on veut l'appliquer. Il semblerait que la description des processus dits de « bas niveau » s'affranchisse assez facilement des représentations, tandis que l'étude des processus de « haut niveau » leur accorde par défaut un statut de réalité objective (Koenig, 2011). Dans cette optique, « le recours aux représentations est considéré comme une particularité de certaines fonctions cognitives, ce qui déplace le débat non plus sur leur existence mais sur leur degré d'implication et leur nature en fonction de l'activité cognitive considérée » (Rodrigues, Corsini, & N'koua, 2011, p. 90).

1.5.2.4. Vers une définition… de travail

Sans vouloir réduire la cognition animale-humaine à la cognition animal-non-humaine, notons toutefois qu'un élément non négligeable du « virage des sciences cognitives » a été la « démystification de la cognition humaine » (Jensen, 2011). Dans ce contexte, il doit être remarqué que l'hypothèse selon laquelle l'animal non-humain possède une activité cognitive fondée également sur l'élaboration et le traitement des représentations est aujourd'hui largement acceptée (Chameron & Beugnon, 1999 ; Gallo & de Gaulejac, 1999 ; Gervet, 1999 ; Gervet & Pratte, 1999 ; Kreutzer & Vauclair, 2004 ; Lassalle, 2004 ; Leblanc, 2010 ; Menzel & Fisher, 2011 ; Poucet & Cressant, 1999; Poucet & Save, 2004; Saidel, 2009; Scapini, 1999; Viciana, 2011). Gervet et Soleilhavoup (1999) précisent à ce propos que « les termes de volonté et de représentation ne font qu'indiquer les formes prises dans l'espèce humaine par des processus qui remplissent des fonctions de mise en route orientée de l'organisme (volonté

concernant le déclenchement de comportement) et d'ajustement aux caractéristiques de l'environnement (représentation) » (p. 47).

Par-delà la complexité des comportements étudiés, ainsi que la complexité de la cognition visée, postuler et recourir à la notion de représentation afin de rendre compte d'un certain nombre de processus cognitifs et comportementaux complexes paraît donc indispensable. Pourquoi faut-il associer la « propriété de représentation » (Roy, 2011) aux systèmes cognitifs pour pouvoir expliquer leurs performances ? Introduire la notion de représentation dans les modèles d'analyse permet aux cognitivistes de « rendre compte de la conservation de l'information non plus directement accessible par la perception, des possibilités de reconnaissance et d'identification des objets, du guidage et de la régulation des conduites, ou encore de la planification des actions » (Koenig, 2011, p. 5). La propriété de représentation permet, premièrement, d'expliquer la mémoire et, de ce fait, la capacité de catégoriser, d'identifier, d'abstraire, d'établir de relations, d'inférer, de conceptualiser et d'apprendre. On comprend mieux, dès lors, les raisons pour lesquelles Vergnaud (1985) a affirmé que la fonction principale de la représentation est de permettre à l'individu de conceptualiser le réel afin d'agir efficacement : « sans représentation, pas d'optimisation de l'action » (Munera, 2011, p. 133). La propriété de représentation associée aux systèmes cognitifs se trouve donc à la base de l'ensemble des opérations mentales allant au-delà du simple flux perceptif (Viciana, 2011). Un organisme incapable d'élaborer et de traiter des représentations du réel physique et social auquel il appartient serait un organisme condamné à (ré)agir uniquement en fonction des stimuli détectés par leur sens. Ce serait donc un organisme présentant des comportements peu flexibles et disposant d'une capacité d'adaptation particulièrement limitée, voire aucune.

L'élaboration et le traitement de représentations mentales est une ruse de l'évolution permettant aux animaux de multiplier leurs performances cognitives et, par la même, leur capacité d'adaptation et leurs chances de survie : en plus de permettre à l'animal de s'émanciper du flux perceptif, une cognition représentationnelle nous permet également de (ré)agir et d'opérer mentalement sur des contenus mentaux qui ne sont pas « la chose en soi », mais qui « la représentent »[43]. Cela présente un avantage fonctionnel considérable : face à un problème ou à une tâche donnée, une cognition de type représentationnelle est capable d'orienter et de réguler l'activité de l'individu en cherchant, dans sa mémoire ou dans son

[43] En effet, dotés d'une cognition capable d'élaborer et de traiter des représentations du réel, les animaux sont non seulement capables de (ré)agir en fonction de « la chose en soi », mais aussi en fonction de ce qui « représente la chose ». Cela élargit considérablement les possibilités d'action.

environnement perceptuel, n'importe quel représentant fonctionnel pouvant se substituer – soit représenter – à l'information nécessaire à l'accomplissement de la tâche ou du problème visé. Du point de vue fonctionnel, la représentation peut donc se définir comme une *information de substitution indispensable au fonctionnement cognitif afin d'assurer un comportement optimal ou adapté face à une situation ou à un problème donné*. Information de substitution, car, comme le remarque Daniel Kayser (2003, p. 386), « représenter E n'a d'intérêt que si E lui-même n'est pas disponible, ou est impropre à la tâche envisagée ». Dans cette perspective, les représentations rendent donc compte de nos contenus de pensée (Meunier, 2015). Par conséquent, plus un système cognitif est capable d'élaborer et de traiter des représentations du réel, plus les comportements et les activités qu'il guide et régule seront à la fois complexes, performants et adaptés. Cela explique la suprématie cognitive et comportementale de l'Homme sur l'animal : en plus d'élaborer et de traiter des représentations mentales à partir des signaux physico-naturels – la couleur d'un fruit représente son état de maturation, par exemple –, le système cognitif de l'Homme élabore et traite également des représentations à partir des signaux symbolico-artificiels créés par lui-même, à savoir des signes[44]. De ce fait, remarque Vygotski, « la signification devient un nouveau principe régulateur du comportement humain » ([1931] 2014, p. 201).

Nous sommes maintenant en mesure de caractériser les représentations telles que nous les entendrons dans cette recherche. Du point de vue fonctionnel, nous définirons la représentation comme étant une *information de substitution mobilisée par l'élève en vue de faire face à une situation ou de résoudre un problème*. De ce point de vue, les représentations sont, par définition, contextualisées, c'est-à-dire dépendantes des exigences de la situation. Cela signifie donc que les représentations que l'on peut recueillir dans une recherche dépendent en premier lieu des exigences de la tâche, de la situation ou du problème auquel les élèves sont effectivement confrontés. En effet, contrairement aux connaissances[45], d'après Richard (2004, p. 9), « la construction des représentations est finalisée par la tâche et la nature des décisions à prendre ». En conséquence, « il suffit, toujours selon Richard, que la situation change, ou qu'un élément de la situation non remarqué soit pris en compte, alors qu'il ne l'était pas, pour que la représentation soit modifiée » (2004, p. 9). D'où l'importance

[44] Chez l'être humain, les représentations se trouvent aussi et surtout dans l'univers des significations, c'est-à-dire dans la signification des mots, des concepts, des phrases, des formules, des équations, des modèles, bref dans tous les artefacts symboliques créés par l'Homme.

[45] D'après Richard (2004), les connaissances « ne sont pas entièrement dépendantes de la tâche à réaliser : elles sont stockées en mémoire à long terme et, tant qu'elles n'ont pas été modifiées, elles sont supposées se maintenir sous la même forme » (p. 9). Le Ny (1995) pense, quant à lui, les connaissances comme des « représentations-types », tandis que Meunier (2015) définit des « représentations permanentes ».

méthodologique de modifier les caractéristiques de surface des situations et des problèmes proposés aux élèves afin de recueillir des représentations indépendantes de ces caractéristiques de surface et de viser, de ce fait, leurs représentations par rapport au sujet de la recherche.

Enfin, quant à leur format, Koenig (2011) précise que le format des représentations peut varier selon la discipline et la théorie à laquelle il est fait référence. Ainsi, « les représentations peuvent être considérées comme des patrons d'activité neuronale mono- ou multi-localisés dans le cerveau, comme des codes linguistiques ou symboliques, comme des entités analogiques incorporant la structure spatiale des objets, … » (p. 6). Cependant, en ce qui concerne le domaine de la psychologie, la « meilleure hypothèse », selon Le Ny (1995, p. 379), consiste à considérer que « leur format (à tout le moins d'une grande partie d'entre-elles) est propositionnel ». Nous adhérons à cette hypothèse, car, comme nous l'avons vu précédemment, chez l'Homme les représentations sont principalement liées à l'univers des significations et du langage. Meunier (2015) précise à cet égard que les représentations propositionnelles « expriment notre savoir sur les propriétés des objets qui nous entourent et sur les relations que ces objets entretiennent » (p. 66). Nous retrouvons finalement ici la notion de « théorèmes-en-acte » discutée précédemment à propos de la conceptualisation de Vergnaud, à savoir des propositions pouvant être tenues pour vraies ou pour fausses dans l'activité de l'individu dans une situation donnée.

1.5.3. Conclusion-Les représentations

L'étude des représentations des élèves est une question centrale dans notre recherche. Nous avons souhaité montrer, dans la première partie de cette section, ce qui, du point de vue de la recherche en didactique disciplinaire, semble être accepté d'une part et discuté de l'autre, par rapport aux représentations des élèves. Le postulat de base n'est en aucun cas mis en question : d'une part, les élèves arrivent en cours avec un certain nombre de représentations relatives aux contenus d'enseignement et, d'autre part, ces représentations sont susceptibles de les conduire à des réponses et à des itinéraires cognitifs non validés du point de vue de la discipline en question. En revanche, la recherche en didactique est bien plus partagée sur la question des caractéristiques et des propriétés attribuées aux représentations, ainsi que sur ce qui impliquerait leur prise en compte du point de vue du processus d'enseignement-apprentissage. La pluralité terminologique constatée reflète en partie ces divergences.

En premier lieu, la littérature s'accorde sur le caractère local et contextualisé des représentations. Notre définition de travail rend compte de cet aspect : les représentations sont par définition contextualisées. En effet, comme nous l'avons vu dans la deuxième partie du texte, les représentations sont « liées aux éléments de la situation et de la tâche » (Richard, 2004) et, de ce fait se caractérisent par être finalisées par la tâche. Tout comme les connaissances, les représentations sont « locales », c'est-à-dire réduites « à une classe de situations ou à une classe de phénomènes qui peut être très petite » (Vergnaud, 1995, p. 521). En outre, plus l'individu est jeune, plus ses connaissances et ses représentations sont situées et contextualisées en ce sens qu'elles ne sont pas universelles ou transversales aux différents domaines disciplinaires (Rubinstein 1963). Dans ce contexte, lorsqu'on interroge les élèves sur une situation particulière, ses éléments de réponse, que ce soient des connaissances validées ou des représentations inadaptées, auront pour conséquence un caractère situé qui ne correspond qu'au domaine ou à la classe de situations interrogées.

En second lieu, nous avons vu qu'il existe également un consensus autour de l'idée que les représentations des élèves sont « robustes » – résistantes à l'enseignement – et perdurent tout au long de la scolarité. Ce consensus est particulièrement marqué dans les travaux de didactique française, où ladite « résistance » est associée à l'idée que les représentations sont ancrées dans l'esprit des élèves. Cette idée exige de distinguer la pensée de son contenu. La question est donc de savoir si un contenu de pensée peut « résister » et, si tel est le cas, pourquoi. Nous avons vu que, du point de vue fonctionnel, tous les cognitivistes s'accordent pour dire que les processus cognitifs sont sous-tendus par l'élaboration et le traitement des représentations mentales. En ce sens, les représentations, en tant que contenus de pensée, doivent être distinguées des processus de pensée dont elles font l'objet. Si un contenu de pensée – la représentation – perdure tout au long de la scolarité, c'est soit parce l'élève n'a pas été suffisamment confronté à des situations dans lesquelles la représentation en question n'est pas *opératoire*, soit parce que les processus de pensée – catégorisation, abstraction, analyse, conceptualisation – qui peuvent la mettre en question ne sont pas suffisamment développés[46] – les deux aspects étant évidemment liés. C'est, dans une certaine mesure,

[46] Si un élève de 4e n'explique plus le mouvement des nuages en évoquant des arguments anthropomorphiques – comme c'est souvent les cas chez des enfants bien plus jeunes (*cf*. Piaget [1947] 2012) –, ce n'est pas parce que la représentation du mouvement ou la représentation des nuages a cessé de « résister » aux apprentissages de l'enfant. Mais c'est, d'une part, parce que l'élève présente un développement cognitif lui permettant de développer des processus de pensée plus pertinents et performants et, d'autre part, parce que les situations qu'il rencontre dans son expérience sont en contradiction avec l'idée que les nuages, en tant que « choses », peuvent se déplacer par eux-mêmes.

l'approche défendue par Chi (2005, 2013). Selon cette dernière, si la représentation d'un concept repérée chez un élève « résiste », c'est-à-dire se manifeste dans d'autres situations en dépit de l'enseignement, c'est parce que le concept est rattaché par l'élève à une catégorie ontologique inadéquate. En conséquence, tant que la pensée de l'élève attribuera au concept des traits ontologiques non pertinents, le chercheur ou l'enseignant constatera que l'élève emploie toujours le concept avec une représentation erronée.

Les travaux en didactique française s'accordent, en troisième lieu, sur le fait que certaines des représentations des élèves peuvent se constituer en obstacles épistémologiques, empêchant de ce fait l'apprentissage de certains concepts et de certains phénomènes. Par exemple, se représenter l'information comme étant de la matière peut, de ce point de vue, constituer un obstacle à la conceptualisation des processus de transmission et de traitement de l'information. Ou encore se représenter les gaz comme étant autre chose que de la matière peut rendre difficile la compréhension du fait que les végétaux « se nourrissent » du CO2 atmosphérique, comme le remarquent Astolfi et Peterfalvi (1993). L'obstacle épistémologique renvoie donc à l'idée que la représentation erronée d'une notion ou d'un concept rendrait la notion ou le concept en question inopérant dans l'ensemble des situations où ils s'appliquent. Une des questions sous-jacentes à cette recherche est donc de savoir quels sont les éventuels obstacles épistémologiques que l'on peut repérer dans les explications des élèves à propos du fonctionnement des systèmes numériques.

Rappelons, enfin, que lorsqu'on parle de représentation, on désigne une propriété des systèmes cognitifs, à savoir la propriété de créer et de traiter des représentants fonctionnels du réel afin de pouvoir les mobiliser dans des processus cognitifs autonomes vis-à-vis des entrées sensorielles. L'abstraction, la catégorisation, l'analyse, la conceptualisation, la généralisation, l'inférence et l'ensemble d'opérations cognitives qui sous-tendent la pensée sont possibles grâce à la propriété de représentation des systèmes cognitifs. La représentation désigne, dans cette perspective, des contenus de pensée. Du point de vue fonctionnel, nous avons défini les représentations dont il sera question dans cette recherche comme étant des « informations de substitution mobilisées par l'élève en vue de la résolution d'une tâche, problème ou situation ». Cette définition de travail nous permet de souligner finalement le fait que, d'une part, la représentation se substitue à la connaissance qui permet à l'élève de résoudre convenablement le problème auquel il est confronté et, d'autre part, que les représentations sont, par définition, des éléments de réponse contextualisés et liés aux exigences de la situation : si les caractéristiques de la situation changent, les représentations mobilisées changent aussi.

1.6. Instrumentation, conceptualisation et représentation

Cette section aborde les éventuelles incidences du processus de genèse instrumentale sur les représentations et les conceptualisations des élèves relatives au fonctionnement des artefacts numériques.

La plupart des recherches consacrées aux usages – mentionnées dans le chapitre précédent –, constatent que dans l'interaction des élèves avec les technologies numériques à leur disposition, ces dernières constituent rarement l'objet de leurs activités mais leur moyen, à savoir l'instrument des activités. Intéressé ici aux représentations et aux conceptualisations des élèves par rapport au fonctionnement de ces objets et systèmes, il nous semble donc nécessaire d'approfondir ce que cette relation instrumentale peut apporter à l'élaboration de ces catégories. Il s'agit donc de mettre en lumière certains aspects du processus dit de « genèse instrumentale » développée par Pierre Rabardel (1995a, 1995b) à la suite des travaux de Leontiev (1978). Ce processus a deux versants : l'un dit d'instrumentalisation, et l'autre dit d'instrumentation. Nous n'aborderons dans cette section que le processus d'instrumentation, à savoir le processus d'élaboration et de modification des schèmes d'action, des représentations et des conceptualisations du sujet par rapport à l'instrument.

Soulignons d'emblée que le processus de « genèse instrumentale » se développe intégralement dans le cadre de l'activité de l'individu. Il s'agit en ce sens d'un processus essentiellement contextualisé et subordonné aux actions effectives du sujet (Rabardel, 1993). Avant toute activité effective, ce qui est donné à l'individu ce n'est donc que la composante artefactuelle de l'objet, de la machine ou du système (Rabardel 1995a). L'instrument n'est qu'une des résultantes de l'interaction systématique de l'individu à la fois avec l'artefact – le moyen de l'activité – et avec l'activité que ce dernier médiatise. Toute activité instrumentée se caractérise ainsi par la triade « Sujet<>Instrument<>Objet » (Rabardel, 1993). L'instrument constitue donc le médiateur entre le sujet et son activité mais aussi entre l'activité et le sujet. L'instrument, plus précisément, est « une entité mixte qui comprend d'une part, l'artefact matériel ou symbolique et d'autre part, les schèmes d'utilisation, les représentations qui font partie des compétences de l'utilisateur et sont nécessaires à l'utilisation de l'artefact » (Rabardel 1995b, p. 64). En plus donc de sa dimension artefactuelle, l'instrument chez Rabardel comporte aussi une dimension cognitive, à savoir l'ensemble des schémas et des représentations nécessaires à son utilisation. Le processus de genèse instrumentale est donc, en dernière analyse, un processus d'élaboration de

représentations et des schèmes d'utilisation dont l'impact sur la conceptualisation de l'individu est particulièrement important.

Remarquons que, dans cette perspective, l'usage de l'instrument implique l'élaboration de représentations mentales relatives à certaines caractéristiques de sa structure et de son fonctionnement (Rabardel, 1993). Or, précise Rabardel, « ce n'est pas la totalité de l'artefact qui constitue l'instrument du sujet mais seulement une fraction de celui-ci qu'il a sélectionnée et dont il a élaboré les propriétés pertinentes pour l'action au cours de la genèse instrumentale » (1995b, p. 63). On comprend donc que les schèmes, les représentations et les conceptualisations élaborés dans toute activité instrumentée se développent, en effet, « dans » et « pour » » l'action : leur fonction principale est le guidage et le contrôle de l'action. Cette précision est particulièrement importante dans le cadre de notre recherche car elle nous permet de mieux comprendre le fait que les représentations élaborées par les élèves à propos de la structure et du fonctionnement des artefacts numériques sont sélectives, voire laconiques, et visent seulement la partie de l'artefact impliquée dans l'activité de l'élève avec l'instrument.

En effet, la caractéristique essentielle des représentations prévues dans le cadre de la genèse instrumentale est donc, en premier lieu, « leur finalisation par rapport à l'action et plus généralement à l'activité du sujet » (Rabardel, 1995a, p. 148). Bien qu'elles soient indispensables du point de vue de l'action, l'individu ne se représente que certains aspects de la structure et du fonctionnement de l'instrument, à savoir ceux qui comprennent des éléments pertinents pour l'aboutissement de l'activité. En outre, compte tenu du fait que dans les activités instrumentées « l'objet de l'activité prime sur le moyen » (Rabardel, 1993), l'instrument de l'activité dévient ainsi « transparent ». D'où, enfin, que « la sélection des éléments en fonction des besoins de l'action aboutit à une déformation fonctionnelle de la représentation (par rapport à une représentation qui viserait à fournir une image fidèle du représenté). La sélection des seuls éléments pertinents pour l'action, l'accentuation des points les plus informatifs en fonction de la tâche et de l'objet de l'activité du sujet sont à l'origine de cette déformation fonctionnelle » (Rabardel, 1995a, p. 148).

Notons que rien n'assure que la construction des représentations relatives au fonctionnement et à la structure des instruments permettent le passage d'une logique d'utilisation à une logique d'explication du fonctionnement et de la structure. Certaines recherches montrent même que la relation inverse ne se vérifie pas, c'est-à-dire que le fait d'avoir des connaissances sur le fonctionnement et la structure de l'artefact ne garantit pas des usages

plus pertinents. Citons comme exemple la recherche menée par Hanisch, Kramer, et Hulin (1991) dans laquelle les chercheurs mettent en évidence les difficultés d'un groupe d'individus (des concepteurs) ayant des connaissances techniques sur un type de téléphone à se représenter l'utilisation effective du dispositif. Plus remarquable encore, en les mettant en situation d'utilisateurs et en comparant leurs usages avec ceux d'un groupe de novices — mais sans aucune connaissance sur la structure et le fonctionnement du dispositif —, les auteurs montrent que lorsqu'ils sont confrontés à la même tache, les représentations des deux groupes sont particulièrement proches : la connaissance structurelle et fonctionnelle du système ne s'est pas traduite par des usages plus performants.

Conclusion-Approche instrumentale

L'approche instrumentale prévoit donc l'existence chez les élèves des représentations relatives au fonctionnement et à la structure des dispositifs, objets ou systèmes ayant atteint chez ces derniers le statut d'instrument, comme c'est le cas par exemple des Smartphones tactiles. Or l'approche instrumentale précise aussi que les éventuelles représentations construites par les élèves à propos du fonctionnement et de la structure des artefacts retenus dans cette recherche sont à la fois incomplètes et approximatives – celles-ci visent notamment la partie de l'artefact impliquée dans les actions de l'élève. Ajoutons à cela que l'élaboration des représentations à propos de la structure et du fonctionnement des artefacts dépend non seulement du fait que l'artefact ait atteint le statut d'instrument, mais aussi du degré de transparence structurelle et fonctionnelle de l'artefact en question : « l'artefact doit avoir une certaine transparence afin de rendre possible la construction et l'actualisation de ces représentations » (Rabardel, 1993, p. 108).

Ce dernier élément, à savoir la question de la transparence de l'artefact, pointe directement le fait que le TNI et le Smartphone tactile se présentent aux élèves de ce point de vue de manière fondamentalement distincte. Contrairement au Tableau Numérique Interactif (TNI) qui est un artefact avec une certaine transparence structurelle, les Smartphones tactiles ne permettent pas aux élèves de percevoir ses organes constitutifs, aspect qui peut donc rendre difficile la construction et l'actualisation des représentations des élèves par rapport à leur structure et fonctionnement Ainsi, compte tenu de la transparence structurelle relative aux TNI, on pourrait s'attendre à recueillir des représentations relativement plus élaborées vis-à-vis de ces derniers. Or, rappelons finalement que la construction des représentations ne dépend pas fondamentalement de la transparence de l'artefact. La construction des représentations sur le

fonctionnement et la structure des artefacts dépendent en premier lieu du degré de développement du processus de genèse instrumentale. De ce point de vue, les attentes précédentes doivent être nuancées car, contrairement aux TNI qui sont des artefacts rarement utilisés par les élèves, dans le cas des Smartphones tactiles le processus de genèse instrumentale est comparativement plus développé, ce qui implique donc des représentations plus élaborées.

1.7. La pensée : abstraction, analyse et généralisation

Les opérations de pensée à la base des généralisations d'un problème à un autre ou d'une situation à une autre, sont la catégorisation, l'abstraction et l'analyse (Luria, 1978).

Piaget et Garcia (1983) parlent quant à eux de mécanismes de passage – analyse – et d'instruments de construction de connaissances – abstraction et généralisation. Ayant caractérisé les représentations comme des contenus de pensée mobilisés selon les buts et les exigences des situations et des problèmes précises et la conceptualisation comme étant un processus faisant intervenir l'identification d'objets, de leurs propriétés et relations, nous allons étudier dans cette section trois des processus psychologiques sous-jacents à ces opérations, à savoir l'analyse, l'abstraction et la généralisation[47].

1.7.1. Formes d'analyse

L'investigation du « déjà là » à propos des objets et des systèmes numériques qui sont des ensembles d'organes et de fonctions et qui transforment de l'énergie, de la matière mais principalement de l'information, implique que nous nous intéressions notamment aux notions associées au processus constructif analysé par Jean Piaget et Rolando Garcia (1983). Celui-ci correspond aux « mécanismes de passage » d'une étape intra-objectale centrée sur l'analyse des propriétés, à une étape inter-objectale, centrée sur les relations, pour arriver enfin à une étape trans-objectale centrée sur la formation de nouvelles structures.

Par « mécanismes de passage » nous devons comprendre la manière dont s'effectue l'accroissement des connaissances dans la pensée de l'enfant[48]. Le premier de ces mécanismes renvoie à un processus caractérisant tout progrès cognitif, à savoir qu'en cas

[47] Des processus caractérisant la pensée en général (Rubinstein, 1963).

[48] S'intéressant aux convergences dans le processus de construction de connaissances entre les domaines scientifiques et psychogénétiques, Piaget & Garcia, 1983) montrent que « les mécanismes du passage d'une période historique à la suivante sont analogues à ceux du passage d'un stade psychogénétique à son successeur » (p. 41).

d'accroissement de connaissances, « le dépassé est toujours intégré dans le dépassant ». Il s'agit là d'un corollaire du principe piagétien encore plus général qui veut que « la source générale des instruments d'acquisition de connaissances est l'assimilation des objets et des schèmes à des schèmes et de structures antérieures » (p. 297). Ce qui implique que chez l'enfant – toute comme dans le progrès scientifique – toute nouvelle connaissance est accueillie progressivement dans des structures cognitives déjà constituées.

Le second mécanisme repéré par Piaget et Garcia (1983) dans leurs études a, du point de vue de cette recherche, une importance supérieure. Il s'agit de la mise en évidence de trois formes d'analyses sous-tendant la construction de connaissances en général, à savoir l'analyse intra-objectale (*Ia*), l'analyse inter-objectale (*Ir*) et l'analyse trans-objectale (T) (Piaget et Garcia, 1983). Selon cette perspective, les élèves de cette recherche peuvent analyser les systèmes numériques proposés selon trois approches : soit ils centrent leurs analyses sur les objets et les propriétés directement perçus, ce qui relève de l'analyse intra-objectale ; soit ils centrent leurs analyses sur les relations entre les objets et propriétés identifiés, ce qui relève de l'analyse inter-objectale; soit ils centrent leurs analyses à partir de l'élaboration de nouveaux objets et de nouvelles relations non directement perçus. Le passage d'une étape à l'autre (Ia-Ir-T) est, dans cette perspective, à la base des processus de constructions de connaissances[49].

Retenons donc qu'un objet, un système ou un phénomène peut être analysé de façon intra-objectale lorsqu'il est abordé — expliqué — en ne tenant compte que des éléments isolés du phénomène ou de l'objet en question. L'approche inter-objectale se manifeste ensuite lorsque le sujet tient compte, en plus des propriétés de l'objet, de l'ensemble des rapports qui les sous-tendent. Ce dernier comprend les propriétés des objets comme des invariants de transformation (Garcia, 2000). C'est donc à partir de ces invariants que des nouvelles structures prouvent être inférées. Leur succession obligée, des intra aux inter et seulement enfin aux trans, met en évidence, d'après (Piaget et Garcia, 1983), « le caractère constructiviste et dialectique des activités cognitives » (p. 42). Selon les auteurs, « l'empirisme pourrait à la rigueur rendre compte du passage de l'intra à l'inter, puisqu'il s'agit en ce cas de substituer des relations aux prédicats initiaux et que les relations peuvent être suggérées par des simples constatations, mais le passage de l'inter au trans implique des dépassements avec tout ce qu'ils comportent de constructions nécessaires » (p. 42). Précisons enfin que ces trois phases (Ia, Ir, T), avec leurs caractéristiques, « sont de nature fonctionnelle et non pas structurale, donc commune à tous les niveaux et non pas spéciales à certains

[49] La généralité de cette triade intra, inter et trans, constitue, selon Piaget et Garcia (1983), « la principale acquisition » à laquelle ont abouti leurs efforts comparatifs entre la psychogenèse et l'histoire des sciences.

d'entre eux, ou, si l'on préfère, inhérentes à toute construction et non pas liées à certains domaines ou niveaux » (Piaget et Garcia, 1983, p. 207).

Weil-Barais (2005) souligne à ce propos que les résultats des travaux relatifs aux représentations des élèves « rejoignent la thèse exposée par Piaget et Garcia ». Appliquée donc aux systèmes présentés aux élèves dans cette recherche, nous nous attendons donc à des réponses sous-tendues par l'une, deux ou les trois formes d'analyses avancées par Piaget et Garcia. Concernant le TNI par exemple, aller au-delà des simples constatations des éléments et des connections perçues exige de la part des élèves de développer de l'analyse inter-objectale. En outre, tant pour le TNI comme pour le Smartphone, l'identification et la mise en relation de l'information et du logiciel avec le reste des éléments identifiés par les élèves relève notamment de l'analyse trans- objectale.

1.7.2. L'abstraction et la généralisation

Les mécanismes de passage exposés précédemment (Ia, Ir, T) coexistent avec ce que Piaget et Garcia appellent des « instruments de construction de connaissances », à savoir l'abstraction et la généralisation. En effet, nous avons déjà affirmé que l'abstraction est un processus sous-jacent à l'analyse. Luria (1978) la définit comme « l'isolation des caractéristiques essentielles des objets » (p. 52). L'abstraction permet donc de négliger dans l'analyse certaines propriétés ou relations au profit de l'analyse d'autres[50]. Le processus d'abstraction peut aussi se considérer comme le passage « d'une représentation particulière à une représentation plus générale, de propriétés particulières à propriétés plus universelles » (Brissiaud, (1989) 2003, p. 61).

A ces considérations l'épistémologie génétique introduit une nouvelle distinction concernant la notion d'abstraction. Les recherches de Piaget le conduisent, en effet, à théoriser deux types d'abstraction (Piaget & Garcia, 1983). Une première abstraction, dite « abstraction empirique », consiste en l'abandon de propriétés empiriques des objets. Elle est empirique dans la mesure où elle porte sur des éléments perçus directement par le sujet — la couleur, la forme, le poids le mouvement, etc. C'est donc, selon Piaget et Garcia, en mobilisant l'abstraction empirique qu'on est « capable de constater certaines propriétés des objets pour les détacher ou les analyser à part » (1983, p. 230). Le fait d'associer à l'écran tactile la capacité de détection relève principalement de l'abstraction empirique. L'abstraction

[50] C'est d'ailleurs pourquoi, remarque Brissiaud (2002), les psychologues n'utilisent pas une opposition binaire entre le concret et l'abstrait, mais parlent plutôt de processus d'abstraction.

empirique est donc à relier à l'approche inter-objectale car il s'agit de la capacité à isoler des propriétés inscrites dans les objets. Or, cette capacité est une condition nécessaire mais pas suffisante au développement d'une approche trans-objectale. Cette dernière nécessite une deuxième forme d'abstraction : l'abstraction réfléchissante.

En effet, selon Piaget et Garcia, il convient d'opposer à l'abstraction empirique, tirant ses informations des objets eux-mêmes, ce qu'ils appellent l'abstraction réfléchissante. La caractéristique principale de l'abstraction réfléchissante est qu'elle « permet au sujet d'isoler des propriétés non portées par les objets mais construites par le sujet sur la base de mises en relation débouchant sur la construction de propriétés relationnelles » (Piaget & Garcia, 1983, p.231). L'abstraction réfléchissante porte ainsi sur des activités cognitives plus complexes — schèmes ou coordinations d´actions, opérations, structures, etc. — et « procède à partir des actions et opérations du sujet selon deux processus nécessairement conjoints : 1. un réfléchissement sur un palier supérieur (par exemple de représentation) de ce qui est tiré du palier inférieur (par exemple d'action) ; 2. une réflexion reconstruisant et réorganisant, en élargissant, ce qui est transféré par réfléchissement » (Piaget et Garcia, p. 14).

L'abstraction réfléchissante se différencie donc de l'abstraction empirique en ce qu'elle permet au sujet de se détacher de ce qu'il perçoit directement des objets et de construire ainsi des nouveaux schèmes, connaissances et concepts sans avoir besoin de constater à nouveau les propriétés des objets. Elle ne devient effective que lorsque le sujet, au lieu de se centrer exclusivement sur le constat de certaines propriétés, est capable de les comparer, les mettre en relation pour inférer ainsi des nouvelles relations et structures. Si associer aux écrans tactiles la propriété de détection relève de l'abstraction empirique, rendre compte de la manière dont le système Smartphone est capable de déterminer la position relative doigt-icône relève, en revanche, de l'abstraction réfléchissante.

Enfin, dans la mesure où tout processus d'abstraction s'accompagne d'un processus de généralisation, Piaget et Garcia font correspondre à l'abstraction empirique et à l'abstraction réfléchissante deux formes distinctes de généralisation, à savoir les généralisations extensionnelles et les généralisations complétives[51]. Selon les auteurs cités, l'abstraction empirique est la source de généralisions extensionnelles ou inductives. Ce type de généralisation est généré lorsque le sujet s'en tient à des simples constats empiriques issus d'une perception directe avec l'objet ou phénomène perçu. Elle consiste simplement à

[51] Piaget et Garcia conçoivent le développement cognitif comme le résultat de « l'itération » d'un même mécanisme de construction, à savoir « abstraction réfléchissante et généralisation complétive se répétant indéfiniment, palier par palier, mais constamment renouvelé et élargi » (1983, p. 14).

généraliser les faits constatés sans y porter une réflexion, et à ne retenir qu'une seule des multiples propriétés ou régularités intrinsèques à l'objet. De ce point de vue, certains élèves peuvent être induits à généraliser le fonctionnement du TNI à l'ensemble d'artefacts de projection d'images ou tactiles.

En revanche, toujours selon Piaget et Garcia, l'abstraction réfléchissante permet la formation de généralisations complétives ou constructives. C'est-à-dire des généralisations constituant des synthèses au sein desquelles les données acquièrent de nouvelles significations. De même que l'abstraction réfléchissante, les généralisations constructives sont alors tirées des formes détachées du contenu de ce qui est directement perçu. Distinguer le fonctionnement du TNI d'un simple artefact à projection d'images constituerait, de ce point de vue, un exemple de généralisation complétive.

1.7.3. Concluions-Processus de pensée

Que ce soit pour mobiliser une représentation ou que ce soit pour identifier des objets, des propriétés ou des relations – c'est-à-dire pour conceptualiser –, il est essentiel que l'élève soit capable de transférer les caractéristiques d'autres situations ou problèmes déjà rencontrés vers la nouvelle situation à laquelle il est confronté. C'est-à-dire qu'il faut que l'élève soit capable d'opérer des généralisations. C'est lorsque l'élève généralise la structure et les traits phénoménologiques des problèmes et des situations précédemment rencontrés, qu'il dispose des éléments de lecture pour aborder des situations « nouvelles ». La notion de schème avec celle d'invariants opératoires discutées précédemment, constituent des condensés de ces généralisations. Or, opérer des généralisations n'est possible que si l'élève est capable de catégoriser et d'abstraire – isoler – les éléments et les caractéristiques essentiels et communs aux situations rencontrées.

1.8. Formulation des hypothèses de travail

Cette section clôture la première partie de ce mémoire et présente les hypothèses de travail de cette recherche. Dans un premier temps nous rappellerons le contexte et la problématique.

Nous avons évoqué dans l'introduction de cette recherche un certain nombre d'éléments rendant compte de l'importance et de la place des systèmes numériques contemporains dans le contexte socio-économique actuel. Nous y avons insisté sur le fait que ces systèmes – en raison de leur flexibilité fonctionnelle et de leur forte présence dans l'ensemble des secteurs

d'activité – sont devenus déterminants vis-à-vis de l'organisation, la stabilité et le développement des sociétés contemporaines : usages, production et innovation dans le domaine des technologies dites numériques caractérisent effectivement la période actuelle.

À ce contexte s'ajoutent un certain nombre de faits relatifs aux usages des élèves des technologies numériques :

1. Le contexte extrascolaire reste le principal contexte dans lequel les élèves construisent leur rapport au numérique.
2. Les usages du numérique en contexte scolaire sont faibles et généralement éloignés des préoccupations des élèves.
3. Le rapport des élèves aux technologies numériques se réduit essentiellement à sa dimension instrumentale – les utiliser.
4. Les usages des artefacts numériques se caractérisent par leur banalité et s'accompagnent d'un désintérêt pour leur fonctionnement.
5. Les usages des technologies numériques chez les élèves sont essentiellement au service de leur sociabilité et de leur construction identitaire.

Ce contexte nous a amené à nous interroger, depuis le champ de la didactique de la technologie, sur la manière de tenir compte et développer dans l'enseignement scientificotechnologique de l'école de base une approche compréhensive (conceptuelle, structurelle, fonctionnelle) qui soit représentative du milieu technique contemporain. Il s'agit là de la préoccupation centrale de notre recherche. Or cette préoccupation se heurte au fait que la recherche en didactique française dispose de fort peu de données sur le « déjà là » des élèves concernant leurs représentations et leurs conceptualisations des objets et technologies numériques.

Cet état de choses légitime donc notre problématique, à savoir : quelles sont les représentations et les conceptualisations sous-tendant la modélisation fonctionnelle des élèves relative au fonctionnement de systèmes numériques contemporains ?

Hypothèse de travail

La problématique étant posée, nous tâcherons de formuler notre hypothèse de travail.

Notre hypothèse de travail est la suivante : la compréhension et la modélisation du fonctionnement des systèmes numériques contemporains reposent sur une activité de conceptualisation et de représentation à laquelle les usages dont ces systèmes font l'objet chez les élèves ne leur permettent pas d'accéder.

Cette hypothèse générale peut être déclinée en trois composantes relatives aux frontières d'analyse et donc aux fonctions techniques et de service, à la matière d'œuvre, et aux flux de l'information.

En d'autres termes, pour les élèves :

- L'information en tant que matière d'œuvre particulière n'est pas prise en compte (composant N°1).
- Les processus et les composants assurant le traitement de l'information ne sont pas appréhendés (composant N°2).
- La frontière intégrant l'utilisateur valorise les fonctions de service et masque les flux et les fonctions techniques (composant N°3).

Deux approches supportent ces hypothèses. D'une part la théorie de la conceptualisation de Vergnaud selon laquelle la conceptualisation serait un processus émergeant des actions engagées par le sujet dans des situations et des problèmes concrets. La conceptualisation prend source dans l'action. Cela implique que la genèse et le développement des catégories de pensée, des représentations, des propositions et prédicats impliqués dans la conceptualisation du réel, n'ont lieu que lorsque le sujet est confronté à des activités et des situations effectives, selon les contraintes et les exigences de ces dernières.

D'autre part, pour soutenir ces hypothèses de travail nous faisons appel aussi à un principe encore plus général, à savoir le « principe d'unité de la conscience et de l'activité ». Selon ce principe, « l'activité de l'individu conditionne la formation de sa conscience, des associations, des processus et des propriétés psychiques, et ces dernières, en régulant l'activité, conditionnent son exécution adéquate »[52] (Rubinstein, 2007, p. 258). Le principe formalise les liens réciproques et l'interdépendance entre l'ensemble des capacités cognitives et l'activité ou les activités auxquelles ces capacités se rattachent. Le but étant de souligner ici que non seulement la conceptualisation, mais aussi l'ensemble des catégories et des processus mentaux qui se rapportent à la fonction de connaissance – le langage, la mémoire, le raisonnement, la résolution de problèmes mais aussi l'attention et la perception –, ont pour origine, se structurent et se développent uniquement dans le cadre de l'activité du sujet.

Si nous évoquons ici le principe de l'unité de la conscience et de l'activité c'est parce qu'il

[52] Par « activité » Rubinstein (1963) entend le « processus par lequel une attitude déterminée de l'homme se fait effective face à l'environnement, à d'autres individus ou à lui-même » (p. 173). Penser, regarder, écouter, être attentif, observer, jouer d'un instrument, abstraire, analyser, courir, résoudre un problème, etc., sont dans ce cadre des activités. Par « unité » il faut comprendre interdépendance ou relation dialectique entre activité et conscience. Quant à la catégorie « conscience », Wallon (1970) nous dit qu'« elle est de sa nature connaissance » (1970, p. 9). Chez Rubinstein elle désigne l'« activité psychique de l'homme » et comprend tant les aspects émotionnels que cognitifs (Luria, 1982). On ne s'intéressera ici qu'aux aspects cognitifs.

constitue un moyen simple d'argumenter que le développement de la pensée de l'enfant dépende en premier lieu de ses rencontres cognitives avec des activités effectives et « de combien l'enfant aurait été en contact et entrainé à l'intérieur de cette sphère de relations (Rubinstein, 1977, p. 427). De ce fait, on souligne enfin qu'« on doit donc partir de l'activité du sujet pour étudier la représentation et la conceptualisation » (Brun, 2007, p. 67).

Deuxième partie : Études empiriques

Cette partie présente la méthodologie générale de la recherche et les résultats des études menées.

Il s'agit dans un premier temps d'argumenter les choix des méthodes et des techniques d'enquêtes employées. Nous justifierons ici les choix des artefacts proposés à l'analyse des élèves, à savoir les Smartphones tactiles et les Tableaux Numériques Interactifs. Nous y remarquerons leurs similitudes techniques mais aussi leurs différences liées aux usages dont ces dispositifs font l'objet chez les élèves. Parallèlement, les particularités techniques des artefacts retenus seront précisées.

Dans un deuxième temps nous présenterons les cinq études menées dans cette recherche. Chaque étude constitue un chapitre indépendant. Nous détaillerons dans ces chapitres la méthodologie spécifique à chacune de ces études. Chaque chapitre présente, discuté et conclut individuellement les résultats de l'étude correspondante.

Chapitre 2. Orientations méthodologiques

Nous entendons expliciter dans ce chapitre d'une part les choix qui ont présidé à l'adoption des méthodes d'enquête et de recueil des données et le choix des systèmes retenus dans cette recherche d'autre part.

2.1. Le choix des méthodes d'enquête

Cinq études composent cette recherche. Leur méthodologie, compte tenu des caractéristiques spécifiques à chacune d'entre-elles, est décrite et détaillée dans les chapitres correspondants (voir. Chapitres 4, 5, 6, 7 et 8). L'analyse des réponses recueillies est également explicitée et détaillée dans les chapitres correspondants à chacune des études (voir. Chapitres 4, 5, 6, 7 et 8).

Deux méthodes d'enquête ont été ici retenues, à savoir des questionnaires à questions ouvertes et des entretiens de type « focus groupe ». La modalité « entretiens de groupe » a été choisie à la place des « entretiens individuels », car plus adaptée à notre problématique. Ce format d'entretien a été jugé plus pertinent dans le contexte de notre recherche car, contrairement aux entretiens individuels, les entretiens de groupe permettent les échanges entre les élèves et, en conséquence, le recueil d'un plus grand nombre de réponses, plus élaborées et davantage riches en contenu.

En effet, l'entretien de groupe ou focus groupe est une technique d'enquête qu'on peut caractériser comme « une discussion entre un groupe réduit[53] de personnes réunies pour débattre et échanger autour d'un sujet précis » (Rosenthal, 2016). Le sujet de la discussion est préalablement choisi par le chercheur qui à la fois modère et structure les échanges de façon à faire émerger le plus grand nombre de connaissances des participants sur la thématique en question. Précisons toutefois que si la dynamique du groupe stimule l'émergence de différents points de vue, elle n'empêche pas pour autant la défense des idées et des perspectives des participants. Cette technique d'enquête est particulièrement adaptée pour approfondir les connaissances (les opinions, l'expertise, les représentations, etc.) des participants à propos d'un sujet donné (Pearson & Vossler, 2016). Ceci se réalise, expliquent Sutton et Arnold (2013, p. 82) « en incitant le groupe avec des thèmes prédéfinis et des questions ouvertes, ce

[53] La taille « idéale » du groupe de personnes varie selon la littérature (Pearson & Vossler, 2016). Elle peut être comprise entre 2 et 12 personnes. Nous avons fait le choix d'interroger dans cette recherche entre 3 et 4 élèves par groupe.

qui permet à la discussion d'évoluer autour de ces questions ouvertes et facilite l'interaction parmi les participants. Ce processus permet aux participants d'intervenir selon leurs propres observations et compréhensions, tout en se nourrissant des idées des autres participants. […] Les groupes de discussion sont particulièrement utiles lorsque l'accès aux données est limité et lorsque le chercheur est face à des sujets inexplorés ».

Du point de vue de cette recherche, le principal intérêt qu'offre l'entretien de type focus groupe tient au caractère émergent et évolutif des données recueillies. Contrairement aux entretiens individuels, dans les entretiens de groupe les données collectées sont issus non seulement des individus isolés du groupe mais aussi et surtout, qu'elles émergent de l'interaction entre les participants. Elles sont en ce sens co-construites et évoluent en fonction de la confrontation entre les analyses développées par les participants. Dans cette perspective, les entretiens de groupe rendent possible la mise en question, l'acceptation et la réfutation, par les élèves eux-mêmes, des représentations sous-jacentes à leurs réponses. Ce dernier élément, comme nous le verrons plus en détail dans l'étude N°2, nous a permis de constater à la fois l'émergence et la disparition de certaines représentations.

Précisons toutefois que la méthode d'enquête privilégiée dans le cadre de cette recherche a été la passation des questionnaires comportant principalement des questions ouvertes. À cet égard la méthodologie en question présente certaines particularités. Une problématique centrée à la fois sur le processus de conceptualisation et sur les représentations mentales sous-jacentes à la pensée des élèves nous a conduit vers l'élaboration d'une méthodologie qu'on peut qualifier de progressive – ou évolutive. Par méthodologie progressive nous entendons une méthodologie qui, au fur et à mesure qu'avance le recueil des données, s'est modifiée afin de compenser le fait que les représentations des élèves – relatives à une même situation – dépendent fortement du choix lexical et donc sémantique de la question qui leur a été effectivement présentée. La méthodologie implémentée dans cette recherche réagit donc progressivement au fait que les éléments de réponses fournis par les élèves – à partir desquels nous devons inférer les représentations et les conceptualisations sous-jacentes à leur pensée – varient sensiblement en fonction de la forme de la question à laquelle ils sont confrontés.

En effet, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédemment, les représentations se caractérisent en tant que des contenus de pensée particulièrement situés, c'est-à-dire construits selon les exigences et les caractéristiques de la situation : « il suffit que la situation change, ou qu'un élément de la situation non remarqué soit pris en compte, alors qu'il ne l'était pas, pour que la représentation soit modifiée » (Richard, 2004, p 9). Ajoutons à cela que ni les

représentations ni les conceptualisations sont accessibles à l'observation : nous devons les inférer à partir des éléments de réponses fournis par les élèves aux questions formulées et figées dans les questionnaires. Or ces éléments de réponses sont eux aussi variables selon les « caractéristiques de surface » des questionnaires proposées aux élèves : introduction, consignes, précisions, longueur des questions, termes mis en avant, etc. (diSessa, 1993 ; Gaillard & Urdapilleta, 2013). Ignorer ces éléments aurait donc compromis la légitimité de notre recherche : on constatera par la suite qu'une légère modification d'une des questions proposées aux élèves induit chez ces derniers des réponses relativement différentes, voire très différentes.

Face à des résultats intrinsèquement variables, nulle généralisation n'est possible et donc point de légitimité de notre recherche. Nos résultats ne peuvent avoir un certain degré de généralité que s'ils sont fondés sur l'analyse des invariants dans les productions des élèves.

Comme on a pu voir aussi dans la section consacrée à la conceptualisation, c'est le schème qui est au « centre de l'organisation de l'activité » de l'élève (Brun, 2007) et, en ce sens, c'est « la meilleure unité pour étudier la représentation » (Vergnaud, 1985). Inférer les représentations et les conceptualisations des élèves à propos du fonctionnement des systèmes numériques suppose donc de fonder nos analyses sur les invariants constatés dans leurs réponses : quels organes identifient-ils (ou négligent-ils) *systématiquement* ? ; quelles relations identifient-ils (ou négligent-ils) *systématiquement* ? ; qu'est-ce qu'ils mettent *systématiquement* en avant ? ; qu'est-ce qu'ils méconnaissent *systématiquement* ? Or, pour accéder aux éléments de réponses systématiques des élèves, il faut les interroger à plusieurs reprises – au moins deux fois – en modifiant la forme de la question, tout en visant la même situation. Si cela ne pose pas de difficultés majeures en contexte d'entretien – c'est une des idées renfermées dans la notion de « relance » – dans la passation des questionnaires cette démarche n'est possible que si on présente aux élèves des questionnaires avec des formulations différentes.

C'est cette démarche méthodologique qui a été mise en œuvre dans le cadre de cette recherche. Elle sera explicitée et détaillée dans les études correspondantes, à savoir les études N°2 et N°3 et les études N°4 et N°5.

2.2. Le choix des systèmes numériques

Nous interrogeons dans cette recherche nombre d'élèves par rapport au fonctionnement de deux systèmes numériques en particulier : le Tableau Numérique Interactif et le Smartphone tactile. Le choix de ces dispositifs a été dicté par deux critères : d'un côté il s'agit de dispositifs proches et familiers des élèves ainsi qu'accessibles à leur étude formalisée et, de l'autre côté, il s'agit des dispositifs comparables à la fois sur la plan fonctionnel et structurel.

2.2.1. Du point de vue de leur proximité vis-à-vis des élèves

Introduits formellement en France en octobre 2004 dans le cadre du projet *PrimTice* (Ministère de l'Education Nationale, de la Jeunesse et de la Vie Associative, 2011), la présence des Tableaux Numériques Interactifs dans les établissements scolaires françaises n'a cessé d'augmenter[54] depuis, principalement dans le secteur primaire et le secteur secondaire (Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 2015). Les TNI sont effectivement installés dans des nombreuses salles de classes et, par conséquent, accessibles à l'examen et à l'étude de nombreux élèves à travers l'enseignement de la technologie.

En ce qui concerne les Smartphones tactiles, le contexte est encore plus favorable à l'accès des élèves à ces dispositifs. Comme le mesure l'INSEE (2016), en 2014 un nombre très important (91 %) des ménages français était équipé de téléphones portables. Or, précise le site, les ménages français privilégient davantage les Smartphones. Alors que ceux-ci représentaient les trois quarts des achats en 2014 (77%) – deux tiers en 2013 – ils représentent 84 % des téléphones acquis en 2015. Le document parle en ce sens d'« explosion » pour se référer à l'achat des Smartphones et des tablettes tactiles : « l'achat de Smartphones sans engagement explose à nouveau cette année (+ 70 %), renforçant encore la suprématie des Smartphones sur le marché » (INSEE, 2016).

Les Smartphones tactiles sont aujourd'hui, en effet, des « objets de la vie courante » les plus banaux. Ils se trouvent de ce fait dans la poche de nombreux élèves et sont également accessibles à leur examen détaillé et médiatisé par l'enseignant de technologie. L'intérêt et l'actualité que peut présenter l'étude de ce dispositif dans l'enseignement de la technologie et

[54]Par rapport à d'autres pays européens, notamment avec l'Angleterre, cette augmentation n'a été en France que très discrète et modérée. Par exemple, en 2007 et selon le *Becta Harnessing Technology Schools Survey*, plus de 98% des écoles (primaires et collèges) au Royaume-Uni étaient équipées en TNI, tandis que dans le même période le paysage scolaire français (écoles, collèges et lycées) comptait avec environ 7 000 TNI.

des sciences en général sont attestés par la présence d'un ensemble de ressources mis à disposition par le Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (2016), afin d'accompagner la mise en œuvre des nouveaux programmes du collège.

2.2.2. Des similitudes entre les systèmes : fonctionnelles et structurelles

Le choix des systèmes Tableau Numérique Interactif et Smartphone tactile a aussi été dicté par le fait qu'il s'agit de deux systèmes présentant des similitudes fonctionnelles et structurelles importantes. En effet, de par leur caractère de systèmes numériques, tant le fonctionnement du Smartphone comme celui du TNI dépendent de la présence d'une unité de traitement de l'information équipée des processeurs et des logiciels. Leur fonctionnement dépend aussi des processus de transmission de l'information entre les différents composants du système. En outre, tant le fonctionnement du TNI que celui du Smartphone ne sont possibles que parce qu'il existe une unité de détection composée de capteurs et dont le rôle est la prise en charge des différentes actions de l'utilisateur sur le système. Prendre en compte l'action et la détection en tant que blocs fonctionnels, ainsi que relever la présence des capteurs en tant que composants sont donc des dimensions fondamentales vis-à-vis de la description du fonctionnement des deux artefacts ici retenus : ce sont essentiellement les actions de l'utilisateur sur le système qui seront d'abord détectées, puis transmisses et traitées dans l'unité de traitement afin de répondre aux attentes de l'utilisateur et d'assurer ainsi un fonctionnement adéquat. Enfin, les deux dispositifs concrétisent leur fonctionnement par une dernière étape assurant l'affichage que nous appelons ici « Sortie ».

2.2.3 Des différences entre les systèmes : transparences et usages

En revanche, bien que les deux artefacts présentent des points communs relatifs à la structure et au fonctionnement, ils accusent aussi des différences bien marquées, notamment du point de vue de leur transparence structurale et du point de vue des usages dont ils font l'objet chez les élèves. En effet, les élèves perçoivent et interagissent avec ces artefacts de manière fondamentalement distincte : alors que le système TNI révèle aux élèves une certaine transparence structurale, le système écran tactile révèle aux élèves une opacité structurale absolue.

Le système TNI expose effectivement aux élèves un certain nombre de composants tels que les câbles, l'ordinateur, le vidéoprojecteur, le stylet et l'écran. Cette transparence structurelle

du dispositif – qu'on peut qualifier de type « boite de verre » (Rabardel, 1993) – permet aux élèves de constater les liaisons filaires entre certains des éléments du système et de délimiter ainsi le périmètre caractérisant l'« ensemble TNI ». Or, précisons avec Lebeaume (2011) que l'architecture d'ensemble du Tableau Numérique Interactif ne peut en aucun cas être réduite aux seuls éléments perceptibles « car ils masquent le traitement, les entrées et les sorties ainsi que le stockage de l'information assurés par le logiciel, les connexions Internet et les liaisons Wifi » (p. 162). La question est donc de savoir si la modélisation des élèves tient compte de ces aspects masqués.

En revanche le téléphone à écran tactile, quant à lui, il n'expose aux élèves que son écran et quelques boutons. La transparence associée au Smartphone est donc de type « boite noire » et repose sur l'invisibilité de l'intérieur du système. A contrario donc du TNI, l'opacité structurale du système Smartphone empêche aux élèves de constater à la fois la présence de l'ensemble des composants constituants et des liaisons entre ces composants.

Ajoutons à ces éléments une deuxième dissemblance, à savoir l'existence de deux processus de « genèse instrumentale » (Rabardel, 1995a) car différemment mis en œuvre dans l'interaction des élèves avec les artefacts qui ont été proposés à leur investigation et analyse dans cette recherche. En effet, en tant que téléphones portatifs, les téléphones tactiles sont des artefacts particulièrement proches des élèves et, de ce fait, font l'objet de manipulations et d'utilisations multiples. Le tableau numérique, en revanche, est un dispositif réservé plutôt aux usages de l'enseignent et, en conséquence, fait rarement l'objet de manipulations chez les élèves. De ce point de vue, les processus d'instrumentation relatifs à chacun des systèmes numériques ici retenus conduisent les élèves, en principe, à conceptualiser et à se représenter différemment les similitudes précédemment évoquées.

Malgré les différences apparentes entre les deux systèmes : est-ce que les élèves sont en mesure d'identifier les étapes à la fois essentielles et communes à la description du fonctionnement des deux systèmes proposés ? Par étapes essentielles et communes nous entendons les étapes « Action », « Détection », « Transmission », « Traitement » et « Sortie ». Est-ce que les élèves sont en mesure d'identifier les composants essentiels et communs aux deux systèmes proposés ? Par composants essentiels et communs nous entendons les capteurs, les logiciels, l'information, le processeur. Est-ce que les élèves identifient l'information en tant que matière d'œuvre essentielle au fonctionnement des deux systèmes ? Dans quelle mesure les modèles sous-jacents aux explications des élèves sont-ils sous l'emprise des caractéristiques apparentes des systèmes proposés ?

2.3. Caractéristiques techniques des artefacts retenus

Notons ici que les questions *comment marche un écran tactile ?* et *comment ça marche un TNI ?* n'ont pas de réponses uniques. Il faudra donc tenir compte lors de l'analyse des réponses des élèves qu'ils existent plusieurs types de technologies prenant en charge l'évènement contact dans ces dispositifs.

2.3.1. Les technologies d'interface associées aux Smartphones tactiles

Les deux grandes familles[55] d'écrans tactiles basent leur fonctionnement sur des technologies dont la détection de l'interaction des actions des utilisateurs est liée aux variations des grandeurs électriques (variations de la résistance et de la capacité électrique). Ces dernières sont connues sous le nom de technologies résistives et capacitives. Les écrans intégrant la technologie résistive réagissent fonctionnellement au contact de n'importe quel objet car il suffit de déformer sa surface (flexible) pour modifier la valeur de la tension électrique qui est appliquée à cette dernière.

Les écrans du type capacitif ne sont sensibles qu'aux variations de la charge cumulée sur sa surface – des variations de la *capacité électrique* – et ne réagissent donc qu'aux objets pouvant modifier cette grandeur, à savoir des conducteurs. Dans les deux cas, le principe général auquel répond le reste du système est identique : deux régimes indépendants sont comparés ; un régime est fixé et l'autre, variable, est fonction de l'action sur la surface de l'écran ; pour l'un l'interaction avec l'usager est mécanique, pour l'autre l'interaction est électrique.

2.3.2. Les technologies d'interface associées au TNI

En ce qui concerne les TNI, deux grandes familles de technologies se dégagent également vis-à-vis de la détection des actions de l'utilisateur. Les systèmes Hitachi, Promethean et SMART, sont des systèmes qui emploient la technologie dite tactile. Cette technologie est directement incorporée sur la surface du tableau : c'est en agissant directement sur la surface du tableau, sans aucun dispositif spécifique à cette fin, que l'utilisateur du TNI accède à toutes les fonctionnalités du TNI. L'écran de ce type de tableau est composé de deux toiles flexibles (plaques électriques) qui agissent comme des condensateurs plans. Les surfaces du

[55] Certains écrans tactiles fondent leur principe de fonctionnement sur la base des phénomènes acoustiques et optiques.

type tactile utilisent ainsi la propriété physique des condensateurs plans à modifier leur capacité électrique lors des variations de sa géométrie (variation de la distance entre ses plaques)[56]. Sous l'effet de la pression exercée par l'utilisateur, la distance entre leurs plaques varie en modifiant ainsi la capacité en ce point. Ce type de technologie est très apprécié par les utilisateurs par son indépendance vis à vis du stylet.

La société Epson France a présenté un nouveau système appelé « vidéoprojecteur interactive »[57]. Il s'agit d'un vidéoprojecteur qui permet d'accéder directement à l'ordinateur par une relation non filaire avec le stylo – détection du champ électromagnétique émis par le stylet. Cette technologie a l'avantage d'être partiellement indépendante de la surface de projection mais a l'inconvénient d'être fortement dépendante du stylo[58].

On s'aperçoit donc que répondre à la question (complexe) sur le fonctionnement de ces objets-systèmes nécessite de mobiliser et d'intégrer plusieurs éléments lors de l'analyse.

[56] La formule (simplifiée) pour déterminer la capacité $C= \varepsilon (A/d)$ avec A=surface ; d=distance entre les plaques et ε comme la permittivité du diélectrique (isolant), permet de se représenter le phénomène.

[57] Selon cette société, ce type de tableau est en position de prendre une place importante sur le marché des TNI : ne pas avoir à remplacer le tableau blanc de la classe constitue un vrai avantage compétitif (Espson France, 2011).

[58] Les enseignants qui utilisent ce type de technologie ont manifesté son mécontentement par rapport à le stylo. Ils argumentent qu'il est très fragile et qu'une fois abimé, le système devient inutilisable.

Chapitre 3. Étude N°1 : comment ça marche un Tableau Numérique Interactif (TNI) ? Lexique et représentations des collégiens à propos du fonctionnement du Tableau Numérique Interactif.

3.1. Méthodologie

Cette première étude explore les représentations et les conceptualisations de 270 collégiens à propos du fonctionnement des « Tableaux Numériques Interactifs » (TNI). Il s'agit d'une étude fondée sur l'analyse des réponses à un questionnaire distribué auprès d'élèves issus de trois collèges publics de l'Académie de Créteil, des collèges que nous appellerons ici : « Camille », « Georges » et « Rolland ».

3.1.1. Échantillon

L'étude a été menée auprès de 270 élèves répartis dans les quatre classes du collège de la manière suivante :

- 66 élèves en 3e,
- 54 élèves en 4e,
- 64 élèves en 5e
- 86 élèves en 6e.

3.1.2. Présentation du questionnaire

ENQUÊTE : Le TNI : comment ça marche ?

Récemment une nouvelle technologie appelée Tableau Numérique Interactif (TNI) est apparue dans ta classe.

I. **D'après toi, quels sont les composants indispensables au fonctionnement du TNI ?**
II. **Avec tes mots, merci d'écrire comment tu penses que ça marche. Tu peux t'aider d'un dessin.**
III. **Le TNI est un tableau numérique interactif. A ton avis pourquoi on dit *numérique* ? Pourquoi on dit *interactif ?***
IV. **Indique d'autres objets qui, selon toi, fonctionnent de la même façon.**

Merci de tes réponses

Le questionnaire proposé aux élèves se compose de quatre questions. Précisons que les tableaux numériques installés dans les salles de classe visitées lors de la passation des questionnaires étaient du type « tactile » : la surface de projection assure également l'interactivité du dispositif avec l'utilisateur.

La première question demande aux élèves de citer les éléments qui, selon eux, assurent le fonctionnement du tableau numérique interactif : « d'après toi, quels sont les composants indispensables au fonctionnement du TNI ? ». L'objectif de cette première question est double. Le premier, explicité par la question elle-même, est directement lié au but de cette enquête : connaitre quels sont ces composants qui selon les élèves assurent le fonctionnement du TNI. Cette question exige des élèves de se représenter et d'annoncer tout ce qui selon eux fait partie du fonctionnement du tableau numérique.

Le deuxième objectif poursuivi avec la première question est un objectif méthodologique, c'est-à-dire lié aux exigences du recueil des données de cette recherche. En effet, dans la mesure où ce qui nous intéresse ce sont les représentations, conceptualisations et modélisations fonctionnelles des élèves par rapport au fonctionnement du TNI, une fois les élèves confrontés à la deuxième question, la première question nous permettra de n'avoir que des réponses, en principe, concernées par cet aspect. Autrement dit, puisque la première question du questionnaire demande aux élèves de se représenter « avec quoi ça marche », lorsqu'ils répondront à la deuxième question, ils ne pourront plus, en principe, citer simplement des composants isolés, mais ils devront les mettre en relation, évoquer des processus en fonction d'une question qui leur demande maintenant d'expliciter « comment ça marche ? ».

Ainsi, la deuxième question du questionnaire, à savoir « Avec tes mots, merci d'écrire comment tu penses que ça marche. Tu peux t'aider d'un dessin » est donc la question centrale du questionnaire. Elle vise, en effet, le lexique, les représentations et les conceptualisations des élèves à propos du fonctionnement du tableau numérique interactif et, par conséquent, la deuxième question répond directement à la problématique de notre recherche.

La troisième question du questionnaire est une question double. Celle-ci a l'ambition d'élucider les idées des élèves autour des notions plus abstraites comme celles d'interactivité et du numérique liées à l'appellation du TNI : « à ton avis, pourquoi dit-on numérique ? » ; « pourquoi dit-on interactif ? ». Nous voulons examiner ici le sens donné par les élèves à ces

mots. Il est question de deux notions proches de l'univers linguistique des élèves, mais sur lesquelles ils ne s'interrogent probablement pas.

Enfin, la quatrième question — « Indique d'autres objets qui, selon toi, fonctionnent de la même façon » — permet d'examiner les généralisations faites par les élèves à partir de leur représentation du fonctionnement du TNI. Cette question permet, d'une part, d'évaluer la cohérence des réponses exprimées par les élèves à propos du fonctionnement du TNI (de contextualiser leurs représentations en quelque sorte) et, d'autre part, de mieux repérer les éléments auxquels les élèves associent le fonctionnement du TNI et à partir desquels ils établiront les généralisations.

Dans la mesure où elles recueilleront des éléments de réponse précisant le sens donné par les élèves à certains des mots utilisés, la troisième et la quatrième question du questionnaire nous permettront, d'un côté, d'augmenter le nombre d'indicateurs facilitant l'inférence et l'analyse des réponses et, de l'autre côté, de pallier le fait que « la validité de l'analyse du contenu dépend entièrement de la possibilité de décider ce que l'emploi de tel ou tel mot ou expression dénote » (Henry & Moscovici, 1968, p. 41).

3.1.3. Analyse des réponses

L'analyse des 270 réponses écrites a été développée en employant des techniques dites d'« analyse lexicométrique » et d'« analyse de contenu thématique » (Henry & Moscovici, 1968). Ces techniques nous ont permis à la fois le repérage des mots et des termes les plus fréquemment utilisés par les élèves, et l'élaboration et le traitement des catégories constituant notre grille d'analyse.

Notons que l'emploi de l'une ou l'autre des techniques ici précisées dépend du type de question posée. Dans le cas de la première question de cette étude par exemple, en raison du fait que l'énoncé limite l'analyse des réponses au repérage d'unités lexicales, nous avons procédé à une analyse lexicométrique. Cette dernière nous permet, par exemple, d'établir des statistiques sur la fréquence de citation de tel ou tel mot. En parallèle nous faisons l'hypothèse que plus la fréquence d'apparition du mot est importante, plus le composant en question — ordinateur, logiciel, vidéoprojecteur, etc. — est considéré par les élèves comme indispensable au fonctionnement du système.

En revanche, les réponses aux questions 2, 3 et 4, ont été analysées notamment au travers des analyses de contenu thématique. Dans la deuxième question, par exemple, les réponses soulignant que le TNI fonctionne grâce au fait que à tel ou tel composant est connecté ou lié à

tel ou tel autre, ont été codées dans la catégorie « Car éléments connectés » ; la catégorie « Grâce aux boutons », toujours dans la deuxième question, contient toutes ces réponses qui renvoient à l'idée qu'il suffit d'appuyer sur un bouton pour que le TNI fonctionne ; la catégorie « Tactiles » regroupe toutes les réponses des élèves pour qui le fonctionnement du TNI est analogue à celui de n'importe quel dispositif à écran tactile, c'est-à-dire en touchant l'écran ; la catégorie « Image » inclut les réponse des élèves pour qui le TNI fonctionne comme n'importe quel dispositif dont la fonction est la projection, la production ou la reproduction d'images (télévision, cinéma, vidéo, appareil photo, etc.).

3.1.4. Taux de réponses global et local.

La totalité d'élèves de l'échantillon initial n'a pas répondu à l'ensemble des questions. Parmi les 270 élèves ayant participé à cette étude, 253 ont répondu au moins à une des quatre questions posées : le taux total de réponses est donc de 93 %.
Le taux de réponses par question est particulièrement variable :

- ***91 %*** (245 élèves) pour la première question ;
- ***83 %*** (224 élèves) pour la deuxième question ;
- ***31 %*** (83 élèves) pour la troisième question ;
- ***89 %*** (240 élèves) pour la quatrième question.

3.2. Résultats

Dans la mesure où l'échantillon que nous interrogeons dans cette étude se compose d'élèves de tous les niveaux de la scolarité du collège, certaines questions exigent une présentation des résultats en deux temps : d'abord nous présenterons les résultats globaux, tous niveaux confondus, et puis les résultats par niveaux (6e vs. 3e). Ainsi donc, les résultats des questions 1 et 2 seront présentés comme suit : dans un premier temps, les résultats de l'ensemble de l'échantillon ; dans un second temps, les réponses des élèves de 6e (N=86) et de 3e (N=66). Les résultats des questions 3 et 4 ne seront discutés que globalement car les réponses fournies par les classes de 6e et les classes de 3e ne se différencient guère vis-à-vis de ces deux questions.

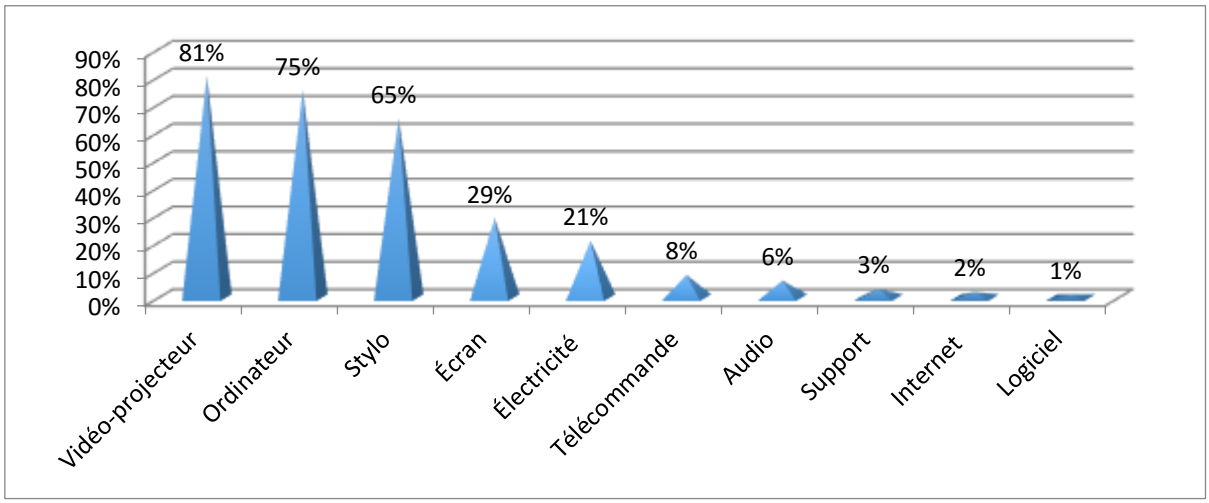
3.2.1. « D'après toi, quels sont les éléments indispensables au fonctionnement du TNI ?».

Rappelons que les résultats de cette question seront exposés en tenant compte d'abord des réponses de l'ensemble de l'échantillon et puis, dans un second temps, en contrastant les réponses des classes de 6e et de 3e.

3.2.1.1. Première question : tous niveaux confondus

La première question du questionnaire demande aux élèves de citer ces éléments qui à leur avis seraient indispensables au fonctionnement du TNI. La figure 3 montre la fréquence avec laquelle apparaissent les différents éléments cités par les élèves de l'ensemble de l'échantillon.

Figure 3. Éléments indispensables au fonctionnement du TNI. Tous niveaux confondus.



Pourcentages : calculés sur la base du nombre d'élèves ayant répondu à la première question, soit N=245.

La figure 3 met en évidence que la plupart des élèves citent sans difficulté les éléments visibles et extérieurs comme étant indispensables au fonctionnement du TNI. En faisant donc l'hypothèse que la fréquence d'apparition de l'élément cité est corrélée à l'importance et au rôle que les élèves lui associent vis-à-vis du fonctionnement du TNI, l'élément le plus important et indispensable au fonctionnement du tableau numérique, pour cet échantillon d'élèves, est le « vidéoprojecteur » avec 197 citations, suivi par l'« ordinateur » (184 citations) et le « stylo » (159 citations).

En revanche, ce qui ressort à l'évidence de la figure 3, c'est la faible proportion d'élèves (1 %) qui citent dans leurs réponses, l'élément « logiciel » : seulement trois élèves parmi les 245 répondants y font allusion. En conséquence, compte tenu de la faible fréquence d'apparition

de l'élément « logiciel », ce résultat suggère donc que les collégiens interrogés ne considèrent guère le « logiciel » comme étant un élément indispensable au fonctionnement du TNI.

En outre, compte tenu que les trois composants les plus cités par les élèves sont des éléments, sans doute indispensables, mais surtout observables et manipulables, la figure 3 suggère que les élèves de l'échantillon interrogé négligent dans leurs analyses la fonction d'éléments non-tangibles et imperceptibles comme, par exemple, l'information ou les ondes électromagnétiques assurant également le fonctionnement du dispositif en question.

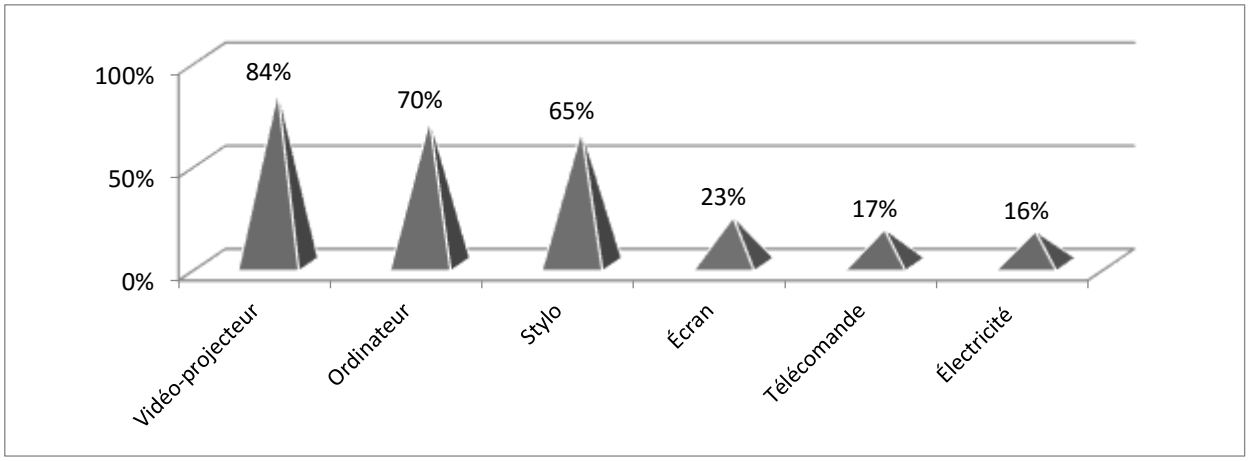
Examinons maintenant l'écart entre les réponses des élèves de 6e par rapport à celles des élèves de 3e.

3.2.1.2. Première question : réponses des 6e versus réponses des 3e

Lorsque l'on met en parallèle les réponses des 6e avec les réponses des 3e (3e *vs* 6e), relatives à la première question, l'on constate effectivement un certain écart entre leurs réponses, écart qu'on peut associer à leurs conceptualisations et modélisations fonctionnelles du dispositif (voir figures 4 et 5).

En effet, la figure 4 (voir ci-dessous) montre que les réponses des 6e (voir figure 4) font davantage référence aux composants directement observables et tangibles du système TNI, comme le vidéoprojecteur, l'ordinateur, le stylo et l'écran. Les 6e ne font pas allusion, en effet, ni aux logiciels, ni au réseau Internet, par exemple.

Figure 4. Éléments indispensables au fonctionnement du TNI. Réponses des élèves de 6e.

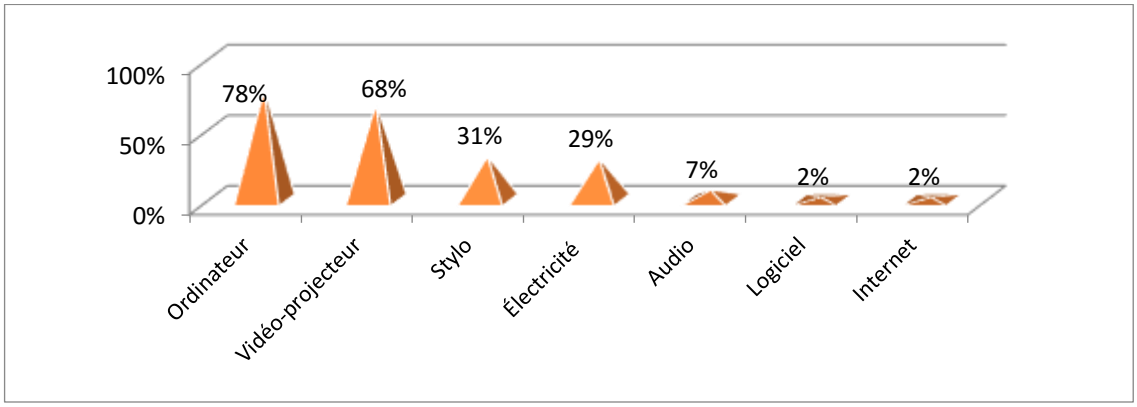


Pourcentages : calculés sur la base du total d'élèves de 6e, soit N=86.

En revanche, l'on constate dans la figure 5 que les propositions des élèves de 3e prennent en compte, bien que faiblement, des aspects non-matériels et non-tangibles assurant également le fonctionnement du dispositif. En effet, certains élèves de 3e considèrent les logiciels et

Internet comme des éléments « indispensables » au fonctionnement du TNI.

Figure 5. Éléments indispensables au fonctionnement du TNI. Réponses des élèves de 3e.



Pourcentages : calculés sur la base du total d'élèves de 3e, soit N=66.

Plus remarquable encore, la comparaison des figures 4 et 5 montre aussi des tendances opposées chez les deux populations d'élèves vis-à-vis de ce qu'ils considèrent comme étant le composant le plus indispensable au fonctionnement du TNI.

Pour les élèves de 3e, en effet, l'élément le plus indispensable au fonctionnement du TNI — selon la fréquence des citations — est l'ordinateur (voir figure 5). Or, pour les élèves de 6e c'est le vidéoprojecteur (voir figure 4). Notons que le vidéoprojecteur est le composant le plus actif et donc le plus remarquable du système TNI : c'est ce dernier qui retient le plus l'attention des plus jeunes.

3.2.2. « Avec tes mots, merci d'écrire comment tu penses que ça marche. Tu peux t'aider d'un dessin ».

Tout comme pour la question précédente, les résultats de cette question sont exposés d'abord par rapport aux réponses fournies par l'ensemble de l'échantillon et puis en contrastant les réponses des classes de 6 et de 3e.

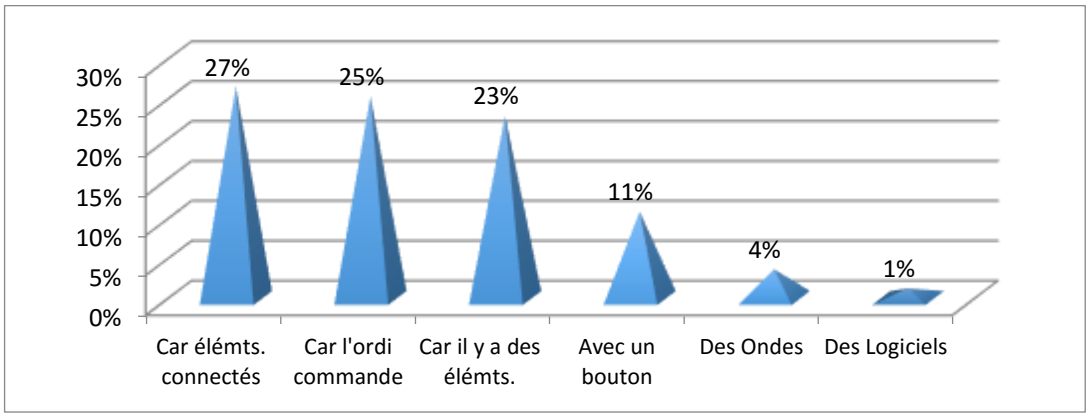
3.2.2.1. Deuxième Question : tous niveaux confondus

Si la première question présentée aux élèves demandait à ces derniers d'expliciter « avec quoi ça marche un TNI ? », la deuxième question demande aux élèves de mettre en relation les composants qu'ils viennent d'évoquer et d'expliciter « comment ça marche un TNI ». Il s'agit de la question principale de cette étude.

Le taux de réponses est ici de 83 % : 60 sur les 270 élèves n'ont pas répondu à la deuxième

question. L'ensemble des 210 réponses recueillies (tous niveaux confondus) a été regroupé dans les six catégories affichées dans la figure ci-dessous.

Figure 6. Q.2 : comment ça marche ? Tous niveaux confondus.



Pourcentages : calculés sur la base du nombre d'élèves ayant répondu à la deuxième question, soit N=210.

La figure ci-dessus montre les six groupes de réponses ou catégories élaborés à partir de l'ensemble des réponses des élèves. Le premier élément remarquable dans la figure 6 tient au fait qu'une proportion pratiquement nulle d'élèves (1 %) rend compte des logiciels dans leurs réponses. Nous n'y trouvons effectivement que 2 élèves sur les 270 interrogés, argumentant le fonctionnement du TNI en évoquant le rôle du logiciel dans ce dernier.

En revanche, la figure 6 met en évidence que les réponses les plus fréquentes à la question *comment ça marche*, sont celles qui mettent en avant la dimension « système » du dispositif. Les 56 élèves (27 %) dont leurs réponses ont été codées dans la première catégorie de la figue 6 — « *Car ces éléments sont connectés* » —, expliquent le fonctionnement du TNI en mettant en avant les branchements et les connexions qu'ils perçoivent entre les composants les plus visibles du système, à savoir le vidéoprojecteur, l'ordinateur et l'écran. Selon ce groupe d'élèves :

> **Q.N°12** : « *Le TNI fonctionne parce qu'il y a un fil qui part de l'ordinateur et qui relie le vidéoprojecteur* » (6e).
>
> **Q.N°245 :** « L*e tableau est connecté à l'ordinateur et au vidéoprojecteur qui met seulement l'image sur le tableau* » (3e).
>
> **Q.N°67 :** « L*e tableau est branché à l'ordinateur, qui envoie les images sur le tableau via le projecteur* » (5e).

Très proche du premier en nombre d'effectifs, le deuxième groupe de réponses codées est composé des explications de 53 élèves selon lesquels le fonctionnement du TNI repose,

principalement, sur la présence de l'ordinateur. Selon ce deuxième groupe d'élèves, c'est grâce à l'ordinateur que le TNI fonctionne. Ainsi, dans la catégorie, « Car *l'ordinateur commande »,* nous trouvons des réponses du type :

Q.N°187 : « *L'ordinateur commande et le vidéoprojecteur diffuse* » (4e).

Q.N°254 : « *C'est l'ordinateur qui commande et dirige. Le vidéoprojecteur projette l'image de l'ordinateur et le tableau permet de travailler directement sur l'ordinateur* » (3e).

La troisième catégorie de la figure 6 contient les réponses de 39 réponses selon lesquelles le TNI marche grâce à la présence d'un composant autre que l'ordinateur. Dans la catégorie « *Il y a des éléments* » on trouve donc les propositions des élèves pour qui le fonctionnement du TNI peut être expliquée par la présence d'un élément isolé du système. En ce sens, les réponses de cette catégorie sont en opposition avec les réponses de la première catégorie de la figure 6 — « *Car ces éléments sont connectés* ».

Les réponses appartenant à cette catégorie sont du type :

Q.N° 18 : « *Ça marche avec un vidéoprojecteur* » (6e) ;

Q.N° 63 :« Ça marche *parce qu'il y a un vidéoprojecteur et des couleurs* » (5e).

Q.N° 264 : « *Il suffit d'un stylo spécial* » (3e) ;

La catégorie « Avec un *bouton* » regroupe les idées des élèves qui exposent l'aspect « mécano-magique » de la procédure. Les 18 élèves de cette catégorie nous disent grosso modo que le TNI fonctionne en l'allumant avec le bouton correspondant. Nous trouvons ici des réponses telles que :

Q.N° 26 : *« Il faut juste appuyer sur le bouton »* (6e) *;*

Q.N° 31 : *« On allume en bas avec le bouton et aussi l'unité centrale »* (6e) ;

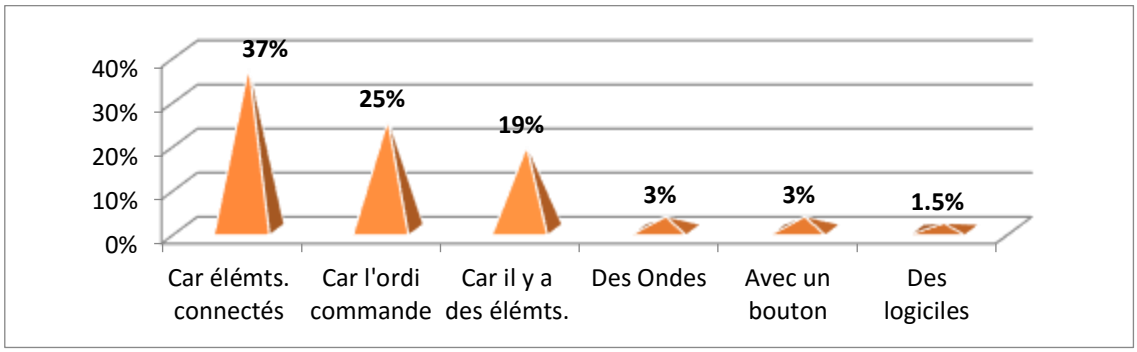
Enfin, 3% et 1% des élèves associent le fonctionnement du TNI respectivement à la transmission d'ondes électromagnétiques et à la présence de logiciels.

3.2.2.2. Deuxième question : réponse des 6e versus réponses des 3e

Lorsqu'on compare les réponses fournies par les élèves les plus jeunes (6e) avec celles données par les plus âgés (3e), (voir figure 7 et 8), on constate à nouveau des tendances opposées. Alors que les réponses de l'échantillon de classes de 3e soulignent que le TNI fonctionne grâce au fait que l'ordinateur, le vidéoprojecteur, et l'écran sont physiquement *connectés*, les réponses des élèves de 6e mettent l'accent sur le fait que le TNI fonctionne

grâce à la *présence* de tel ou tel composant. Or, le composant en question n'est jamais mis en relation avec le reste du système dans les réponses des plus jeunes.

Figure 7. Q.2 Comment ça marche selon les élèves de 3e

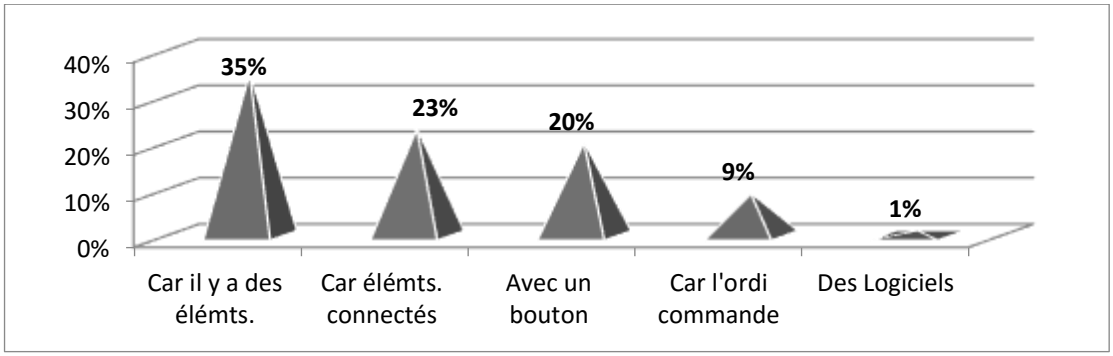


Pourcentages : calculés sur la base de N=66

Ainsi, alors que pour les élèves de 3e le principal élément de réponse souligne la « dimension système » du tableau numérique, les explications des 6e mettent en avant la « dimension élémentaire » du dispositif. Ainsi, l'on constate que les réponses les plus fréquentes chez les 3e (figure 7) mettent en avant non seulement les liens et les interconnexions entre certains des composants du TNI (37 %), mais aussi le rôle qui joue l'ordinateur dans l'orchestrations de ces composants (25 %).

En revanche, comme le montre la figure 8, les réponses les plus fréquentes chez les élèves de 6e (30 élèves) se limitent principalement, tout comme l'exigeait la première question, à citer et à *souligner l'existence des composants isolés* du dispositif — « ça marche grâce au vidéoprojecteur », « ça marche grâce au stylet », etc. — sans pour autant expliciter les liens entre ces éléments. De plus, l'idée selon laquelle « L'ordinateur commande » le dispositif est peu évoquée par la population de 6e (7 élèves).

Figure 8. Q.2 Comment ça marche selon les élèves de 6e



Pourcentages : calculés sur la base de N=86

En outre, la comparaison des figures 7 et 8 met aussi en évidence que tandis que 17 élèves de

6e expliquent le fonctionnement du TNI en avançant l'idée qu'« il faut juste allumer l'unité centrale » ou simplement « appuyer sur le bouton », seulement 2 élèves de 3e avancent une telle proposition. En revanche, un élève de chaque classe lie le fonctionnement du TNI à l'existence d'un logiciel.

Enfin, chose intéressante, si l'on met en parallèle les réponses recueillies dans les classes de 3e et de 6e (figures 7 et 8) avec les réponses fournies par l'ensemble de l'échantillon (figure 6), on peut remarquer que la distribution des catégories de réponses fournies par l'ensemble de l'échantillon (tous niveaux confondus) est quasi-identique à la distribution des catégories de réponses des classes de 3e. Autrement dit, les explications de l'ensemble de l'échantillon sont semblables à celles fournies par les élèves les plus âgés et différentes de celles fournies par les plus jeunes. Ce résultat suggère donc que les modélisations fonctionnelles simplifiées des élèves de 6e tendent à disparaitre au fur et à mesure que la scolarité avance.

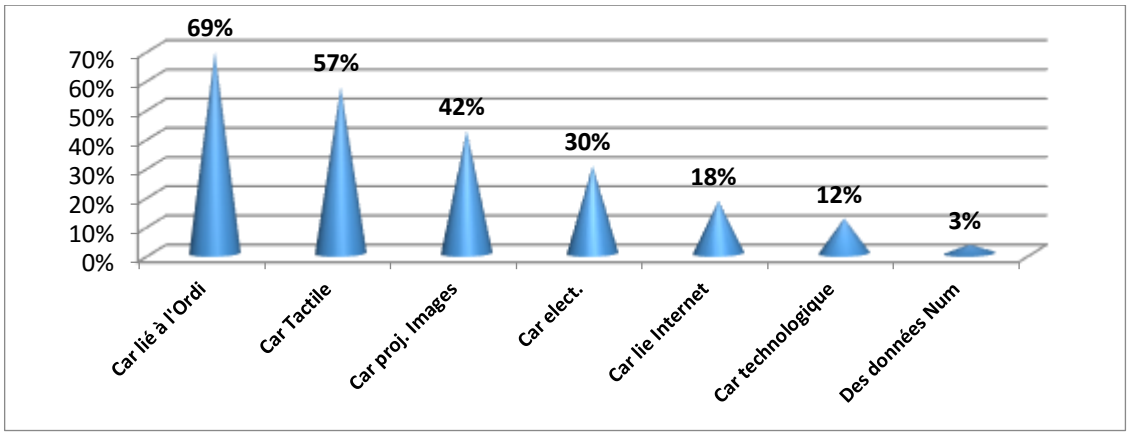
3.2.3. « Pourquoi dit-on numérique ? Pourquoi dit-on interactif ? »

3.2.3.1. Pourquoi dit-on numérique ?

Rappelons d'abord que le taux de réponse à cette question est 31 %, c'est-à-dire beaucoup plus faible que pour le reste des questions du questionnaire : parmi les 270 élèves de l'échantillon, seulement 84 ont répondu à cette question. Le nombre élevé de « non-réponses » constitue donc un premier élément d'analyse. Or, dans la mesure où expliquer ce constat sort du cadre de nos préoccupations principales, nous ne discuterons que brièvement cet aspect dans les conclusions générales de la présente étude.

Pourquoi les appelle-t-on des tableaux « numériques » ? La figure 9 montre (voir ci-dessous) que la réponse la plus fréquente dans l'ensemble de l'échantillon (tous niveaux confondus) tient à ce que l'appellation *numérique* se justifie car le tableau numérique TNI est directement « lié à l'ordinateur ».

Figure 9. Q.3. Pourquoi dit-on numérique ? Tous niveaux confondus



Pourcentages : calculés sur la base de N=84

Les réponses des 58 élèves, tous niveaux confondus, sont de cette nature et elles partagent les « explications » suivantes :

Q.N°3 : *« car c'est l'ordinateur qui fait tout »* (6e)

Q.N°197 : *« Parce que c'est à partir de l'ordinateur qu'il est numérisé »* (4e) ;

Q.N°221 : *« On dit qu'il est numérique parce qu'il marche avec un ordinateur »* (3e).

Le deuxième groupe de réponses se constitue autour de l'explication suivante : on dit numérique parce que le tableau est doté d'une interface tactile — grosso modo, parce qu'on touche et il répond. 19 % des réponses sont donc dans la catégorie « Car Tactile » :

Q.N°15 : *« C'est numérique parce qu'on peut le toucher et il fait ce qu'on veut »* (6e).

Q.N°96 : *« C'est comme le téléphone. Ça fonctionne avec des touches sur lesquelles on appuie »* (5e).

Q.N°179 : *« Il est numérique parce que cela marche avec un stylet et c'est tactile »* (4e).

Les réponses regroupées dans la troisième catégorie justifient l'appellation numérique en faisant allusion au fait que le TNI projette des vues projetées. On dénombre 35 réponses dans la catégorie « Images ». Ces réponses sont du type :

Q.N° 18 : *« C'est numérique car c'est une image projetée sur un écran »* (6e).

Q.N° 92 : *« Parce qu'on peut visionner des films et des vidéos »* (5e).

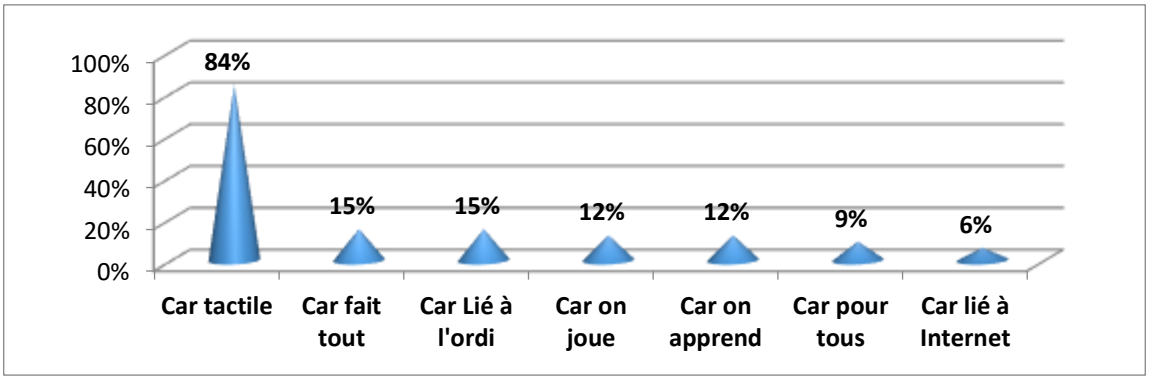
Les catégories 4, 5 et 6 contiennent, respectivement, les réponses d'élèves pour qui l'appellation « numérique » se justifie car le TNI fonctionne avec l'électricité (10 %), avec internet (6 %) ou simplement parce que c'est un « truc » technologique (4 %).

Enfin, 3 élèves parmi les 84 répondants associent le terme « numérique » à la présence des données numériques.

3.2.3.2. Pourquoi dit-on interactif ?

Si les élèves associent principalement l'appellation « numérique » au fait que le TNI est lié à l'ordinateur, l'interactivité elle, est associée, de manière assez consensuelle, à la dimension « tactile » du TNI.

Figure 10. Q.3 Pourquoi dit-on interactif ? Tous niveaux confondus



Pourcentages : calculés sur la base de N=84

En effet, la figure 10 montre que pour 71 élèves, (28 %), le tableau est interactif parce qu'on peut interagir directement avec lui sur la surface de l'écran. Ce sont des réponses du type :

Q.N°120 : « *Parce qu'on peut écrire sur le tableau avec le stylet* » (5e).

Q.N° 262 : « *Parce qu'on peut le toucher et manipuler à partir de l'écran* » (3e).

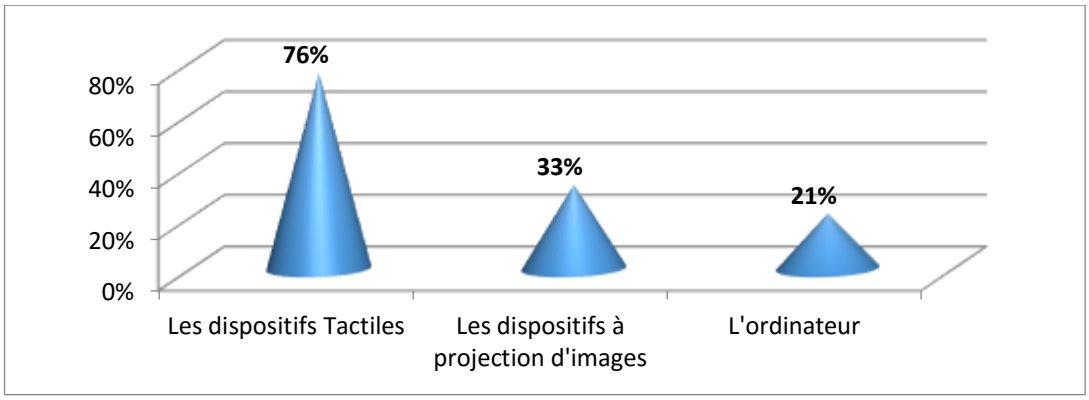
Q.N° 253 : « *On dit interactif parce qu'il est tactile* » (3e).

Une douzaine d'élèves (5 % des réponses) associe l'interactivité au fait qu'« *on peut tout faire* avec un TNI ». Quelques réponses (5 %) associent l'interactif à la présence de *l'ordinateur*. D'autres élèves (4 %) donnent comme explication que c'est « *parce qu'on peut jouer avec* » ou encore parce « *qu'on apprend des choses* » (4 %). Finalement, l'idée « *qu'on peut tous manipuler* » le TNI (on peut tous aller au tableau) et l'idée qu'il est *« lié à internet »* apparaissent respectivement dans 3 % et 2 % des réponses.

3.2.4. « Indique d'autres objets qui, selon toi, fonctionnent de la même façon »

Rappelons que la quatrième question — « *indique d'autres objets qui, selon toi, fonctionnent de la même façon* » — vise les généralisations faites par les élèves à partir de leurs représentations du fonctionnement du TNI. Il s'agit d'une question contrôle dans le sens où elle permet d'apercevoir si les élèves font des analogies cohérentes avec leurs réponses précédentes. Toutefois, leurs réponses peuvent être biaisées par un effet de type « âge du capitaine » si les élèves ne perçoivent pas la fonction de cette question.

Figure 11. Q.4 Dispositifs fonctionnant de la même façon. Tous niveaux confondus



Pourcentages : calculés sur la base du nombre d'élèves ayant répondu à la première question, soit N=240.

De manière générale, la figure 11 vient confirmer que les élèves interrogés vont se représenter le fonctionnement du dispositif notamment en fonction des caractéristiques externes et isolées du dispositif. Elle montre également que l'échantillon interrogé confond le fonctionnement du dispositif avec les fonctionnalités du dispositif.

Ainsi, pour une proportion importante de l'échantillon (182 élèves, 76 %), les appareils tactiles ont le même fonctionnement que le TNI : des objets comme les téléphones tactiles, les iPads, les iPods, les tablettes, la Nintendo DS, etc.

Une autre caractéristique retenue par les élèves est celle relevant de la « projection d'images ». Un tiers des réponses à cette question, soit 78 élèves, font l'analogie du fonctionnement du TNI avec des dispositifs de projection d'images (télévisions, vidéoprojecteurs, cinéma).

Enfin, 20 % des réponses appartiennent à la catégorie « Ordinateur » : ce sont des réponses des élèves qui considèrent que l'ordinateur et le TNI « fonctionnent de la même façon ».

3.3. Discussion de résultats relatifs à l'étude N°1

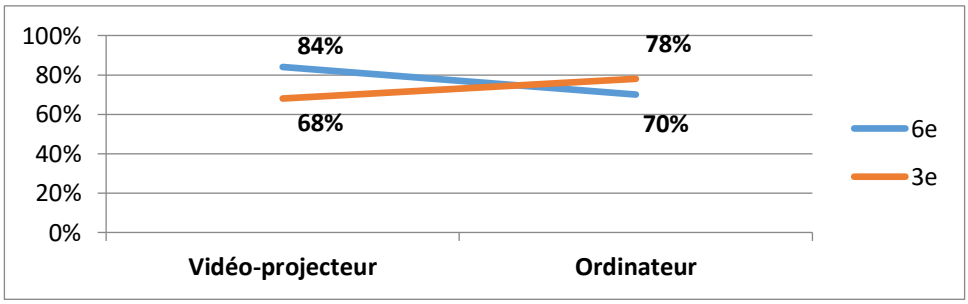
Cette étude a voulu repérer les modélisations, les conceptualisations et les représentations des élèves concernant le fonctionnement du Tableau Numérique Interactif. Le premier résultat de l'enquête met en évidence l'absence de modélisation fonctionnelle : les élèves, tous échantillons confondus ni explicitent ni suggèrent des processus, des flux ou des fonctions techniques relatifs au fonctionnement du TNI. Les réponses les plus élaborées ne rendent compte que des interconnexions entre quelques composants.

Le questionnaire proposé aux élèves les interroge, dans un premier temps, à propos de la structure du dispositif — « D'après toi, quels sont les composants indispensables au fonctionnement du TNI ? ». En associant la fréquence des citations d'un composant à l'importance que les élèves lui associent dans le fonctionnement du dispositif, la figure 3 met en évidence que selon les élèves interrogés, tous niveaux confondus, l'élément les plus important est le « vidéoprojecteur » (170 élèves ; 81 %). Ce qui est remarquable, voire paradoxal, c'est qu'il soit plus cité que l'« ordinateur » (75 %).

Comment expliquer que les élèves citent davantage le vidéoprojecteur alors qu'il est, de notre point de vue, un élément passif vis-à-vis du fonctionnement du système ? L'approche des élèves est de différente nature. Rappelons que la relation des élèves avec le TNI est de type « artefactuelle », par opposition à la relation « instrumentale ». Pour les élèves donc, en tant que « spectateurs » dans la classe, le vidéoprojecteur est l'élément le plus actif du système : il est effectivement indispensable, c'est grâce à lui qu'ils peuvent voir ce qui est projeté en cours. Ce résultat suggère que les élèves interrogés ont tendance à réduire l'analyse du système TNI à ce qu'ils perçoivent directement.

Les réponses des niveaux contrastés (6e *vs*. 3e) montrent toutefois que cette tendance est plus marquée chez les élèves les plus jeunes. En effet, l'examen des figures 4 et 5 permet de constater que, selon le niveau de scolarité, les élèves ne donnent pas la même importance aux éléments qui composent le TNI : alors que les 3e considèrent à juste titre l'ordinateur comme le composant fondamental vis-à-vis du fonctionnement du TNI, les élèves de 6e considèrent qu'il s'agit du vidéoprojecteur. Plus remarquable encore, aucun élève de 6e évoque ni le logiciel, ni internet dans leurs réponses.

Figure 12. L'élément le plus indispensable au fonctionnement du TNI selon les 3e et les 6e



Pourcentages : calculés sur la base des effectifs de 3e (N=66) et de 6e (N=86).

La figure 12 met en évidence que :

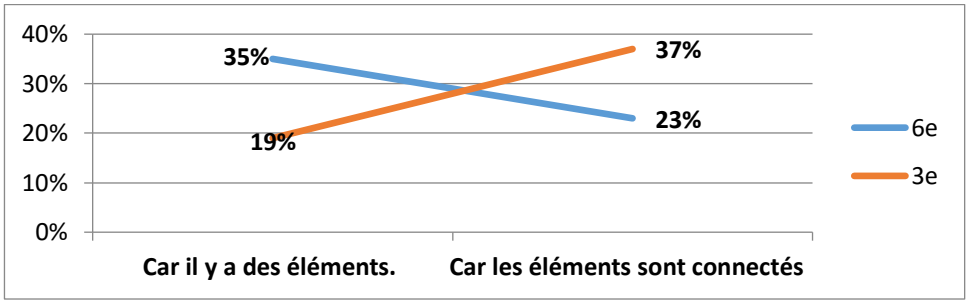
- Pour les élèves de 6e, l'élément le plus indispensable au fonctionnement du TNI – le plus cité (84%) – est le vidéoprojecteur.

- Pour les élèves de 3e, l'élément le plus indispensable au fonctionnement du TNI – le plus cité (78%) – est l'ordinateur.

Ces résultats suggèrent que l'analyse faite par les 6e du système TNI est de nature différente par rapport à celle faite par les élèves de 3e. En négligeant l'interrelation des éléments constituants, l'analyse des 6e semble, en effet, être issue d'une approche intra-objectale basée sur des abstractions empiriques.

De plus, lorsque nous analysons – dans une perspective linguistique – les différentes formulations proposées par les plus jeunes, nous constatons que les réponses les plus fréquentes se structurent autour de la locution « *il y a* » : selon nombre de 6e, le TNI fonctionne parce que « *il y a* l'ordinateur », parce que « *il y a* le vidéoprojecteur », parce que « *il y a* des câbles », etc.

Figure 13. Q.2 Conceptualisation du système TNI selon les 3e et les 6e.



Pourcentages : calculés sur la base des effectifs de 3e (N=66) et de 6e (N=86).

La figure 13 montre, en effet, que le modèle fonctionnel des plus jeunes par rapport au fonctionnement du TNI est fondée sur la présence d'un élément isolé du système. La modélisation du TNI en tant que *système* des 6e est en ce sens moins marquée que chez les élèves de 3e.

En revanche, la figure 13 montre que 37 % des élèves de 3e essaient de répondre à la question en tenant compte des *liens* entre les éléments qu'ils avaient cités dans la première question. Pour les élèves de 3e, le tableau numérique fonctionne parce que le vidéoprojecteur, l'ordinateur et l'écran sont connectés entre-eux. En général, l'idée que les éléments sont branchés et qu'ils forment sinon un système, un ensemble, se détache des réponses des élèves les plus âgés : elle montre une approche inter-objectale.

3.3.1. Le cas des non réponses : une particularité de la troisième question

À la question *pourquoi dit-on que le tableau est numérique et interactif ?* les élèves donnent un grand éventail des réponses. La majorité des réponses se regroupe autour de l'idée que le

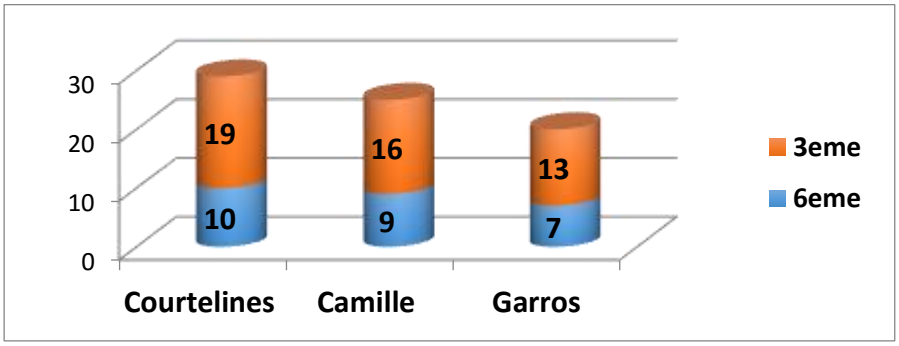
TNI est interactif parce que « il est tactile ».

Cependant, pour ne pas mener des interprétations erronées, il est nécessaire ici de prendre en compte dans l'analyse de cette question, deux aspects supplémentaires : son taux de réponses particulièrement faible, tous niveaux confondus ; l'écart important de ce taux entre les classes de 6e et les classes de 3e.

En effet, tandis que les questions I, II et IV affichent un taux de réponse supérieur à 80 %, cette troisième question affiche à peine 31 %. Ce résultat ne peut être expliqué si l'on tient compte des caractéristiques propres à la question. En effet, à la différence des trois autres, elle interroge une définition (Pourquoi dit-on interactif ? Pourquoi dit-on numérique ?) et ne se contente pas de réponses vagues. Répondre à la troisième question équivaut à *savoir* ce que veut dire « numérique » et « interactive », et donc, à donner une définition d'un terme qu'on peut qualifier de « scientifique » (Vygotski, 1985).

Les non-réponses à la troisième question révèlent également une autre réalité observable en comparant les *non-réponses* à la fois intra-collège et inter-niveaux, l'on constate que le nombre de non–réponses augmente en fonction du niveau de scolarité. Ce résultat, imperceptible entre les niveaux proches, est patent si l'on compare les niveaux extrêmes (6e et 3e) (voir figure 14) : le nombre des non-réponses est systématiquement deux fois plus important chez les 3e que chez les 6e. Cela se vérifie dans les trois collèges ayant participé à cette enquête.

Figure 14. Nombre d'élèves n'ayant pas répondu à la troisième question. Comparaison intra-collège et inter-niveaux.



En effet, il est assez contradictoire que les élèves de 3e, avec un parcours scolaire plus avancé et donc avec plus d'éléments de réponses, soient ceux qui fassent le choix de répondre le moins à la troisième question. Nous avons déjà esquissé une explication possible liée aux exigences de la question elle-même. Mais comment expliquer un écart si marqué entre les non-réponses d'un niveau à l'autre alors que les plus âgés ont en principe plus d'éléments pour répondre à notre question ?

Cette contradiction n'existe que si l'on considère que le temps de scolarité peut être uniquement corrélé avec la maîtrise de connaissances, de l'argumentation, de la rédaction, etc. Néanmoins, le « choix » fait par les élèves les plus âgés peut être compris, comme le font certains sociologues de l'école, si l'on considère que l'action de l'école sur les élèves ne se réduit pas à l'instruction et à la transmission de connaissances. En effet, ces résultats peuvent être interprétés à la lumière des travaux de certains auteurs sur la stigmatisation et le jugement scolaire (Bourdieu & Champagne, 1992 ; Goffman, 1975 ; Sirota, 1988 ; Vienne, 2004). Ces derniers montrent qu'il n'est point contradictoire que certains élèves, notamment les plus avancés dans la scolarité, fassent le choix de ne plus intervenir en classe et de ne plus fournir de réponses si la réponse qu'ils peuvent donner n'est pas la réponse « correcte » ou attendue par l'enseignant.

3.3.2. Conclusion générale : étude N°1

De manière générale, les résultats de l'étude N°1 mettent en évidence l'absence de modélisations fonctionnelles relatives au fonctionnement du TNI. L'étude montre que les réponses des collégiens tiennent compte quasi-exclusivement des aspects matériels et tangibles du système. Par conséquent, le système TNI et son fonctionnement sont analysés sur la base quasi-exclusive des liaisons perceptibles : ce sont à la fois les éléments et les fonctions directement observables du système qui guident les réponses des élèves.

Nos résultats montrent également que les élèves interrogés – notamment les plus jeunes – ne différencient pas ce qui est de l'ordre du « fonctionnement » du dispositif de ce qui relève de ses « fonctions » et de sa « structure ». Ainsi, par exemple, certains élèves rendront compte du fonctionnement du TNI en évoquant la présence d'un composant isolé du système, c'est-à-dire en argumentant leurs réponses avec un élément de « structure ». D'autres élèves répondront encore que le fonctionnement du TNI est analogue à celui de n'importe quel dispositif tactile ou de projection d'images, c'est-à-dire en confondant fonction et fonctionnement.

En effet, les élèves identifient sans difficulté le projecteur, l'ordinateur, le stylet et l'écran comme étant des éléments indispensables au fonctionnement du TNI mais oublient de citer des éléments non directement perceptibles mais tout aussi essentiels comme c'est le cas des logiciels, par exemple. Cette tendance, nous l'avons vu, est plus marquée chez les élèves les plus jeunes (voir figures 5 et 6).

L'analyse des réponses à la deuxième question montre que, tous niveaux confondus, les

réponses les plus fréquentes rendent compte du fonctionnement du TNI à partir d'une représentation « système ». Cette représentation est toutefois simplifiée. C'est le cas des réponses de 57 élèves sur les 210 (27 %) participants pour qui le TNI fonctionne grâce au fait que certains de ses composants « sont connectés » entre eux. C'est également le cas des réponses qui avancent que le TNI fonctionne parce que l'« ordinateur commande » le dispositif. Il faut préciser cependant que la modélisation du système est particulièrement différenciée en fonction du niveau de scolarité (6e vs. 3e).

En effet, la mise en parallèle des réponses des élèves de 6e et de 3e montre que ces niveaux vont modéliser le fonctionnement du dispositif différemment. Ainsi, les « explications » des 6e, en contraste avec celles des 3e, sont principalement sous-tendues par un modèle de type « élémentaire » (35 %), c'est-à-dire comprenant la présence isolée d'un des éléments du dispositif. En revanche, les explications des plus âgés (3e) sont principalement sous-tendues par un modèle de type « système » (37 %), c'est-à-dire comprenant les liaisons de deux ou plus de deux des organes du dispositif.

Dans ce contexte, en contraste avec les 3e, les moins âgés répondent, en effet, que le TNI fonctionne grosso modo grâce à l'existence d'un élément isolé du système : ça marche parce qu'il y a le vidéoprojecteur, par exemple. Or, l'élément cité est rarement mis en relation avec d'autres composants du dispositif. De plus, les réponses des 6e soulignent rarement le rôle de l'ordinateur dans l'orchestration de l'ensemble des éléments (9 %).

En revanche, lorsque les élèves de 3e « expliquent » comment ça marche un TNI, ils évoquent principalement le fait que ça marche grâce au fait qu'un élément du dispositif est effectivement connecté à un autre. Enfin, a contrario des 6e, les élèves le plus âgés soulignent fréquemment le rôle de l'ordinateur dans l'orchestration de l'ensemble des éléments (25 %).

Ces résultats confirment que le type d'analyse qui prime chez les 6e est de type « intra-objectale », c'est-à-dire qu'ils ne tiennent compte que des éléments isolés du système (grâce à l'ordinateur, grâce au vidéoprojecteur, etc.) et néglige ainsi leur relation. A la lumière de nos outils analytiques, nous pouvons dire que ce type d'analyse résulte des abstractions empiriques suite à des simples constats.

Seulement 4 % des réponses (10 élèves) relèvent de l'analyse trans-objectale du système. Les élèves concernés ont fait appel à des éléments non directement perceptibles (ondes, logiciel) pour décrire le fonctionnement du système TNI. Ces élèves ont pris en compte dans leurs analyses que le système est constitué non seulement des éléments matériels et perceptibles (stylo, ordinateur, etc.), mais aussi des structures externes dont la relation avec les éléments

matériels n'est pas directement perceptible. Selon Piaget et Garcia (1983) ce type d'analyse est possible uniquement si l'enfant mobilise l'abstraction réfléchissante.

Chapitre 4. Étude N°2 : *comment ça marche un écran tactile ?* Lexique, représentations et conceptualisation de collégiens et lycéens à propos du fonctionnement des écrans tactiles

4.1. Introduction

La deuxième étude de cette recherche s'intéresse aux représentations, aux conceptualisations et au lexique mobilisés par un échantillon de 426 élèves afin d'expliquer comme fonctionne un écran tactile. L'échantillon total est composé de 190 collégiens et de 236 lycéens.

En effet, bien que cette recherche vise principalement les représentations et conceptualisations des collégiens, nous interrogeons également 236 lycéens. L'intérêt des réponses des lycéens se justifie par le fait que les réponses de cette population peuvent nous fournir, en contraste avec les moins âgés, des nouveaux éléments de compréhension : des tendances, des ruptures et des invariants vis-à-vis de la question posée.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Échantillon

Il est question ici de l'analyse des réponses orales et écrites issues d'un échantillon de 258 élèves appartement aux collèges « Huber Matos » (Marly-le-Roi) et « Garcia Lorca » (Créteil), ainsi que de 236 des lycéens appartenant au « Lycée Général et Technologique Camilo Cienfuegos » (Issy-Les-Moulineaux).

Au total, 494 élèves ont participé à cette étude.

L'échantillon était composé d'élèves des différents niveaux de scolarité selon la répartition suivante :

- 133 élèves de 6e ;
- 125 élèves de 3e ;
- 103 élèves 2de générale ;
- 53 élèves en 1ere_STI2D (Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable) ;
- 50 élèves en T_STI2D (Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable) ;

- 30 élèves en T_AVM (AudioVisuel Multimédia).

4.2.2. Analyse des réponses

Deux techniques complémentaires d'enquête ont été ici employées : des questionnaires et des entretiens semi-directifs. Cette dernière n'a été employée que dans l'échantillon des collégiens : les lycéens n'ont participé qu'à la passation des questionnaires.

La passation du questionnaire a eu lieu au courant du mois de janvier de l'année 2012. Les questionnaires ont été distribués et renseignés pendant les cours de technologie des classes respectives.

Dans ces conditions, l'ensemble de l'échantillon d'élèves ici évoqué a développé une réponse écrite à la question suivante :

« Avec tes mots, essaie d'expliquer comment penses-tu que marche un écran tactile »

Il était important pour notre propos de disposer de techniques d'analyse des questions ouvertes permettant d'aller au-delà de la simple analyse de contenu manuelle. Les réponses recueillies ont été en ce sens soumises à des analyses lexicométriques et thématiques, des techniques assistées par le logiciel de traitement d'enquêtes « Modalisa ». Ce dernier nous a facilité le repérage des « mots » et des « idées-phrases » les plus fréquemment exprimés par les élèves afin de répondre à la question qui leur a été posée.

Les propositions des élèves ont été ainsi codées selon trois catégories thématiques, à savoir :

- ***Etapes*** : cette catégorie code les différentes étapes ou « blocs fonctionnels » identifiés par les élèves. Il s'agit des différents processus — en incluant l'action de l'utilisateur — sous-jacents au fonctionnement du dispositif étudié, à savoir les étapes « Action », « Détection », « Transmission », « Traitement » et « Sortie » ;
- ***Schémas Fonctionnels*** : cette catégorie code essentiellement la manière dont les élèves agencent les étapes ou blocs fonctionnels décrits ci-dessus. Elle est ici associée au modèle fonctionnel qu'ont les élèves du fonctionnement global du système. Un schéma fonctionnel élémentaire aurait ainsi la forme « Action/Détection » ; un schéma fonctionnel complet concatène les cinq blocs fonctionnels de la première catégorie et aurait la forme « Action/Détection/Transmission/Traitement/Sortie » ;
- ***Phénomènes*** : cette catégorie comprend l'ensemble des principes physiques et événements évoqués par les élèves pour rendre compte de ce qu'est détecté par l'écran lorsqu'il est touché. Par exemple : la chaleur, la pression, le mouvement, ou simplement le « contact » ou « le toucher des doigts ».

Illustrons le codage en question à partir de deux exemples :

« Il détecte la chaleur du doigt » (3e).

« Je pense qu'il y a des capteurs reliés à l'écran et lorsque l'on touche l'écran, les capteurs transmettent l'information au logiciel de traitement » (1re_STI2D).

La formulation du collégien (élève de 3e) est codée de la manière suivante :

Etapes prises en compte : Action et Détection (A et D)

Schéma fonctionnel repéré : A/D

Phénomènes associés : Chaleur

La formulation du lycéen (1re_STI2D) est codée de la manière suivante :

Etapes prises en compte : Action, Détection, Transmission, Traitement, Logiciel

Schéma fonctionnel repéré : A/D/T/Tn

Phénomènes associés : Capteur

Notons que le propos du lycéen contient les termes « capteurs » et « logiciel ». Ceux-ci seront codés à l'intérieur des catégories proches de leur rôle dans le dispositif : « capteur » dans la catégorie Phénomènes et « logiciel » dans la catégorie Étapes.

Les catégories de réponses ainsi créées doivent être fondamentalement comprises comme étant une typologie regroupant essentiellement les termes et les idées-phrases repérés dans les rédactions des élèves lorsqu'ils tentent d'expliquer *comment ça marche un écran tactile*.

4.3. Échantillon de collégiens : résultats

Les lignes qui suivent exposent les résultats issus de l'analyse des réponses des collégiens à la question posée, à savoir *comment marche un écran tactile ?*

Les résultats de l'échantillon des collégiens (258) seront présentés en deux temps : dans un premier temps nous exposerons les résultats concernant les réponses des collégiens au questionnaire (190 élèves) ; dans un second temps nous exposerons les résultats concernant l'analyse des réponses issues des entretiens (68 élèves).

4.3.1. Questionnaire : réponses de collégiens

Compte tenu que l'échantillon de collégiens se compose d'élèves de deux niveaux bien contrastés — 101 élèves de 6e et 89 élèves de 3e — en plus de présenter les résultats généraux, toutes classes confondues, nous allons également présenter les résultats rendant

compte de l'écart entre les réponses d'élèves de niveaux contrastés.

4.3.1.1. Etapes. Collège : tous niveaux confondus

Rappelons qu'en schématisant le fonctionnement des écrans tactiles, nous retrouvons cinq étapes fondamentales à prendre en compte afin de décrire leur fonctionnement, à savoir (1) l'Action de l'utilisateur sur le système, (2) la Détection de l'utilisateur par le système, (3) la Transmission, (4) le Traitement et (5) la Sortie opérée par le système pour répondre à la demande de l'utilisateur. C'est donc la relation fonctionnelle de l'ensemble de ces blocs qui assurent le fonctionnement du dispositif numérique dont il est question ici.

Lorsque nous nous intéressons aux étapes évoquées dans les réponses des élèves de collège, tous niveaux confondus, l'on constate que leurs réponses se concentrent essentiellement sur les étapes (1) et (2), à savoir l'action de l'utilisateur sur le système et la détection de celui-ci par le système. Le tableau 1 montre que des proportions très importantes d'élèves se focalisent effectivement sur ces deux processus : Action (85 %), Détection (55 %).

Tableau 1. « *Étapes* ». Elèves de collège : tous niveaux confondus

	Effectifs	**Fréquence**
Action	162	85 %
Détection	104	55 %
Sortie	35	18 %
Transmission	18	9 %
Traitement	11	6 %
Information	11	6 %

Pourcentages : calculés sur la base de N =190 (N6e =101 ; N3e =89).

En revanche, le Tableau 1 met en évidence que les étapes « Transmission », et « Traitement » sont faiblement représentées dans les réponses de l'ensemble des collégiens enquêtés : 9,4 % et 5,7 % respectivement.

Retenons, enfin, que parmi les 190 élèves interrogés, d'un côté, seulement 11 élèves, soit 5,7 % de l'échantillon, évoquent la notion d'« information » et, de l'autre côté, aucun ne fait allusion au rôle du « Logiciel » dans le fonctionnement des écrans tactiles.

4.3.1.2. Schéma fonctionnel. Collège : tous niveaux confondus

Rappelons qu'un schéma fonctionnel décrivant complètement le fonctionnement des écrans tactiles doit tenir compte et incorporer ces cinq étapes ou blocs fonctionnels. Ce schéma

fonctionnel aurait la structure suivante : Action/Détection/Transmission/Traitement/Sortie — désormais A/D/T/Tn/S.

Compte tenu des étapes les plus citées par notre échantillon (voir Tableau 1), nous devrions nous attendre donc à que le schéma fonctionnel les plus fréquemment repéré dans l'ensemble des réponses analysées soit justement un schéma fonctionnel du type « Action/Détection » ou encore « Action ». C'est, en effet, ce que montre le tableau 2.

Tableau 2. *Schémas fonctionnels*. Elèves de collège : tous niveaux confondus

Sché. Fonct.	Effectifs	Fréquence
A/D	67	35,2 %
A	62	32,6 %
A/S	12	6,6 %
A/D/S	10	5,5 %
D	8	4,4 %
A/D/T/S	7	3,8 %
A/D/T	6	3,1 %
A/D/T/Tn/S	5	2,6 %
A/Tn	3	1,6 %
A/Tn/S	2	1,1 %
A/T	2	1,1 %

Pourcentages : calculés sur la base de N =190 (N6e =101 ; N3e =89).

En effet, lorsque l'on analyse les réponses de l'ensemble des collégiens, nous constatons que plus des deux tiers de l'échantillon (67 élèves) explique le fonctionnement des écrans tactiles selon un schéma fonctionnel du type « Action/Détection ». Les réponses de cette première catégorie partagent une même structure :

> **Q.N°5** « *Il doit y avoir un système qui permet de détecter [D] le mouvement [A] de nos doigts sur l'écran* ».
>
> **Q.N° 30**: « *Un écran tactile fonctionne en détectant [D] l'empreinte [A] des doigts*».
>
> **Q.N°55** : « *C'est une technologie avec des capteurs [D] de chaleur corporelle [A]* ».
>
> **Q.N° 76** : « *Je pense que les écrans tactiles sont munis d'un détecteur tactile pour le toucher. Lorsque l'on émet un contact sur cet écran [A], le détecteur s'active [D] et permet d'utiliser les applications sans le clavier* ».
>
> **Q.N°89** : « *Je pense que les écrans tactiles fonctionnent en détectant [D] la chaleur émise [A] par le corps humain. Ainsi, lorsque l'appareil détecte une*

augmentation de chaleur sur une icône de l'écran il parvient à savoir ce que l'utilisateur veut ».

Le deuxième schéma fonctionnel le plus fréquemment évoqué par les élèves est encore plus élémentaire que le précédent en ce sens qu'il ne tient compte que de l'étape « Action ». Nous trouvons dans ce groupe les réponses de 62 élèves partageant la forme et le contenu suivant :

Q.N°11: « *Ça ne marche que si l'on touche* [A] *avec le doigt* ».

Q.N°12 : « *Je pense que les écrans tactiles marchent avec la chaleur des doigts quand on appuie dessus* [A] ».

Q.N°80 : « *Ça marche avec la chaleur humaine* [A] ».

Du tableau 2 remarquons enfin que les schémas fonctionnels incluant les étapes « Transmission » et « Traitement » sont peu fréquents dans les réponses des élèves. Nous ne trouvons ainsi que trois élèves sur 190 proposant dans leurs réponses un schéma fonctionnel complet, c'est-à-dire du type « **Action / Détection / Transmission/ Traitement/ Sortie** ». Nous verrons par la suite que l'ensemble de ces propositions appartiennent toutes aux élèves des classes de 3e. Par exemple :

Q.N°53 : « *Ça marche avec des capteurs qui captent [D] la pression du toucher du doigt [A] et transmettent l'information [T] à l'unité centrale qui fait des calculs [Tn] et fait ce qu'on veut* [S] ».

Q.N°56 : « *Je pense qu'il y a une technologie avec des détecteurs [D] de chaleurs ou de mouvement [A]. Et lorsque l'on appuie le capteur s'enclenche et envoie des ondes [T] au cerveau de l'appareil qui a été programmé [Tn] pour donner une réponse et ouvrir la page demandée par l'utilisateur [S]* ».

4.3.1.3. Phénomènes : tous niveaux confondus

Étant donné que la majorité des réponses recueillies explicitent l'action de l'utilisateur et la détection par le système, nous nous sommes donc intéressé lors de l'analyse des réponses aux phénomènes et aux composants qui, selon les élèves, sont impliqués dans ces étapes. Pour cela nous nous sommes appuyé sur les outils d'analyse lexicale offerts par le logiciel Modalisa afin d'étudier le vocabulaire employé par les élèves pour se référer à ces processus. Ces résultats sont représentés dans la tableau 3 (voir ci-dessous).

Tableau 3. ***Phénomènes et évènements.*** **Elèves de collège : tous niveaux confondus**

	Effectifs	**Fréquence**
Toucher des doigts	79	41 %
Capteur(s)	**60**	**33 %**
Chaleur	23	12 %
Pression	19	10 %
Des Comp. Élect.	19	10 %
Boutons	14	8 %
Mouvement	11	6 %
Empreinte	9	5 %
Dépend de l'écran	2	1 %

Pourcentages : calculés sur la base de N =190 (N6e =101 ; N3e =89).

L'analyse lexicométrique nous a permis de constater qu'une proportion importante des élèves, tous niveaux confondus, emploie dans leurs réponses le terme « Capteur » (32,7 %). En effet, parmi les 190 élèves interrogés, 60 utilisent ce vocable : « il y a des capteurs », « c'est grâce aux capteurs », sont des expressions ici souvent rencontrées. Nous verrons plus loin, lorsque l'on discutera les contributions de chaque niveau, que ce sont les élèves de 3e qui l'utilisent le plus.

En revanche, d'autres élèves (14 ; 7,6 %) ne s'exprimeront ainsi et considèrent que les écrans tactiles sont dotés de « Boutons » : ce sont ces boutons qu'on touche quand on pose les doigts sur la surface de l'écran et qui prennent en charge l'interaction avec l'utilisateur.

Quant aux phénomènes détectés, le tableau 3 montre que pour 79 élèves (43 %) les écrans tactiles détectent tout simplement le « toucher des doigts ». Cependant, d'autres élèves conceptualisent l'interaction de l'utilisateur avec l'écran en termes de « Chaleur » (23 élèves), de « Pression » (19 élèves), de « Mouvement » (11 élèves) ou encore de « Empreinte » digitales (9 élèves).

Notons aussi qu'un groupe de 19 élèves (10 %) répond au questionnaire rien qu'en affirmant que l'écran tactile fonctionne parce qu'il est équipé de « composants électriques » comme la batterie, les câbles, un circuit, etc.

Enfin, le Tableau 3 montre que sur les 190 interrogés, 2 élèves (1 %) vont préciser dans leurs réponses que le fonctionnement des écrans tactiles, vis-à-vis de ce qu'il détecte, dépend de la technologie en question : tous les écrans tactiles ne fonctionnent pas de la même manière, précisent ces deux élèves. En effet, les enquêtés n° 64 et n° 75 commencent leurs explications en précisant : « Je connais deux façons dont peut marcher un écran tactile... » ; « Selon moi, les écrans tactiles fonctionnent de deux manières... ». Les deux élèves — de 3e — concluent

ainsi que, selon eux, les uns réagissent à la pression et les autres détectent l'électricité statique « produite par les doigts » ce qui est en accord respectivement avec les écrans du type résistif et capacitif.

Notons ici que notre échantillon n'est pas homogène par rapport à l'âge des participants et donc pas homogène non plus vis-à-vis du niveau de scolarité de l'ensemble des répondants. Compte tenu de cela, l'ensemble des résultats exposés jusqu'ici ne distingue point entre les réponses des élèves les moins âgés (6e) des réponses des élèves les plus âgés (3e). Cette distinction est faite dans la section suivante.

4.3.2. Analyse des réponses des niveaux contrastés : réponses des 6e *vs*. réponses des 3e

Dans quelle mesure les contributions de chacune des classes à l'ensemble des résultats sont-elles distinguables ? Quelles sont ces modélisations fonctionnelles qui appartiennent surtout aux élèves de 6e et quelles sont celles qui appartiennent aux 3e ? Est-ce que les représentations et les conceptualisations des élèves de 6e relatives au fonctionnement des écrans tactiles, sont du même type que celles des élèves de 3e, plus âgés et donc plus avancés dans leur parcours scolaire ?

Rappelons d'abord que nôtre échantillon se compose en de 101 élèves de 6e et de 89 élèves de 3e. Les lignes qui suivent présentent justement l'écart repéré dans les réponses des élèves des classes contrastées, c'est-à-dire l'écart entre les explications fournies par les élèves de 6e et celles proposées par les élèves de 3e.

Nous allons respecter dans cette partie l'ordre de présentation suivi lors de la présentation des résultats généraux, tous niveaux confondus : d'abord nous présenterons les « blocs fonctionnels » prises en compte par les élèves, puis les « schémas fonctionnels » implicites à leurs réponses et finalement les « phénomènes » qui leur permettent de conceptualiser l'interaction doigt-écran.

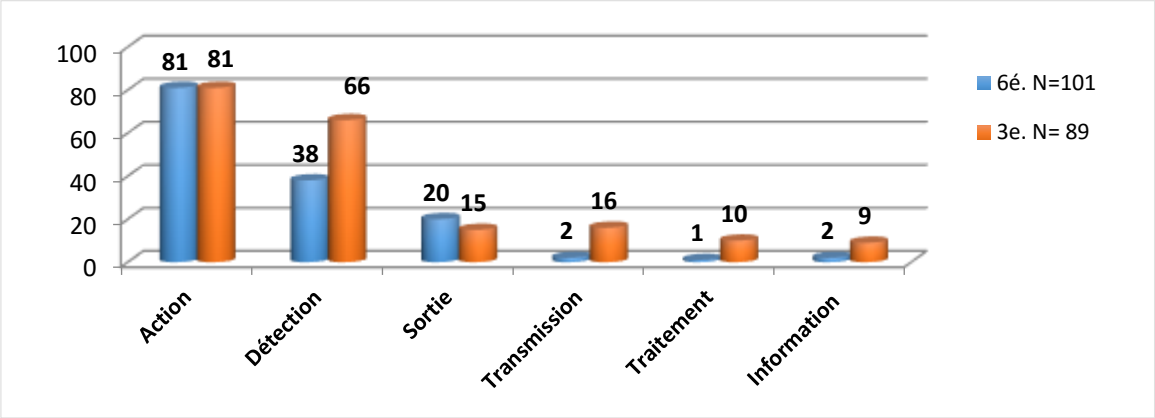
4.3.2.1. Étapes : réponses de 6e vs. réponses 3e

Intéressons-nous d'abord aux « étapes » évoquées dans les réponses des élèves de chacune des classes — niveaux 6e vs. niveau 3e.

La figure 15 montre que les explications des élèves des deux niveaux présentent certaines différences vis-à-vis des blocs fonctionnels explicités ou inférés à partir de leurs réponses. Bien que les deux niveaux identifient sans problème l'étape « Action », leurs réponses vont se

différencier, nettement, vis-à-vis de la prise en compte des étapes « Détection » et « Transmission » et, légèrement, vis-à-vis de la prise en compte de l'étape « Traitement ».

Figure 15. Étapes ou blocs fonctionnels repérés par niveaux de scolarité (Nb. de élèves)



Lecture : 16 élèves de 3e et 2 élèves de 6e tiennent compte dans leurs réponses de l'étape « Transmission ».

La figure 15 met en évidence que les explications des élèves de 6e (barres bleus) sont nettement plus concentrées sur l'action exercée sur l'écran tactile et négligent sensiblement le reste des étapes : « ça marche avec la chaleur humaine », « ça ne marche qu'avec les doigts », « ça marche avec le toucher des doigts », est le type de réponses les plus fréquentes chez les élèves de 6e.

En revanche, tout en tenant compte de l'action exercée sur l'écran, la figure 15 montre que les explications fournies par les élèves de 3e sont comparativement nettement plus focalisées sur l'étape « Détection » que celles des 6e : alors que la détection de l'écran n'est évoquée que par 38 des 101 élèves de 6e, 66 des 89 élèves de 3e en font allusion. C'est notamment sur la prise en compte du bloc fonctionnel « Détection », soulignons-le, que le contenu des réponses des 3e va se différencier vis-à-vis des réponses des plus jeunes : « l'écran tactile marche avec des détecteurs de chaleur », « il y a des capteurs qui détectent le toucher du doigt », sont les réponses les plus fréquentes chez les élèves de 3e (74 %).

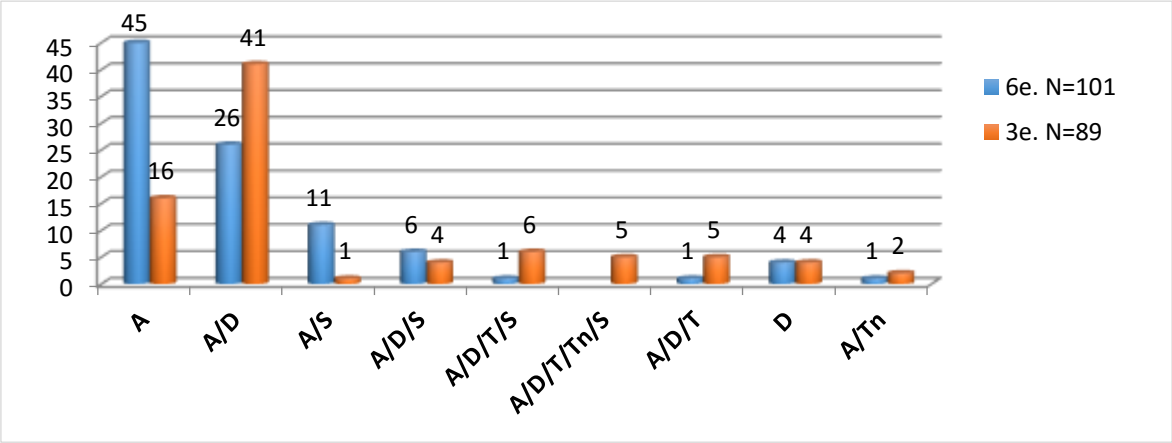
Reste que les étapes « Transmission » et « Traitement », ce sont des processus largement ignorés par les classes de 6e — au moins dans leurs réponses : seulement 2,2 % et 1,1 % des réponses des plus jeunes évoquent respectivement ces étapes. En revanche, les propositions des élèves de 3e tiennent davantage compte de ces deux processus : 16 % et 10 % des plus âgés évoquent respectivement les étapes « Transmission » et « Traitement » (voir figure 15).

Finalement, la figure 15 montre que le terme « Information » est légèrement plus employé par les élèves des classes de 3e (10 %) : il n'est utilisé que par deux élèves des classes de 6e (2 %).

4.3.2.2. Schéma fonctionnel : réponses de 6e vs. réponses de 3e

Si maintenant on s'intéresse aux schémas fonctionnels suggérés par chacune des classes (6e et 3e), l'on peut remarquer dans la figure 16 que, conséquemment avec les étapes évoquées dans leurs réponses, les élèves de 6e inscrivent le fonctionnement des écrans tactiles, dans un schéma fonctionnel très élémentaire : une proportion importante (45 %) des élèves de 6e inscrit le fonctionnement des écrans tactiles dans un schéma fonctionnel du type « Action ».

Figure 16. « Schéma fonctionnel » repérés par niveaux de scolarité (Nb. d'élèves)



Lecture : 41 élèves de 3e et 26 élèves de 6e suggèrent dans leurs réponses le schéma fonctionnel « Action/Détection ».

Concernant les plus âgés, la figure 16 montre que les élèves des classes de 3e répondent à la même question en exprimant le plus souvent un schéma fonctionnel relativement plus élaboré : dans la mesure où leurs réponses tiennent davantage compte, pour une même explication, des blocs fonctionnels « Action » et « Détection », le schéma fonctionnel le plus rencontré chez les 3e est de type « Action/Détection » (46 %).

La figure 16 montre finalement un aspect auquel nous accordons une certaine importance dans cette recherche : on y aperçoit que les schémas fonctionnels les plus complets – ou moins élémentaires – sont proposés quasi-exclusivement par les élèves des classes de 3e (barres rouges). Si l'on additionne les effectifs prenant en compte à la fois les étapes « Action », « Détection » et « Transmission » — soit au moins « A/D/T… » — nous ne trouverons dans ce groupe que 2 élèves des classes de 6e sur les 101 interrogés contre 16 élèves des classes de 3e sur les 86 interrogés, ce qui, compte tenu de la taille des échantillons

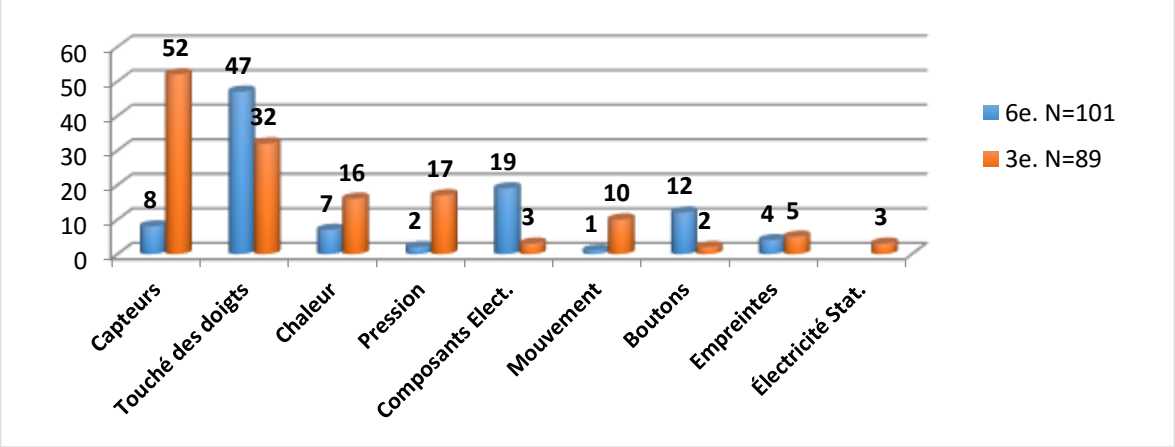
respectifs, constitue une différence statiquement significative. De plus, alors que cinq élèves de 3e évoquent, dans une même réponse, les cinq étapes, soit un schéma fonctionnel du type « A/D/T/Tn/S »,, aucune des explications des 6e rend compte du fonctionnement des écrans tactiles en faisant allusion à l'ensemble des blocs fonctionnels.

4.3.2.3. Phénomènes : réponses de 6e *vs*. réponses 3e

La figure 17 montre ce qu'on peut appeler la « phénoménologie » associée à l'interaction doigt-écran tactile telle qu'elle est conceptualisée par les élèves des deux niveaux de scolarité.

On y aperçoit dans la figure ci-dessous que, contrairement aux plus âgés, les élèves de classes de 6e (barres bleues) conceptualisent cette interaction en avançant des raisons évidentes. Les plus jeunes, en effet, nous rappellent que l'écran tactile est sensible notamment au toucher des doigts, « ça ne marche qu'avec les doigts », précisent-ils. De plus, toujours selon les 6e, l'écran tactile fonctionne, d'un côté, parce qu'il y des composants électriques, c'est-à-dire des « câbles », des « circuits », des « piles », etc. et, de l'autre côté, parce qu'il y a des « boutons » qui « sentent » le doigt.

Figure 17. Phénomènes : 6e vs. 3e



Lecture : 17 élèves de 3e et 2 élèves de 6e associent la sensibilité de l'écran à la « pression du doigt ».

En revanche, l'on remarque dans la figure 17 que chez les élèves de 3e la phénoménologie en question est décrite avec un vocabulaire tout à fait différent. En effet, chez les plus âgés ce ne sont plus des « boutons » mais des « capteurs » qui sont évoqués pour designer l'entité prenant en charge l'interaction du doigt avec l'écran : le terme capteur est effectivement repéré dans une proportion très importante des réponses des 3e (58 %).

De plus, contrairement aux « explications » des 6e, l'on trouve dans les réponses des 3e certains termes, comme « pression », « chaleur », suggérant leur volonté d'expliquer

l'interaction doigt-écran à partir de l'utilisation des concepts scientifiques. Ainsi, chez les plus âgés il n'y a guère de boutons qui sentent, mais des « capteurs » susceptibles de « détecter » la « chaleur », la « pression », le « mouvement » ou bien l'« électricité statique » des doigts ».

Soulignons enfin que peu d'élèves des classes de 3e expliquent le fonctionnement des écrans tactiles en rappelant simplement que c'est parce qu'« il y a des composants électriques ». Ce type d'argument est quasi-exclusif des classes de 6e.

4.3.3. Entretiens de groupe : réponses de collégiens

Nous venons d'exposer les résultats issus de l'analyse des questionnaires, c'est-à-dire des réponses fournies sous les contraintes liées à l'exercice de l'écriture. Afin donc de mieux cerner les représentations et conceptualisations des collégiens face à notre question, nous avons conduit aussi 18 entretiens complémentaires.

4.3.3.1. Procédure

Pour favoriser le débat, créer un environnement plus favorable à l'émergence d'idées et stimuler la confrontation de ces dernières, les entretiens ont été réalisés avec de groupes de 3 ou de 4 élèves : 8 entretiens avec 35 élèves de classes de 6e et 9 entretiens avec 36 élèves de classes de 3e.

Parmi les 71 élèves qui ont participé aux entretiens, 24 élèves de 6e ont également participé au questionnaire ; l'ensemble des élèves de 3e ainsi que deux groupes de 6e n'avaient aucune connaissance du sujet. Les entretiens ont été conduits par moi-même, et ont été enregistrés après consultation des participants.

La consigne initiale des entretiens est celle du questionnaire : « *essaie d'expliquer comment penses-tu que marchent les écrans tactiles* ».

En plus de bénéficier d'une totale liberté lors des échanges verbaux, les élèves pouvaient manipuler aussi des artefacts tactiles que j'avais mis sur la table à leur disposition. Il s'agit d'un téléphone portable Samsung Wave (technologie capacitive), d'un d'iPod (technologie capacitive) et d'un iPod nano (technologie capacitive). Sur la table se trouvaient en plus un certain nombre d'objets (à savoir des matériaux) avec lesquels ils pouvaient expérimenter (au sens d'expérience physique) sur les écrans tactiles placées à leur disposition. L'idée étant d'inviter les élèves à confirmer leurs hypothèses en expérimentant directement sur les dispositifs. À titre d'exemple : pour certains élèves les écrans tactiles marchent « seulement » avec les doigts car ces derniers sont « mous », « pas durs » et donc « se déforment quand on

appui sur l'écran ». Lorsque cette idée émergeait, j'invitais les élèves à vérifier la « dureté » de la gomme à effacer qui se trouvait sur la table et de constater qu'elle aussi se déforme quand on appui sur l'écran tactile mais que ce dernier ne réagit pas pour autant.

La particularité des entretiens tient donc au fait qu'au fur et à mesure que les hypothèses des élèves à propos du fonctionnement des écrans tactiles émergeaient, les élèves pouvaient les confirmer ou les infirmer en manipulant directement les artefacts à leur disposition : leurs représentations étaient ainsi instantanément mises à l'épreuve par le réel. De ce fait, j'ai eu accès non seulement à leurs explications orales mais aussi à leurs remarques par rapport aux résultats des expériences et donc à la manière dont leurs représentations se modifiaient, disparaissaient et leur conceptualisation devenait de plus en plus pertinentes.

4.3.3.2. Résultats des entretiens : remarques générales

Une première remarque concernant les entretiens, tient au fait que, au-delà de l'usage de quelques termes, l'écart repéré entre les réponses des élèves de 6e et ceux de 3e est notamment de l'ordre du temps de compréhension de la question, de l'analyse de la situation et de l'émission d'hypothèses.

En effet, alors que les élèves de 3e comprennent ou croient comprendre la question aussi vite qu'elle est formulée, les élèves de 6e ont besoin de plus de temps pour comprendre l'intention et l'objet de notre question. En conséquence, alors que les élèves de classes de 3e passent directement à émettre des hypothèses, les hypothèses des élèves de 6e n'émergent qu'après un certain temps. Toutefois, chose remarquable, leurs analyses, celles des 3e et celles des 6e, restent très semblables.

Une deuxième remarque concerne la facilité avec laquelle les élèves modifient leurs arguments en fonction de leur caractère opératoire vis-à-vis de la question centrale – comment ça marche un écran tactile ? En effet, contrairement à ce que laisse entendre la littérature, ce qu'on constate dans les échanges des élèves lors des entretiens c'est que lorsqu'ils ont la possibilité de confronter et de mettre à l'épreuve leurs représentations, ces dernières évoluent et se modifient en fonction de ce qu'elles rendent compte ou pas de la situation visée. Cet aspect est plus marqué dans les entretiens des plus âgés : alors que les élèves de 3e formulent une hypothèse et vérifient si elle permet de rendre compte de la situation (ou d'une partie de la situation) pour ensuite la valider ou l'infirmer, les élèves de 6e ont tendance à « bombarder » la situation d'hypothèses et attendent que l'interviewer donne la réponse. De plus, les 6e peuvent énoncer une même hypothèse deux fois consécutives alors qu'elle s'était

avérée inopérante : ce qui compte pour les moins âgés c'est de verbaliser, une fois verbalisées, ils peuvent même oublier quelles hypothèses sont opératoires et lesquelles ne le sont pas.

4.3.3.3. Blocs et schémas fonctionnels repérés

L'analyse des entretiens vient confirmer un grand nombre des résultats exposés précédemment. D'une part, les entretiens confirment que les élèves des classes de 3e expliquent le fonctionnement des écrans tactiles en explicitant notamment l'étape « Détection » et en soulignant systématiquement la présence de capteurs : face à la question proposée, le premier élément de réponse évoqué par les élèves est que le fonctionnement des écrans tactiles n'est possible que parce qu'« *à l'intérieur il y a des détecteurs* ». Ce n'est qu'une fois cet aspect précisé — on le verra dans les extraits qui suivent ces lignes — que les élèves de 3e procèdent à exposer les phénomènes qu'ils considèrent comme étant impliqués dans l'interaction doigt-écran tactile.

D'autre part, les entretiens confirment que, contrairement à ce qui précède, chez les élèves de 6e le premier élément de réponse en entretien se constitue systématiquement à partir de l'explicitation de l'étape « Action ». En effet, les plus jeunes se concentrent davantage dans leurs réponses sur l'action exercée sur l'écran tactile : « *ça marche au poids* » ; « *ça marche juste en appuyant* » ; « *il répond au toucher* » ; « *c'est avec la chaleur des doigts* » ; « *ça marche avec la chaleur humaine* ».

Or, de manière générale, l'analyse des entretiens confirme que face à la question *comment penses-tu que marchent les écrans tactiles*, les réponses des élèves, tous niveau confondus, sont globalement centrées sur les étapes « Action » et « Détection ». En conséquence, le schéma fonctionnel sur lequel ils fondent leurs explications verbales est aussi du type **A**ction/**D**étection.

4.3.3.4. Phénomènes et lexique

Quant aux phénomènes associés par les élèves à l'interaction doigt-écran tactile, les entretiens confirment que les élèves de 3e pensent en premier lieu à des termes associés aux phénomènes mécaniques et thermodynamiques — pression, force, chaleur. En revanche, les plus jeunes parleront des empreintes des doigts, de la forme des doigts, de la texture ou de la matière des doigts.

De manière générale, tous niveaux confondus, les élèves ne sont pas tentés par des arguments liés aux phénomènes magnétiques. Quant aux phénomènes électriques, seulement deux groupes d'élèves de 3e énoncent la possibilité que la « détection » de l'écran soit liée à des phénomènes électrostatiques. En revanche, aucun groupe de 6e ne pense spontanément à ce type d'explication. Néanmoins, lorsque les hypothèses initiales des élèves ne sont plus opératoires, et qu'on leur suggère de penser à une de ces deux manifestations, tant les groupes d'élèves de 6e que ceux de 3e s'accordent, tout en écartant la possibilité d'un lien avec le magnétisme, que l'explication recherchée doit certainement être liée aux phénomènes électriques : « *ah oui, c'est ça : les décharges des doigts* » ; « *c'est la même chose que quand on touche quelqu'un en hiver et on envoie un coup de jus* » ; « *c'est l'électricité statique !* ». Mais, soulignons-le, ces réponses n'apparaissent que quand elles sont suggérées ou induites.

En outre, tout comme dans les questionnaires, les élèves de 6e ont tendance à préciser dans les entretiens que le téléphone doit être alimenté, qu'il doit y avoir une *source d'énergie électrique* ainsi que des câbles, des circuits électriques. Ces précisions sont absentes des explications verbales des élèves de 3e.

Pour ce qui concerne la comparaison du lexique employé par chaque classe, en plus des termes déjà évoqués, d'autres différences ont été également repérées. Par exemple : les élèves de 6e parlent du « poids » tandis que les élèves de 3e parlent de « pression » pour dénoter l'effort sur l'écran ; les élèves de 6e parlent d'un « truc » et des « boutons », de « détection » tandis que les élèves de 3e parlent de « capteurs » ou « détecteurs ». Nous verrons dans la discussion de l'étude que l'on doit être prudent au moment de corréler cet écart lexical à une maitrise conceptuelle quelconque de la part des élèves.

4.3.3.5. Des nouvelles idées

Soulignons enfin que l'aspect le plus marquant des entretiens tient au débat qui a eu lieu entre les élèves, notamment aux arguments et contre-arguments qu'ils avancent pour défendre et/ou écarter leurs « hypothèses ». La confrontation des positions défendues par les élèves lors des entretiens a ainsi permis l'émergence de nouvelles idées et hypothèses qui n'avaient pas été mentionnées dans leurs textes (*cf.* Annexe).

En effet, de manière générale, l'ensemble des interviewés (toutes classes confondues) défendent des hypothèses diverses : les écrans tactiles réagissent à la *force* qu'on exerce sur lui ; ils détectent la *pression* sur l'écran, la *chaleur* des doigts ; ils sont sensibles au *frottement* des doigts, à la lecture des *empreintes* digitales, ou encore aux *mouvements* des doigts sur

l'écran. Cependant, la discussion dans les groupes d'interviewés, la défense et le rejet des hypothèses, ainsi que la manipulation des différents objets et artefacts dont les élèves disposaient, rendent leurs explications initiales et spontanées instables et contradictoires. Ainsi, au fur et à mesure que le débat avance et que leurs contradictions s'imposaient, les élèves rejetaient les hypothèses inopérantes et ciblaient de plus en plus la situation.

À l'intérieur de ce « jeu », les élèves aboutissent effectivement à l'exposition des nouvelles hypothèses non repérées dans le corpus des questionnaires, comme par exemples : « ah non, c'est à cause de *l'humidité de la peau* » ; « *c'est le sang*, oui parce qu'on est vivant » ; ou bien ça marche avec les doigts parce que « *les doigts ne glissent pas, ils tirent* » sur l'écran. Cette dernière idée est une idée trouvée dans quatre groupes des classes de 6e mais elle n'apparaît pas dans les classes de 3e. Finalement, tant les classes de 3e que celles de 6e concluent que parce que ça ne marche qu'avec la peau, le lien entre l'action et la détection sur l'écran doit avoir « *forcément* » un lien avec la peau.

Voyons en quelques extraits illustrant certains des résultats précédents :

Élèves de 6e :

(Extrait d'entretien n° 1 : élèves de 6e : ça ne glisse pas)

Élève 3 : Alors, ça doit être *l'empreinte* des doigts.

Élève 2 : mais non, parce que tout le monde a une empreinte [différente] et on peut utiliser n'importe quel portable.

Élève 4 : C'est parce que « *ça tire* ». Oui, regarde, faites comme ça sur la table et tu verras que « ça tire » [l'élève posse son doigt sur la table et « tire » vers lui. Il veut montrer que son doigt a du mal à glisser]. Avec l'ongle, regarde [il touche l'écran], *ça ne fonctionne pas parce que ça ne tire pas*. Alors, c'est parce que les doigts de l'homme ils tirent sur l'écran. C'est ça non ?

(Extrait d'entretien n°2 : élèves de 6e : ça vient du corps)

Élève 1 : dans le stylet, au bout, il y a quelque chose de blanc, comme de la cire : ça doit marcher pour ça.

Élève 2 : oui mais avec le doigt comment on fait ?

Élève 1 : avec les doigts ? Bah ça vient du corps, donc ça veut dire que le stylet a quelque chose qui vient du corps...

(Extrait d'entretien n° 4 : élèves de 6e : l'empreinte)

Élève 2 : c'est le truc qu'ont les policiers, comment ça s'appelle ?

Élèves 3 : *les empreintes* ?

Élève 2 : voilà, c'est ça, *il détecte ton empreinte*.

Élèves 3 et 1 : bah non, parce que ça veut dire qu'il faut d'abord prélever ton empreinte, et en plus ça marche avec n'importe quelle empreinte.

Élève 3 : peut-être c'est le *mouvement*, le *frottement* c'est ça.

Élève 1 : *bah non*, regarde (il touche sans faire bouger son doigt) ça marche même si l'on ne déplace pas le doigt...

Élève 2 : c'est la *bioénergie alors ;* c'est parce qu'on est vivant.

(Extrait d'entretien n° 3 : élèves de 6e : les vibrations)

Élève 2 : ah oui, *c'est le son* !

Élève 4 : Mais non, ces appareils (ceux qui sont sur table) ne réagissent pas au son !

Élève 2 : non, c'est que *quand on touche on fait obligatoirement du bruit*. Comme les scorpions : ils entendent le bruit des insectes avec des poils spéciaux qu'ils ont dans les pattes...

Élève 3 : mais si tu touches avec ça [l'élève prend un stylo], ça fait du bruit aussi mais ça ne marche pas ; ce n'est pas le bruit ; je crois.

Élèves 1 **:** c'est quelque chose qui est dans la peau...

Élève 4 : c'est l'ADN ?

Élève 2 : non. C'est parce que nos doigts ils accrochent ; la peau elle a des imperfections ; c'est *le relief de la peau qu'est spécial*...

(Extrait d'entretien n°5 : élèves de 6e : le sang)

Élève 1 : c'est uniquement avec le corps que ça marche.

Élève 2 : oui voilà, ce qu'avec la main.

Moi : Ok, avec le corps, mais comment ?

Élève 3 : c'est parce que nous avons quelque chose dans les *veines*.

Élève 2 : Dans les veines ? Mais qu'est-ce qu'il y a dans les veines ?

Élève 1 : il y a du *sang*...

Élève 3 : voilà ! C'est ça : c'est le sang !

(Extrait d'entretien n°6 : élèves de 6e : quelque chose passe au travers de la feuille)

MOI : mais rappelez-vous de l'expérience avec le papier : on a vu que pour que l'écran réagisse, la peau ne doit pas être forcément en contact avec l'écran.

Élève 2 : oui mais avec le papier tout seul ça ne marche pas, il faut mettre le doigt dessus pour que ça marche.

MOI : c'est vrai, et qu'est-ce que cela veut dire ?

Élève 1 : que le toucher de la main avec quelque chose ça peut marcher.

Élève 2 : *parce ce que* c'est tellement fin que ça passe [il fait référence à l'épaisseur de la feuille interposée entre le doigt et l'écran tactile].

MOI : « ça passe » ? qu'est-ce qu'il laisse passer le papier ?

Élève 2 : les fibres… la matière du papier.

Élève 1 : les microparticules électriques qu'on a dans notre corps !

MOI : voilà une très bonne idée ! Qu'est-ce que c'est ces « microparticules » ?

Élève 1 : ***On a appris ça* en sciences** : on a des mini-particules électriques c'est pour ça que dès fois quand on touche le gens on passe de l'électricité.

Élève 2 : Oui ! Et ça active de milliers de puces … enfin pas de puces : quelque chose qui est dedans et qui reconnaît la partie électrique [les puces auxquelles l'élève 2 fait référence ce sont des « capteurs »].

Élèves de 3e :

(Extrait d'entretien n°11 : élèves de 3e : c'est la chaleur)

Élève 2 : il y a un capteur de chaleur.

Élève 3 : mais on n'a pas tous la même chaleur corporelle et on peut tous allumer un portable...

Élève 2 : si, justement, on **a tous entre 37°C et 38°C de chaleur corporelle** ...

Élève 3 : d'accord, mais si quelqu'un a de la fièvre il n'aura pas de mal à allumer un portable qu'un autre qui n'est pas malade.

(Extrait d'entretien n°12 : élèves de 3e : c'est la force et la matière)

Élève 4 : bah ***non***, *il n'y a pas que la chaleur* parce que si l'on chauffe une casserole et puis on appuie ça ne va pas réagir.

Élève 2 : non... c'est parce que c'est la ***circulation sanguine***...

Élève 3 : à mon avis c'est la ***force*** qu'on fait.

Élève 1 : *non*, ce n'est pas la force parce si l'on appuie très doucement, comme ça (elle le fait), ça marche également.

Élève 2 : Donc ça veut dire qu'il y a quelque chose en plus de la chaleur, quelque chose avec la ***matière***.

(Extrait d'entretien n°15 : élèves de 3e : c'est l'énergie)

Élève 2 : ça détecte le mouvement *des doigts*

Élève 3 : non, c'est parce qu'on émet de *l'énergie*

Élève 1 : dans le mouvement il y a de l'énergie

Élève 2 : dans les empreintes il y a aussi de *l'énergie thermique*

Élève 1 : c'est l'énergie thermique qui est dans notre corps parce qu'on est à 37°C

(Extrait d'entretien n°14 : élèves de 3e : c'est l'humidité)

Élève 2 : c'est *l'empreinte* des doigts alors.

Élève 3 : ça doit être ça parce que si l'on touche avec des gants ou avec un tissu ça ne répond pas...

Élève 1 : ça veut dire *qu'il faut que le doigt soit en contact avec le téléphone.*

Élève 2 : non, pas forcément le doigt. Ça peut être avec une autre partie du corps. Regardez ça marche avec le coude aussi.

Élève 3 : c'est la *peau* alors.

Élève 1 : non, c'est parce que *la peau est humide*, c'est l'humidité !

Nous constatons dans ces extraits la manière dont les représentations des élèves évoluent en fonction des échanges verbaux et des manipulations sur les écrans tactiles à leur disposition. Ces extraits mettent aussi en évidence la similitude entre les propositions des élèves de 6e et les propositions des élèves de 3e.

Ces extraits clôturent la partie relative à l'exposé des réponses fournies par notre échantillon de collégiens pour satisfaire la consigne du questionnaire et des entretiens, à savoir : comment ça marche un écran tactile ? Nous y avons présenté, d'une part, les réponses de l'ensemble de l'échantillon de collégiens (tous niveaux confondus) et, d'autre part, nous avons mis en parallèle les réponses recueillies dans les classes de 6e avec celles recueillies dans les classes de 3e. La section suivante présente la discussion de l'ensemble de ces résultats.

4.3.4. Discussion des réponses des collégiens : tous niveaux confondus

Premièrement, en ce qui concerne les étapes et les schémas fonctionnels évoqués par l'ensemble de l'échantillon de collégiens, l'analyse globale des réponses montre que les élèves de notre échantillon prennent en compte de manière quasi-exclusive les étapes « Action » (162 élèves ; 85 %) et « Détection » (104 élèves ; 55 %). Le tableau 1 montre, en effet, que seulement 18 et 11 élèves sur les 190 collégiens interrogés évoquent respectivement les étapes « Transmission » (9 %) et « Traitement » (6 %). En conséquence, les schémas fonctionnels les plus fréquemment repérés dans les propositions des collégiens se partagent nettement entre le schéma fonctionnel « Action/Détection » (67 élèves ; 35 %) et le schéma fonctionnel « Action » (62 élèves ; 33 %).

En outre, alors que 95 élèves de notre échantillon sont capables de proposer des schémas fonctionnels associant, dans une même réponse, au moins les deux premières étapes, soit un schéma du type « Action/Détection »/…), seulement 16 élèves sur les 190 enquêtés proposent un schéma fonctionnel incluant les trois premières étapes, soit un schéma du type « Action/Détection/Transmission/… » (voir Tableau 2). Plus remarquable encore, le tableau 2 montre que seulement 5 élèves sur les 190 interrogés proposent un schéma fonctionnel complet, soit un schéma incluant les cinq blocs fonctionnels, c'est-à-dire du type « Action/Détection/Transmission/Traitement/Sortie ».

Deuxièmement, en ce qui concerne l'interaction de l'écran tactile avec les agents ou

phénomènes auxquels les élèves associent sa sensibilité, on a pu voir dans le tableau 3 que les réponses les plus fréquentes ne « conceptualisent » pas cette interaction en termes de phénomènes à proprement parler. D'après 41 % de nôtre échantillon, soit 79 élèves — tous niveaux confondus — les écrans tactiles sont tout simplement sensibles au « toucher des doigts ».

Néanmoins, bien que moins important en nombre absolu, le tableau 3 montre également qu'une autre partie des 190 collégiens interrogés formule des réponses où l'interaction doigt-écran est interprétée en termes de « chaleur », « pression, « mouvement ». Ce groupe de 53 élèves (28 %) nous propose donc des explications avec des termes dont la signification et l'usage renvoient, dans le domaine de la physique par exemple, à des phénomènes bien précis. D'ailleurs, bien qu'une partie de l'échantillon — tous niveaux confondus — parle de « boutons » (14 élèves ; 8%), une proportion non négligeable d'élèves emploie cependant le terme « Capteur » (60 élèves ; 33 %) pour designer l'entité qui prend en charge la détection d'une éventuelle action sur l'écran tactile. Malgré le fait que de nombreux de travaux montrent que ce ne sont pas encore des concepts bien établies chez les jeunes élèves, l'on peut sans doute repérer déjà chez ce dernier groupe d'élèves une intention de conceptualisation de la situation proposée.

On peut donc conclure à cet égard en affirmant que :

1. Les collégiens interrogés tiennent principalement compte des blocs fonctionnels « Action » et « Détection » et, en conséquence, ignorent dans leurs analyses les blocs fonctionnels « Transmission », « Traitement » et « Sortie ».
2. Les schémas fonctionnels sous-jacents aux analyses des collégiens par rapport au fonctionnement des écrans tactiles se partagent entre le schéma fonctionnel « Action/Détection » (35 %) et le schéma fonctionnel « Action » (33 %).
3. Une faible proportion des collégiens (6 %) emploie le terme « information » dans leurs explications.
4. Aucun collégien n'emploie le terme « logiciel » dans leurs explications.
5. Une proportion importante de collégiens utilise le terme « Capteur » (33 %) dans leurs explications.
6. Les collégiens associent la sensibilité des écrans tactiles principalement à la détection : du « toucher des doigts », de « chaleur », de « pression », de « mouvement », des « empreintes » digitales.

4.3.5. Lexicalisation et conceptualisation

Un aspect auquel nous avons prêté une attention particulière est celui des mots employés dans les productions des élèves. Sur ce point, la littérature confirme l'écart existant entre conceptualisation (dans la perspective de Vygotski) et lexicalisation, notamment lorsqu'il s'agit des productions discursives – orales et écrites – des élèves (Rozier & Viennot, 1991 ; Sander, 2008 ; Tiberghien, 2008 ; Weil-Barais & Goffard, 2005).

Nous constatons en effet que les élèves utilisent dans leurs formulations certains concepts (force, pression, chaleur, capteur) sans pour autant leur associer un contenu conceptuel bien défini. Dans cette perspective, nombreux sont les travaux qui montrent que les élèves ont des difficultés dans la distinction conceptuelle des concepts *chaleur* et de *température* (Astolfi & Develay, 2002 ; Erickson, 1985 ; Zimmerman, 1990). De notre part, nous constatons que le concept de température est totalement absent des explications (écrites et orales) proposées par les élèves de collège. En conséquence, lorsqu'ils veulent indiquer que l'action sur l'écran peut être une action thermique ou bien noter que l'écran est sensible à ce type de phénomènes, ils n'utilisent que le terme de chaleur : *l'écran détecte la chaleur, c'est parce que les doigts sont chauds, l'écran est sensible à la chaleur*, nous disent-ils. Ce type de réponses peut être expliqué par l'effet du langage courant (non scientifique) sur la conceptualisation des élèves[59].

Cet écart conceptuel est également manifeste dans l'expression « *chaleur humaine* », employée tant dans les réponses des questionnaires que dans celles des entretiens. Cette expression dévoile, comme nous avons pu le constater lors des entretiens, que certains élèves pensent qu'il est possible de classer et de distinguer la *chaleur* selon le corps à laquelle elle est rattachée. On s'est aperçu ainsi que quelques élèves différencient la « *chaleur humaine* » de la chaleur d'autres corps physiques. Par exemple, les élèves parlent de la chaleur du métal, de la chaleur du plastique, de la chaleur du chat, de la chaleur des doigts, etc. En conséquence, ils repèrent dans les écrans tactiles autant de types de « détecteurs de chaleur » que de corps pouvant la contenir.

[59]Lors des échanges quotidiens les élèves sont habitués à des formules langagières désignant que certains corps *sont plus chauds* que d'autres. Quant au concept de température, le langage quotidien lui réserve plutôt un usage lié à la description journalière du climat : il fait 15°C à Paris, par exemple. Par conséquent, les explications des élèves ne font apparaître que le terme de chaleur alors que celui de température n'est jamais utilisé. De ce fait, ils interprètent le fonctionnement de l'écran tactile en termes de « détection de chaleur ». Or, s'il est possible de détecter les variations de température d'un corps, il est impossible de *détecter* sa chaleur : les corps n'en possèdent pas de chaleur et ce concept n'exprime qu'un *processus de transfert* d'énergie entre deux corps dont les valeurs de température sont différentes.

Cet écart entre le lexique employé et les concepts auxquels ils doivent renvoyer, se manifeste également dans la formulation indistincte des élèves des mots tels que *force* et *pression*. Nous avons observé que dans leurs écrits, les élèves proposent aléatoirement des capteurs sensibles à la force et des capteurs sensibles à la pression exercée sur l'écran tactile. Ainsi, des entretiens de groupe révèlent que les trois mots sont indifférenciés (pression = force = toucher).

4.3.6. Discussion des réponses des niveaux contrastés : 6e vs. 3e

L'analyse comparative des réponses des classes contrastées montre toutefois que les élèves des deux classes (6e *vs*. 3e) conceptualisent et se représentent le fonctionnement des écrans tactiles de manières sensiblement différentes.

En effet, le schéma fonctionnel sous-jacent aux explications des 6e est un schéma fonctionnel très élémentaire, du type « Action » (voir Figure 16). Pour les classes de 6e, l'explication fournie tient principalement compte de l'action exercée sur le système et néglige, par conséquent, la prise en compte de cette action par le système (détection + transmission) ainsi que la réponse du système à cette action (traitement + sortie). Pour qu'un écran tactile marche, « il suffit d'agir », nous disent en quelque sorte les élèves de 6e. Ainsi donc, leurs réponses ne font le plus souvent qu'expliciter le rôle de l'agent ou de l'action appliquée au système : ça ne marche qu'avec les doigts, qu'avec la main, c'est la chaleur des doigts, c'est avec le toucher des doigts, c'est l'empreinte digitale, etc.

En revanche, le schéma fonctionnel sous-jacent aux explications des 3e est le plus souvent un schéma fonctionnel comparativement plus riche que celui proposé par les plus jeunes, à savoir du type « Action/Détection » (voir Figure 16). Contrairement aux 6e, les 3e explicitent dans leurs réponses à la fois l'action des agents sur le système et le repérage de ces actions par le système. En ce sens, dans la mesure où ils reconnaissent non seulement l'action de l'utilisateur mais aussi un des comportements du système, nous pouvons donc affirmer que les élèves de 3e fournissent une représentation du fonctionnement des écrans tactiles légèrement plus élaborée : il ne suffit pas d'agir sur le système, il faut aussi que cette action soit détectée par le système, nous expliquent les 3e.

En outre, l'analyse lexicométrique des mots utilisés par les élèves des différents niveaux, a révélé que la description de la phénoménologie ayant lieu à la surface de l'écran est décrite par les 3e avec des mots et des termes dont la définition, chez les spécialistes, renvoie à des concepts dits « scientifiques » (voir Figure 17). En ce sens, alors que les 6e parlent de

« boutons » et du « toucher des doigts », les 3e formulent des réponses avec des termes comme « capteurs », « chaleur », « pression ». Compte tenu de cela, les réponses des 3e tendent à une élaboration conceptuelle plus marquée[60]. Il s'agit là d'une différence fondamentale vis-à-vis des réponses des plus jeunes.

Concernant donc l'analyse comparatif des réponses des classes de 3e et des classes de 6e, on peut conclure en affirmant que :

1. Le schéma fonctionnel sous-jacent aux représentations des 6e est de type « Action » ; le schéma fonction sous-jacent aux représentations des élèves de 3e est de type « Action/Détection ».
2. Les composants qui selon les élèves de 6e détectent l'action sur l'écran tactile sont des « boutons » ; les composants qui selon les élèves de 3e détectent l'action sur l'écran tactile sont des « capteurs ».
3. Selon les élèves de 6e les écrans tactiles sont principalement sensibles « au toucher des doigts » ; selon les élèves de 3e les écrans tactiles sont principalement sensibles à « la chaleur des doigts » et à la « pression des doigts ».

4.4. Échantillon de lycéens : résultats

Afin de constater la continuité et la rupture des représentations et conceptualisations vis-à-vis des réponses des collégiens, l'étude N°2 s'est intéressée également aux réponses des lycéens.

Cette partie présente, en effet, les résultats de l'analyse des réponses issues d'un échantillon de 236 élèves de lycée. Rappelons que la question proposée à ce groupe de lycéens est identique à celle posée à l'échantillon de collégiens, à savoir *« avec tes mots, essaie d'expliquer comment penses-tu que marche un écran tactile »*.

L'échantillon de lycéens interrogés se compose comme suit :

- 103 élèves 2de générale ;
- 53 élèves en première, série « Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable » (1^{re}_STI2D) ;
- 50 élèves en terminal, série « Sciences et technologies de l'industrie et du développement durable » (T_STI2D) ;

[60] Sans pour autant vouloir dire qu'ils associent un contenu conceptuel adéquat à chacun de ces concepts. Quand les élèves parlent de capteurs par exemple, ils pensent simplement en termes de détection et non pas en termes de de composant de transformation de grandeurs physiques liées aux phénomène en grandeurs électriques ou optiques que le système est en mesure traiter.

- 30 élèves en terminal, série Audiovisuel Multimédia (T_AVM).

Nous présenterons les résultats selon l'ordre précédemment introduit lors de l'analyse des réponses de collégiens : d'abord on exposera les « Etapes » prises en compte dans les formulations des lycéens ; on présentera ensuite les « Schémas fonctionnels » repérés dans les explications des élèves et finalement les « Phénomènes » qu'ils associent à la détection et à la réaction des écrans tactiles.

Précisons que dans 13 % des cas la réponse d'un lycéen n'est affectée à aucun des schémas fonctionnels ici présents, car aucun des mots ou expressions ne correspond aux thématiques créées. Ce sont pour la plupart des réponses peu claires ou sans lien avec la question posée. Par exemple :

Q.N°130 : « *C'est un bon fonctionnement, c'est rapide et facile à utiliser* » (2d_G).

4.4.1. Étapes : réponses de lycéens

Le tableau 4 (voir ci-dessous) présente les étapes ou blocs fonctionnels pris en compte par l'ensemble des lycéens interrogés. On constate, à la lecture du tableau 4, que les réponses des lycéens manifestent une grande ressemblance avec les réponses des collégiens vis-à-vis des blocs fonctionnels repérés dans leurs explications. En effet, nous nous apercevons aisément que, d'une part, les blocs fonctionnels les plus fréquemment rencontrés dans les réponses des lycéens sont « Action » et « Détection » et, d'autre part, les blocs fonctionnels « Transmission », « Traitement » et « Sortie » sont comparativement peu suggérés ou explicités dans leurs réponses.

Tableau 4. « *Etapes* » : réponses des lycéens

Étapes	Effectifs	Fréquence
Action	180	76,3 %
Détection	165	69,9 %
Transmission	38	16,1 %
Sortie	29	12,3 %
Information	28	11,8 %
Traitement	27	11,4 %
Le logiciel gère	8	3,4 %

Pourcentages : calculés sur la base de N =236

Le tableau 4 montre effectivement qu'une proportion importante des lycéens prennent en compte dans leurs réponses l'action de l'utilisateur sur le système (76 %) et la détection de ce

dernier par le système (70 %). En revanche, les étapes « Transmission » et « Traitement » ne sont repérées que dans une proportion relativement faible des réponses des lycéens (16 % et 11 % respectivement).

Le tableau 4 montre également qu'une faible proportion des lycéens emploie le terme « information ». L'on constate, en effet, que seulement, 28 élèves sur les 236 interrogés font appel à cette notion — soit 12 % de l'échantillon. Notons ici que, l'usage du terme « information », comme ce sera démontré plus loin dans le texte, est corrélé à la prise en compte, dans une même réponse et par un même élève, des étapes « Transmission » et/ou « Traitement ».

Or, bien que l'on trouve des similitudes entre les explications des lycéens et des collégiens, les deux derniers éléments consignés dans le tableau 4 marquent une différence substantielle par rapport aux réponses des deux échantillons. D'un côté, on remarque que certains lycéens précisent dans leurs réponses qu'il y a un « logiciel qui gère » tout ce qui se passe à l'écran (8 élèves) et, de l'autre côté l'on trouve chez les lycéens deux élèves qui précisent dans leurs réponses que l'affichage de l'écran et la détection sont deux processus interdépendants. Bien que non significatives, ce type de précisions, soulignons-le, sont absolument absentes des réponses proposées par l'échantillon de collégiens.

Illustrons ces remarques avec des exemples concrets :

> **Q.N°36 :** « *Il y a des capteurs derrière le verre et l'écran fait la relation entre les informations reçues par les capteurs et ce qu'affiche l'écran* » (T_STI2D).
>
> **Q.N°83 :** « *Lorsque l'on appuie sur l'écran tactile on active le fonctionnement du logiciel de l'écran qui va détecter l'endroit où l'on a touché* » (T_STI2D).
>
> **Q.N°101 :** « *L'écran tactile fonctionne grâce à des capteurs et avec un petit logiciel adapté à la technologie de l'écran tactile utilisée* » (T_AVM).

4.4.2. Schéma fonctionnel : réponses des lycéens

Le tableau 6 (voir ci-dessous) montre l'ensemble des schémas fonctionnels repérés dans les explications de l'échantillon de lycéens. On y aperçoit que le schéma fonctionnel le plus fréquemment rencontré chez les lycéens correspond à un schéma fonctionnel du type « Action/Détection » (95 élèves ; 40 %).

Le contenu des réponses codées dans cette catégorie est le suivant :

> **Q.N°12** : « *L'écran tactile a un capteur thermique qui permet de détecter [D] les doigts ou d'autres parties du corps car notre corps est toujours chaud [A]*

grâce à la circulation du sang » (2d_G).

Q.N°23 : « *Un écran tactile fonctionne avec les doigts, seuls les doigts sont détectés* » (2d_G).

Tableau 5. « *Schéma fonctionnel* » : réponses des lycéens

Sché.Fonc.	Effectifs	Fréquence
A/D	95	40 %
A/D/T	23	10 %
A	15	6 %
A/D/Tn	13	5 %
D	12	5 %
A/D/S	11	5 %
A/D/T/Tn	9	4 %
A/D/T/S	6	2 %
A/D/Tn/S	5	2 %
A/S	5	2 %

Pourcentages : calculés sur la base de N =236

Le deuxième schéma fonctionnel le plus fréquemment identifié chez les lycéens interrogés est du type « **A**ction/**D**étection/**T**ransmission ». Il s'agit là, remarquons-le, d'une différence avec notre échantillon précédent dans le mesure où, chez les collégiens, le schéma fonctionnel rencontré en deuxième position du tableau dans une proportion (33 %) tout aussi importante que le premier (35 %) était encore plus simplifié que ce dernier : du type « Action ». Nous n'avons donc que 9,7 % des lycéens qui formulent des réponses comme les suivantes :

Q.N°69 : « *Je pense que les écrans tactiles fonctionnent grâce à des capteurs qui détectent [D] la position de notre main lorsque l'on touche [A] l'écran et qui transmettent [T] un information électrique* » (1ere_STDI)

Q.N°233 : « *Je pense qu'il y a des capteurs derrière l'écran qui détectent le doigt et qui transmettent l'information au processeur* » (2d_G).

4.4.3. Phénomènes

Le tableau 7 montre certains des termes et des idées identifiées chez les lycéens pour faire référence aux phénomènes et aux processus qui selon eux rendent compte de l'interaction doigt-écran.

Nous constatons dans le tableau 7 que la proportion des lycéens ayant employé le terme « capteur » est loin d'être négligeable. En effet, 93 lycéens, soit 40 % de l'échantillon total,

utilisent dans leurs réponses le terme « capteur ».

Tableau 6. Phénomènes : réponses des lycéens

Réponses	Effectifs	Fréquence
Capteurs	93	40 %
Chaleur	39	16 %
Position du doigt	*33*	*14 %*
Pression	25	11 %
Dépend de l'écran	*20*	*8 %*
Mouvement	12	5 %
Élect. Statique des doigts	10	4 %
Température	*4*	*2%*
Boutons	2	1 %
Empreinte	1	0,4 %

Pourcentages : calculés sur la base de N =236

Le tableau ci-dessus est particulièrement proche fait transparaitre également que la réaction de l'écran est principalement associée aux phénomènes thermiques, mécaniques, cinématiques et électriques. En effet, les lycéens associent la sensibilité des écrans tactiles principalement à la « chaleur » (39 élèves) et à la « pression » (25 élèves), mais aussi au « mouvement » (12 élèves) et à l'électricité statique (10 élèves). On constate dans la ligne 8 du tableau que certaines lycéens (4 élèves) utilisent le terme « température » et non pas « chaleur ». Il s'agit là d'une précision importante et absente des réponses des collégiens. Par exemple :

> **Q.N°77 :** « *Je pense que ce sont des micro puces qui détectent les variations de température. C'est pour cela que certains écrans tactiles ne réagissent pas avec un stylet* » (T_STI2D).
>
> **Q.N°223** : « *Ils marchent grâce à des capteurs sensoriels dans la surface tactile. Les capteurs enregistrent une hausse de température (avec un gant l'écran ne réagit pas par exemple car le gant n'est pas à 37°C* » (2d_G).

On trouve dans la troisième ligne du tableau 7 un élément de réponse qui va différencier fondamentalement les propositions des lycéens par rapport à celles des collégiens, à savoir la prise en compte de la « position du doigt » dans l'explication proposée. En effet, une proportion non négligeable de lycéens (33 élèves ; 14 %) précise — de manière explicite ou bien de manière implicite — qu'il ne suffit pas que l'écran détecte le doigt mais qu'il faut aussi qu'il puisse déterminer sa « position », c'est-à-dire l'endroit où il a touché l'écran. Par exemple :

> **Q.N°89** : « *Je pense que l'écran tactile est sensible à la chaleur du doigt.*

Ensuite un logiciel calcule l'endroit où le doigt a touché l'écran » (1ere_STI2D).

Q.N°40 : « *Les écrans tactiles ont des détecteurs de chaleur. Ils disposent de capteurs sur les côtés qui calculent la position x, y d'un doigt, la surface d'appui et la retranscrivent* » (1ereSTI2D)

Q.N°133 : « *Je pense que lorsque l'on touche l'écran, un capteur détecte la zone où l'on a posé le doigt et agit en fonction de ce qu'on a touché* » (2de_G)

Q.N°170 : « *Il y a des capteurs qui calculent le point de contact du doigt pour pouvoir ouvrir l'application* » (2de_G)

Certains lycéens (20 élèves ; 8 %) vont préciser aussi dans leurs explications qu'« il y a différentes technologies », c'est-à-dire « différents types d'écran » et donc qu'ils ne fonctionnent pas tous de la même manière. Il s'agit des précisions comme les suivantes :

Q.N°42 : « *Il y a certains écrans tactiles qui fonctionnent grâce à la chaleur des doigts, d'autres grâce à la pression* » (1er_STI2D)

Q.N°99 : « *Cela dépend de la technologie utilisée, la technologie infrarouge n'est pas la même que la capacitive ou la résistive* » (T_AVM).

Enfin, il faut souligner que les « explications » selon lesquelles l'utilisateur appuie sur des « boutons » (2 élèves), ou bien que les écrans tactiles détectent l'« empreinte digitale » (1 élève), sont des arguments quasi-absents dans les réponses des lycées.

4.4.4. Relation entre l'emploi du terme « information » et la prise en compte des étapes « Transmission » et « Traitement ».

Nous venons de constater dans le tableau 4, d'un côté, que 38 et 27 lycéens suggèrent respectivement dans leurs réponses les étapes « Transmission » et « Traitement » et, de l'autre côté, que 28 lycéens explicitent et utilisent dans leurs explications le terme « information ». Dans la mesure où chacun de ces chiffres sont près de trois fois plus importants que chez les collégiens (voir Tableau 1), l'on peut s'interroger s'il n'existe pas un lien entre la prise en compte de ces blocs fonctionnels et l'usage, dans une même réponse, du terme information. Ou vice-versa, n'existe-t-il pas un lien entre l'usage du terme information et la prise en compte, dans une même explication, des étapes transmission et traitement ? Cette section examine justement ce lien.

Pour cela nous allons nous servir de Modalisa et, plus spécifiquement, de son outil de calcul du « pourcentage d'écart maximum » (PEM). Cet outil nous permettra ici d'examiner s'il

existe (ou pas) un lien entre les modalités « information », « Transmission » et « Traitement ». Tout ce qu'il nous faut savoir c'est que lorsque la valeur du « pourcentage d'écart maximum » calculée entre deux modalités d'un tableau de contingence est positive, il s'agit dans ce cas d'un indicateur de liaison – ou d'attraction – entre ces modalités (Cibois, 1993).

Lorsqu'on demande donc à Modalisa, à la fois de créer le tableau de contingence croisant la modalité « information » avec l'ensemble des étapes et de calculer le PEM pour chacun des croisements, l'on obtient le tableau 7 (voir ci-dessous). Nous y apercevons dans chacune des lignes (en lisant de gauche à droite) : le nombre d'élèves ayant effectivement (Eff.) évoqué à la fois le terme information et l'une des étapes ; le nombre d'élèves qui théoriquement (Th.) auraient dû l'utiliser dans une situation d'absence de lien entre la modalité « information » et la modalité « étape » ; l'écart entre ces valeurs (Eff.-Th.) et la valeur du PEM calculé.

Tableau 7. Attraction entre l'emploi du terme « information » et la prise en compte des étapes[61]

	Terme « Information »			
Etapes	**Eff.**	**Th.**	**Ec.**	**PEM**
Action	27	31,7	< 0	< 0
Détection	23	29,1	< 0	< 0
Sortie	4	5,1	< 0	< 0
Transmission	**21**	**6,7**	**13,3**	**42 %**
Traitement	**10**	**4,8**	**4,7**	**21 %**

Khi2=47,2 ddl=5 p=0,001 (Val. Théoriques < 5 = 1) V de Cramer

Ce que l'on constate donc à la lecture du tableau 7, c'est que l'écart entre les valeurs « effectifs » et « théoriques » ainsi que les valeurs du PEM calculé ne sont positifs que dans les deux dernières lignes du tableau, c'est-à-dire dans le croisement de la modalité « information » et des modalités « Transmission » et « Traitement ». L'interprétation de ce résultat nous indique donc qu'il existe effectivement une liaison (ou attraction) entre ces trois modalités.

C'est dans ce sens que les deux dernières lignes du tableau ci-dessus sont soulignées en vert par le logiciel Modalisa : plus la valeur du PEM est importante (ici en vert foncé), plus les modalités ont une attraction forte entre-elles.

[61] Le tableau 7 expose, pour chacune des étapes, le nombre d'élèves ayant effectivement employé le mot « information » (Eff.) et l'effectif théorique (Th), à savoir l'effectif correspondant au nombre d'élèves qui auraient utilisé le terme en question dans une situation d'absence de lien entre les deux modalités du tableau (Étapes/Information). Ainsi, contrairement aux trois premières lignes du tableau 5, nous constatons, vis-à-vis de la modalité « information », un écart positif entre les valeurs effectifs et théoriques relatifs aux étapes « Transmission » et « Traitement ».

En revanche, les résultats exposés dans le tableau 7 suggèrent qu'il n'y a aucune attraction entre la prise en compte des blocs fonctionnels « Action », « Détection » et « Sortie » et l'utilisation, dans une même réponse, du terme « information ».

Nous pouvons donc conclure de la lecture du tableau 7 que lorsqu'un élève emploie le terme « information » pour expliquer comment ça marche un écran tactile, il est fort probable qu'il évoque également dans sa réponse les étapes « Transmission » et « Traitement » de l'information. Dans cet échantillon et face à la question posée :

- Il existe une liaison ou attraction entre l'usage du vocable « information » et la prise en compte des étapes « Transmission » et « Traitement ».
- Cette attraction est plus importante vis-à-vis de l'étape « Transmission » que vis-à-vis de l'étape « Traitement ».

4.4.5. Discussion des réponses des lycéens

Rappelons que les lycéens interrogés ont répondu à la même question présentée à l'échantillon des collégiens, à savoir comment ça marche un écran tactile ? Rappelons aussi que l'ensemble de leurs réponses ont été également codées dans trois catégories : « Étapes », « Schémas fonctionnels » et « Phénomènes ».

Premièrement, concernant les « Étapes » prises en compte par les lycéens (236), l'analyse des réponses montre, que tout comme pour les collégiens, les explications des lycéens sont non seulement nettement plus centrées sur les étapes « Action » (76 %) et « Détection » (70 %), mais aussi sensiblement moins concernées par les étapes « Transmission » (16 %) et « Traitement » (11 %). En outre, nous avons constaté également chez les lycéens un usage relativement faible du terme « information » : une proportion très importante des élèves (88 %) n'emploie pas ce terme dans leurs réponses (voir Tableau 4).

Deuxièmement, concernant les schémas fonctionnels identifiés dans les explications des lycéens (voir Tableau 5), l'on s'aperçoit que ces dernières se construisent principalement à partir du schéma fonctionnel « Action/Détection » (95 élèves ; 40%).

Troisièmement, nous trouvons également dans la population des lycéens, d'un côté, une proportion très importante d'élèves employant dans leurs réponses le terme « capteur » pour designer « ce » qui détecte l'action exercée sur l'écran (93 élèves ; 40 %) et, de l'autre côté, nombre d'élèves associant principalement la sensibilité des écrans tactiles à la « chaleur » (16 %) et à la « pression » (10 %) des doigts.

Cependant, lorsque l'on s'intéresse plus en détail aux réponses des lycéens, nous constatons

qu'il existe également des différences non-négligeables entre leurs explications et celles des collégiens. En effet, premièrement, en ce qui concerne les « étapes », l'on trouve chez les lycéens enquêtés une proportion plus importante d'élèves suggérant ou explicitant l'étape « Transmission » (voir Tableau 3). Conséquemment, lorsqu'on analyse les schémas fonctionnels proposés par les lycéens (voir tableau 4), nous constatons effectivement que, contrairement aux collégiens (voir Tableau 2), le deuxième schéma fonctionnel le plus fréquemment rencontré chez les lycéens est du type « Action/Détection/Transmission » (23 élèves ; 10 %).

Troisièmement, on trouve chez les lycéens deux nouveaux éléments de réponses — des différences fondamentales par rapport aux réponses des collégiens —, à savoir la prise en compte de la position du doigt sur l'écran, et la prise en compte de la dimension « logiciel » dans le fonctionnement des écrans tactiles. En effet, contrairement aux collégiens, d'un côté nous trouvons un certain nombre de lycéens précisant dans leurs explications que la détermination de la position relative du doigt sur l'écran est un paramètre que le système doit prendre en compte (33 élèves).

De l'autre côté, nous trouvons chez les lycéens, des élèves (8 participants) qui précisent dans leurs explications que le fonctionnement des écrans tactiles nécessite un logiciel qui gère certaines des fonctions. Néanmoins, deux précisions doivent être faites ici sur ce dernier résultat. La première est que l'ensemble des huit élèves ayant précisé cet élément appartient aux classes terminales (T_STI2D et T_AVM) : autrement dit, aucun élève de seconde ne tient compte des logiciels. La deuxième précision qui doit être faite est que parmi ces huit élèves, six d'entre eux avaient déjà appris en cours comment fonctionnent les écrans tactiles : il s'agit des élèves des filaires AVM. Voici donc ce que nous dit un de ces élèves :

> **Q.N°232** « *Pourquoi expliquer comment l'on pense que cela fonctionne si on a déjà appris comment il marche ?* » (T_AVM).

Finalement, l'analyse lexicométrique des réponses des lycéens vient confirmer qu'il existe bien un lien ou « attraction » entre l'usage du terme « information » et le fait d'évoquer, dans une même réponse, l'étape « Transmission », ou l'étape « Traitement » — cette attraction, nous l'avons vu, est plus importante vis-à-vis de la première que de la deuxième.

Il s'agit là d'un résultat important dans la mesure où il nous permet d'expliquer, en partie, la faible représentation des blocs fonctionnels « Transmission » et « Traitement » dans les réponses des élèves, tous échantillons confondus : la faible représentation des bloc fonctionnels « Transmission » et « Traitement » dans l'ensemble des réponses est corrélée à la

faible représentation du terme « information » et vice-versa, d'un point de vue lexical au moins.

4.5. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°2 : tous niveaux confondus

Pour rappel, l'étude N°2 a interrogé un échantillon de 497 élèves — 258 collégiens dont 133 de 6e et 125 de 3e ; 236 lycéens — à propos de la question « comment ça marche un écran tactile ? ». Les principaux résultats de l'étude concernant les réponses au questionnaire (426 répondants) sont :

1. La notion de « logiciel » n'apparaît que dans quelques réponses des lycéens (8/426).
2. La notion d'« information » est rarement évoquée (39/426) dans les explications : 6e (2/101) ; 3e (9/89) ; lycéens (28/236).
3. La notion de « capteur » est fréquemment évoquée (153/426) dans les explications : 6e (8/101) ; 3e (52/89) ; lycéens (93/236).
4. Les 6e tiennent compte davantage du bloc fonctionnel « Action » (81/101).
5. Les 3e et les lycéens tiennent compte davantage du bloc fonctionnel « Détection » : 3e (66/89) ; lycéens (165/236).
6. L'étape « Transmission » est rarement évoqué (39/426) dans les explications : 6e (2/101) ; 3e (9/89) ; lycéens (38/236).
7. L'étape « Traitement » est rarement évoqué (38/426) dans les explications : 6e (1/101) ; 3e (10/89) ; lycéens (27/236).
8. La « position du doigt » sur l'écran n'est prise en compte que dans les explications des lycéens (20/236). Aucun collégien ne tient compte de cet élément de réponse.
9. Chez les 6e, le modèle fonctionnel du dispositif est de type « Action ».
10. Chez les 3e et les lycéens, le modèle fonctionnel du dispositif est de type « Action/Détection ».
11. Il existe une attraction (lexicale au moins) entre l'emploi du terme « information » et, notamment, la prise en compte de l'étape « Transmission ».
12. La sensibilité des écrans tactiles est principalement associée à la « chaleur des doigts » et à la « pression des doigts ».

4.5.1. Éléments communs de réponse : toutes classes confondues

Notons que, de manière générale, les réponses des lycéens sont similaires sur de nombreux

points à celles fournies par des collégiens. L'étude N°2 montre, en effet, que l'ensemble des élèves (collégiens et lycéens) explicitent ou suggèrent, dans une même explication, majoritairement les étapes « Action » et « Détection » tout en délaissant, dans une même réponse, celles de « Transmission » et « Traitement » (voir Tableaux 1 et 4).

Pour expliquer « *comment ça marche un écran tactile* », les explications les plus fréquemment rencontrées dans cette étude se concentrent effectivement sur ce qui se passe à la surface de l'écran tactile : il faut le toucher pour qu'il marche ; l'écran tactile détecte grâce à des capteurs ; les capteurs détectent, notamment la chaleur et la pression, mais aussi le mouvement, les empreintes digitales ou tout simplement, réponse des 6es, « le toucher des doigts ». Moins fréquentes sont les réponses rendant compte des processus de transmission et de traitement de l'information.

L'étude N°2 montre également que les élèves font un usage très modéré des termes « information » et « logiciel » lorsqu'ils expliquent comment marche un écran tactile : une très faible proportion des enquêtés emploie effectivement ces termes dans leurs réponses (3 % et 2 % respectivement). En revanche, l'analyse des réponses montre que l'usage du terme « capteur » est comparativement fréquent dans les explications des troisièmes et des lycéens (voir Tableaux 3 et 7) : une importante proportion de cette population nous dit, en effet, que les écrans tactiles marchent grâce à des capteurs (36 %).

4.5.2. Des ruptures

Si l'on prend en compte le niveau de scolarité des élèves, l'analyse des réponses met toutefois en évidence que les propositions des élèves se différencient sensiblement sur certains aspects.

En premier lieu, les réponses des élèves des classes de 6e, par rapport à celles de l'ensemble de l'échantillon, sont nettement plus concentrées sur l'« Action » (81 élèves ; 80%) de l'utilisateur sur le système. En conséquence, le schéma fonctionnel dominant les explications des plus jeunes est principalement du type « Action » (45 élèves ; 45%).

Le fait est que, pour les élèves de 6e, il suffit d'évoquer l'action à exercer sur l'écran tactile pour rendre compte de son fonctionnement. Par conséquent, chez les plus jeunes, l'étape « Détection » (38 élèves ; 38%) est comparativement moins explicitée ou suggérée dans leurs réponses. En ce qui concerne les étapes « Transmission » et « Traitement », elles sont quasi-absentes des explications des élèves de 6e — 2 élèves et 1 élèves respectivement. Notons enfin que cette absence des processus de transmission et de traitement dans les explications des plus jeunes s'accompagne également d'une quasi-absence du terme « information » dans

leurs écrits (2 élèves).

En second lieu, nous constatons que les explications des élèves de 3e, tout en prenant en compte l'action de l'utilisateur, explicitent ou suggèrent davantage le bloc fonctionnel « Détection » (66 élèves ; 74 %). Pour une grande partie de l'échantillon de 3e, en effet, il ne suffit plus d'évoquer l'action sur le dispositif pour rendre compte de son fonctionnement, il faut aussi parler de la détection de cette action par le dispositif. De ce fait, les 3e, à l'opposé des 6e, suggèrent dans leurs réponses un des comportements du dispositif. Cette évidence n'apparaît pas aux plus jeunes.

C'est ainsi sur la prise en compte du bloc fonctionnel « Détection » que le contenu des réponses des 3e va se différencier vis-à-vis des réponses des plus jeunes. Plus précisément, si, pour les 6e, il suffit d'évoquer le fait que l'écran tactile marche « en le touchant », expliciter uniquement ce « toucher » n'est pas suffisant pour les 3e.

Selon les plus âgés, en effet, pour que l'écran tactile marche, il faut que « le toucher » soit effectivement détecté par le système, c'est-à-dire qu'il faut que le dispositif soit en quelque sorte « au courant » qu'une action vient de lui être appliquée : pour les 3e, l'écran tactile marche essentiellement en « détectant ». En conséquence, le principal schéma fonctionnel sous-jacent aux explications des classes de 3e est plus élaboré que celui proposé par les plus jeunes, à savoir du type « Action/Détection » (41 élèves ; 46 %) (voir Figure 16).

Non seulement l'échantillon des 3e évoque bien plus souvent l'étape « Détection » mais aussi les étapes « Transmission » et « Traitement » — 16 élèves et 10 élèves respectivement. Ainsi, si dans la figure 16 on additionne l'ensemble des effectifs de 3e et de 6e prenant en compte, dans une même réponse, les étapes « Action », « Détection » et « Transmission » — soit un schéma fonctionnel au moins du type « A/D/T… » —, nous ne trouvons dans ce groupe que 2 élèves en classe de 6e (2 %), contre 16 élèves en classe de 3e (18 %). Autrement dit, les schémas fonctionnels incluant les trois premiers blocs fonctionnels dans une même explication sont neuf fois plus fréquents dans les explications des 3e que dans celles des 6e. De plus, alors qu'on trouve cinq élèves de 3e rendant compte du fonctionnement des écrans tactiles à partir d'un schéma fonctionnel complet (A/D/T/Tn/S), aucune des explications des 6e comprend ces cinq étapes dans une même réponse (voir Figure 16).

En troisième lieu, par contraste avec les 6e, une proportion non-négligeable d'élèves de 3e fournit des explications dans un lexique différent. On remarque ainsi, chez les 3e, l'intention de conceptualiser le fonctionnement des écrans tactiles en termes de phénomènes et de composants bien précis.

En effet, chez les 3e, ce ne sont plus des « boutons » mais des « capteurs » qui sont évoqués pour désigner l'entité prenant en charge l'interaction du doigt avec l'écran (52 élèves ; 58 %). De plus, chez ces élèves, l'écran n'est plus sensible au « toucher des doigts » comme c'est le cas chez les 6e, mais il est principalement sensible à la « chaleur », à la « pression » et au « mouvement » (voir Figure 17). En outre, alors que seulement 2 élèves de 6e font usage du terme « information », celui-ci apparaît dans les explications de 9 élèves de 3e (voir Figure 15).

Remarquons finalement que, à l'opposé des 6e (19 élèves), peu d'élèves de 3e (3 élèves) tentent d'expliquer le fonctionnement des écrans tactiles, en rappelant qu'« il y a des composants électriques ». L'existence d'une telle explication, décrivant le fonctionnement du dispositif par la présence de composants électriques, suggère donc que les élèves de 6e tendent davantage à confondre « structure » et « fonctionnement » que les élèves de 3e.

4.5.3. Des tendances : le cas des lycéens

Quant à la population de lycéens, nous constatons, par comparaison avec les collégiens, des différences importantes dans le contenu des réponses. En premier lieu, l'étape « Transmission » est sensiblement plus évoquée dans les réponses des lycéens (16 %) que dans celles des collégiens (9 %). Il est en ce sens remarquable que, dans cette étude, la progression dans la prise en compte de l'étape « Transmission » coïncide avec la progression du niveau de scolarité. : 2 % chez les 6e, 18 % chez les 3e et 16 % chez les lycéens (voir Figure 15 et Tableau 4).

En effet, l'étude N°2 suggère que, plus le niveau de scolarité est important, plus les élèves tiennent compte, dans une même explication, de plus d'étapes et suggèrent donc des schémas fonctionnels plus élaborés. Ainsi, malgré le fait que le schéma fonctionnel le plus rencontré chez les lycéens soit « Action/Détection » (95 élèves ; 40 %), le deuxième schéma fonctionnel le plus fréquemment identifié dans cette population est du type « Action/Détection/Transmission » (23 élèves ; 10 %). C'est là une différence importante avec l'échantillon de collégiens dans la mesure où les explications de ces derniers se partagent, de manière quasi-identique, entre le schéma fonctionnel « Action/Détection » (67 élèves ; 35 %) et « Action » (62 élèves ; 32 %), c'est-à-dire entre les deux schémas les plus élémentaires. De plus, le tableau 4 montre que 37 lycéens (16 %) tiennent compte, dans une même explication, des étapes « Action », « Détection » et « Transmission », soit un schéma fonctionnel dont la base est « A/D/T… ». On constate effectivement l'existence d'une

tendance, au fur et à mesure que s'élève le niveau de la scolarité, consistant à se représenter le fonctionnement des écrans tactiles en intégrant de plus en plus de blocs fonctionnels.

L'analyse des réponses des lycéens montre non seulement qu'ils se représentent différemment le fonctionnement des écrans tactiles, mais aussi qu'ils le conceptualisent de manière plus substantielle que ne le font les collégiens : certaines explications des lycées prennent en compte la « position du doigt » et le rôle des « logiciels ». En effet, alors qu'aucun collégien ne mentionne la « position du doigt », 20 lycéens le relèvent afin d'expliquer le fonctionnement des écrans tactiles. Il s'agit là d'une précision importante, dans la mesure où elle rend compte d'un élément clé du fonctionnement des dispositifs équipés d'écran tactile : c'est bien en déterminant et en associant la position du doigt avec celle des icônes — ou autres —, que les dispositifs tactiles traitent l'action de l'utilisateur.

Plus important encore, bien que ce ne soit pas directement explicité, ni même suggéré par les lycéens, expliquer le fonctionnement des écrans tactiles en précisant que la « position du doigt » est une des informations ou des paramètres à prendre en compte, renvoie à tenir compte d'un processus de traitement de l'information, et donc au bloc fonctionnel « Traitement ». En effet, dans la mesure où la donnée « position » est, en soi, le résultat d'un calcul, les lycéens ayant précisé cet aspect pointent, implicitement dans leurs réponses, l'existence d'un processus de traitement de l'information – les études N°4 et N°5 présentées dans cette recherche ont été conçues justement pour enquêter sur la manière dont les collégiens se représentent et conceptualisent ce processus.

L'étude N°2 montre, enfin, que le fait que les élèves ignorent dans leurs réponses les étapes « Transmission » et « Traitement » est concomitant avec l'absence, dans une même explication, de la notion d'« information ». En effet, l'analyse des réponses, tous échantillons confondus, montre que plus le terme « information » est ignoré, moins les blocs fonctionnels « Transmission » et « Traitement » sont suggérés ou explicités dans les réponses et vice-versa. Cette liaison a été initialement suggérée par l'analyse des données de la figure 15 qui montre, en effet, que plus un échantillon donné emploie le terme information, en l'occurrence les 3e, plus cet échantillon évoque les étapes « Transmission » et « Traitement ».

L'attraction entre, d'une part, l'usage du terme « information » et la prise en compte des étapes « Transmission » et « Traitement » de l'autre, a été effectivement démontrée à partir des réponses fournies par l'échantillon des lycéens (voir Tableau 7). Il s'agit là d'un aspect fondamental, car la prise en compte de la notion d'information ainsi que des étapes transmission et traitement sont essentielles à la description et à la compréhension des

systèmes numériques. C'est à partir de ce constat que nous avons construit la troisième étude de cette recherche : en fournissant le terme « information » aux élèves et en les contraignant à l'utiliser dans leur réponse. Prendront-ils effectivement en compte les étapes « Transmission » et « Traitement » ? Le cas échéant, quelles sont les conceptualiseront sous-jacentes ? Quels composants associent-ils à ces deux étapes ?

Chapitre 5. Étude N°3 : *comment ça marche un écran tactile ?* Réponses sous contrainte lexicale

5.1. Introduction

Nous avons constaté lors de l'analyse des résultats de l'étude précédente, tous niveaux confondus (collégiens et lycéens) :

- Notre question, « essaie d'expliquer comment penses-tu que marche un écran tactile », a été réduite par une partie importante de l'échantillon précédent, tous niveaux confondus, à ce qui se passe à la surface de l'écran tactile – on agit sur l'écran tactile et il détecte quelque chose. En conséquence, les réponses de cet échantillon se concentrent majoritairement sur l'explicitation des étapes « Action » et « Détection » (voir tableaux 1 et 4).
- Le fait que les réponses se soient focalisées sur le processus action-détection a fait que les étapes « Transmission », « Traitement » ne sont que faiblement présentes dans l'ensemble des explications proposées par les 426 élèves ayant répondu au questionnaire de l'étude précédente (voir tableaux 1 et 4).
- Par conséquent, le schéma fonctionnel les plus fréquemment reconstitué à partir des propositions de cet échantillon est très simplifié et est du type « Action/Détection » (voir tableau 2 et 6).
- Cette concentration de réponses sur les étapes « Action » et « Détection » s'accompagne d'une absence significative des notions de « données » et d'« information » : des termes qui n'apparaissent que très rarement dans l'ensemble des réponses.
- L'emploi du vocable « information » dans les formulations des élèves, toutes classes confondues, est particulièrement corrélé à la prise en compte, dans une même réponse, de l'étape « Transmission » et comparativement moins corrélée à la prise en compte, dans une même réponse, de l'étape « Traitement ».

Face aux trois premiers constats listés ci-dessus, nous sommes tentés de conclure l'étude précédente (étude N°2) en affirmant que les élèves interrogés, toutes classes confondues, se représentent le fonctionnement des écrans tactiles selon le schéma fonctionnel simplifié « Action/Détection » : selon les résultats de l'étude N°2, les écrans tactiles fonctionnent, grosso modo, avec des capteurs qui détectent soit la chaleur, soit la pression ou bien le

mouvement ou les empreintes des doigts.

Cette première conclusion nous amène, en corollaire, à affirmer également que tant les collégiens que les lycéens interrogés ne se représentent guère, en termes de blocs fonctionnels, le fonctionnement interne du système. En effet, en postulant que lorsqu'un élève évoque (ou pas) dans sa réponse, l'une ou les deux étapes « Transmission » et « Traitement », il se représente (ou pas) en amont une partie du fonctionnement interne au système écran tactile. Autrement dit, la prise en compte des étapes « Transmission » et « Traitement » semble constituer un indicateur de la représentation de l'élève du fonctionnement interne au dispositif. Or, seule une relativement faible proportion (13 %) des réponses issues de l'échantillon initial (426 élèves) est ici porteuse de cet indicateur.

Néanmoins, force est de reconnaître que l'ensemble des résultats précédents a été obtenu suite à l'analyse des réponses voulant satisfaire la consigne « *Avec tes mots, essaie d'expliquer comment tu penses que marche un écran tactile* ». Ainsi, compte tenu de la forte polarisation des réponses sur les étapes « Action » et « Détection » quelle que soit la population, notre hypothèse ici est que, au-delà des représentations et des connaissances de l'échantillon interrogé, la forme de la question proposée aux élèves a influencé leurs réponses en orientant leur réflexion à ne se représenter que ce qui se passe à la surface du système et en négligeant donc la prise en compte d'autres blocs fonctionnels participant aussi au fonctionnement du système en question.

Ainsi donc : (a) afin de tester cette hypothèse, à savoir que la formulation de la question a sensiblement orienté les réponses des élèves à ne tenir compte que des phénomènes, composants et processus liés notamment à l'interaction de l'utilisateur avec la surface de l'écran tactile ; (b) de ne pas risquer de conclure notre recherche à partir d'éléments discutables, nous avons donc décidé d'introduire une modification au précédent questionnaire et de le distribuer ainsi à un nouvel échantillon de 96 élèves de 3e.

La modification ne portera pas sur la question elle-même, mais sur l'ajout au questionnaire d'une nouvelle contrainte fondée sur les constats 4 et 5 exposés plus haut, à savoir sur l'attraction constatée entre l'utilisation (ou pas) de la notion « Information » et la prise en compte (ou pas), dans une même formulation, des blocs fonctionnels « Transmission » et « Détection ». Ce sera donc sur ce point qui sera construite l'étude dont il est question dans les lignes qui suivent.

5.2. Méthodologie

5.2.1. Échantillon

L'étude N°3 interroge un échantillon de 96 élèves de 3e du collège Juan Carlos Finlay de la région parisienne (75010). Notons qu'il s'agit des élèves suivant les contenus des cours de technologie et des sciences prévus par les programmes du collège.

5.2.2. Présentation du questionnaire

Le questionnaire proposé au nouvel échantillon d'élèves est constitué de la même question présentée aux collégiens et lycéens de l'étude précédente. Or, afin d'accéder aux étapes et au processus ignorés par notre échantillon initial, nous avons donc décidé de rajouter une nouvelle contrainte à l'enquête initiale. Elle consiste à imposer aux élèves d'utiliser un des termes ignorés dans les réponses de l'étude 2, à savoir le terme « information (s) ». La proposition allait au-delà de la simple suggestion car nous leur avons donné comme consigne, d'utiliser au moins l'un de deux termes dans leur réponse.

La question du nouveau questionnaire prend donc la forme suivante :

> « *A partir de vos connaissances, essayez d'expliquer comment pensez-vous que fonctionnent les écrans tactiles.*
>
> ***Consigne** : lors de votre explication, vous devez tenir compte et utiliser le terme information(s).*

Notons que le nouveau questionnaire proposé aux 96 collégiens est fondamentalement le même : la question principale reste effectivement *comment ça marche un écran tactile ?* Néanmoins, le nouveau questionnaire rajoute un élément qui, en principe, doit rendre les réponses fondamentalement différentes : l'élève doit structurer sa réponse autour d'une notion clé dans la description du fonctionnement des systèmes numériques.

5.2.3. Analyse des données

La méthode d'analyse employée dans le traitement des réponses ici recueillies suit le même procédé que celui des études précédentes : une analyse lexicométrique et thématique ; des techniques également assistées par le logiciel « Modalisa ».

Les propositions des élèves ont été ici codées selon quatre catégories thématiques, à savoir :

- ***Etapes*** : il s'agit des différents « blocs fonctionnels » identifiés par les élèves, à savoir

les étapes « Action », « Détection », « Transmission », « Traitement » et « Sortie » ;

- ***Schémas Fonctionnels*** : il s'agit de la concaténation des étapes décrites plus haut ;
- ***Phénomènes*** : associés aux principes physiques ou aux évènements évoqués par les élèves pour rendre compte de ce qu'est détecté par l'écran ;
- ***Transmission vers* (?)** : cette modalité contient la partie ou le composant du système cité par les élèves dont le rôle est, selon les répondants, de réceptionner ou recevoir l'information transmise.

En effet, dans la mesure où nous nous attendons à ce qu'un nombre important d'élèves citent dans leurs les étapes de transmission et de traitement de l'information, nous avons donc inclus la catégorie « Transmission vers (?) » avec le but de consigner les différents composants à qui, selon les élèves, sera transmise l'information.

Illustrons le nouveau codage à partir d'une des réponses recueillies.

> **Q.N°21** : « *Sous l'écran se cachent des capteurs de pression [A] qui se déclenchent lorsque le doigt se pose dessus. Les données sont alors envoyées [T] à un composant (je ne connais pas le nom) qui va traiter [Tn] ces informations et actionner les composants sélectionnés* ».

Cette réponse est codée de la manière suivante :

> ***Etapes*** prises en compte par l'élève : Action, Détection, Transmission, Traitement et Sortie.
>
> ***Schéma fonctionnel*** repéré : A/D/T/Tn/S
>
> ***Phénomènes*** associés : Pression, Capteurs
>
> ***Transmission vers (?) :*** pas de composant explicité

5.3. Résultats : étude N°3

Précisons d'emblée que dans un souci de comparabilité, certains des résultats exposés par la suite seront éventuellement confrontés à ceux correspondant exclusivement à l'échantillon de 3e ayant participé à la deuxième étude (N=89).

5.3.1. Etapes prises en compte : étude N°3

Le tableau 8 montre la distribution des réponses selon les étapes suggérées ou explicitées par le nouvel échantillon de 3e. Rappelons que ce sont les réponses d'élèves contraints à utiliser les termes informations dans leurs explications. Les résultats du tableau 8 doivent être

comparés avec ceux exposés dans le tableau 9 qui montre la distribution des réponses des élèves de l'étude N°2 selon qu'ils répondent librement à la question « comment ça marche un écran tactile ? » (Tableau 9).

La comparaison des résultats affichés dans les tableaux 8 et 9 (ci-dessous) met avant tout en exergue le fait que la proportion des réponses codées dans chacune des catégories est bien plus équilibrée dans le nouvel échantillon de 3e (Tableau 8) – et sous la nouvelle consigne – que dans l'échantillon de 3e de l'étude N°2 (Tableau 9). En effet, contrairement aux résultats de l'étude N°2, le nombre d'effectifs codés dans les quatre premières lignes du tableau relatif à l'étude N°3 sont très proches les uns des autres (voir Tableau 8). Ainsi donc, l'on constate dans l'étude N°3 une nette diminution de la surreprésentation des réponses codées dans les étapes « Action » et « Détection ».

Tableau 8. Réponses avec contrainte

Étapes	Effectifs	Fréquence
Transmission	57	60 %
Détection	45	47 %
Sortie	45	47 %
Action	40	42 %
Traitement	25	26 %
Autres usages	18	19 %

Etude N°3 : % calculés sur N=96

Tableau 9. Réponses sans contrainte

Étapes	Effectifs	Fréquence
Action	81	91 %
Détection	66	75 %
Transmission	16	18 %
Sortie	15	17 %
Traitement	9	10 %

Etude N°2 : % calculés sur N=89

De plus, alors que dans l'étude N°2 (étude sans contrainte) le bloc fonctionnel « Action » est de loin le plus fréquemment rencontré, les résultats exposés dans le tableau 8 (étude avec contrainte) montrent clairement que l'étape « Transmission » est la plus fréquemment évoquée par les élèves de l'étude N°3 (57 élèves ; 58 %).

En ce qui concerne l'étape « Traitement », lorsque l'on compare le nombre d'élèves ayant explicité ou suggéré cette étape dans chacune des études (tableau 8 et 9), l'on s'aperçoit aussi qu'elle est plus fréquemment suggérée dans la nouvelle enquête (26 % contre 10 %).

Enfin, 18 des 96 élèves interrogés n'ont pas réussi à combiner dans leurs réponses, les deux consignes du questionnaire, à savoir expliquer comment ça marche un écran tactile et utiliser dans l'explication l'un des deux termes proposés. À défaut, ces élèves se sont donc focalisés sur la façon de satisfaire la contrainte dans une perspective purement lexicale, c'est-à-dire en utilisant les termes proposés dans une phrase quelconque, sans pour autant rendre compte du fonctionnement des écrans tactiles. Ces réponses ont été codées dans la catégorie « Autres usages des termes ». Par exemple :

Q.N°66 : « *Avec l'apparition de la nouvelle technologie, les données affichées sur un écran tactile sont sous forme de chiffres* »

Q.N°72 : « *Je pense que derrière l'écran se trouve énormément de choses qui stockent les données de l'appareil et donnent des informations si besoin* »

Q.N°67 : « *Les écrans tactiles sont composés de puces électroniques avec des données et des informations dessus* ».

Q.N°69 : « *Les écrans tactiles fonctionnent grâce au Wifi car grâce à cela ils cherchent les informations, les enregistrent dans sa mémoire et sauvegardent les données* ».

Q.N°84 : « *Il y a un système qui permet de stocker les données et les différentes informations et qui nous permet une meilleure utilisation de l'appareil* ».

Q.N°88 : « *Il fonctionne grâce à des données qui lui sont transmisses et il reçoit des informations* ».

5.3.2. Schémas fonctionnels repérés : étude N°3

Quant aux schémas fonctionnels repérés dans la nouvelle étude (voir Tableau 10 ci-dessous), en comparant les résultats des étude N°2 et N°3, l'on constate à nouveau dans l'étude N°3 une distribution de réponses relativement plus équilibrée en ce sens où, contrairement à l'étude N°2 où la moitié des effectifs se trouve dans la première catégorie du tableau 11, les effectifs codés dans chacune des catégories du tableau 10 sont assez proches les unes des autres. Autrement dit, les explications des participants de l'étude N°3 ne se concentrent pas sur un schéma fonctionnel en particulier. Par conséquent, la surreprésentation des réponses codées dans le schéma fonctionnel « Action/Détection » lors de l'analyse des réponses précédentes (tous échantillons confondus) a également disparu – ces résultats sont remarquablement explicites à la lecture des tableaux 2, 6 et 11.

De plus, si l'on additionne l'ensemble des effectifs du tableau 10 (étude avec contrainte) prenant en compte dans une même réponse les étapes « Action », « Détection » et « Transmission » — soit un schéma fonctionnel au moins du type « A/D/T… » — nous trouvons dans ce groupe 31 élèves des 96 participants, soit 32 % du nouvel échantillon. Ce résultat montre que, contrairement à l'étude N°2, le schéma fonctionnel le plus fréquemment rencontré dans la nouvelle étude est du type « Action/Détection/Transmission » — en réalisant la même opération dans la tableau 11, nous ne trouvons que 16 élèves évoquant ce schéma, soit 18 % de cet échantillon.

Tableau 10. Réponses avec contrainte

Sché.Fonc.	**Effectifs**	**Fréquence**
A/D/T/Tn/S	12	12 %
A/T/S	11	11 %
A/D	9	9 %
A/D/T	9	9 %
A/D/T/S	7	7 %
A/T	6	6 %
A/T/Tn/S	5	5 %
A/D/S	4	4 %
T/S	3	3 %
A/D/T/Tn	3	3 %
A/D/Tn	1	1 %
A/T/Tn	1	1 %
A/Tn	1	1 %
D/Tn	1	1 %
D/Tn/S	1	1 %
Tn/S	1	1 %

Etude N°3 : % calculés sur la base de N= 96

Tableau 11. Réponses sans contrainte

Sché.Fonc.	**Effectifs**	**Fréquence**
A/D	45	50 %
A	16	17 %
A/D/T/S	6	7 %
A/D/S	5	6 %
A/D/T/Tn/S	5	4 %
A/D/T	4	4 %
A/Tn	2	2 %
A/S	2	2 %
A/D/Tn	1	1 %
A/T	1	1 %
A/D/T/Tn	1	1 %
A/D/Tn/S	1	1 %

Etude N°2 : % calculés sur la base de N= 89

D'ailleurs, le tableau 10 (étude avec contrainte) montre aussi que le schéma fonctionnel le plus fréquemment explicité par les élèves ayant participé à la nouvelle enquête est du type « Action/Détection/Transmission/Traitement/Sortie ». En effet, face à la question avec contrainte, les propositions des élèves les plus fréquentes sont celles qui suggèrent ou explicitent, dans une même explication, l'ensemble des blocs fonctionnels. Voici trois exemples de ces réponses :

Q.N°4 : « *Les écrans tactiles sont munis de capteurs [D] qui, à chaque fois qu'on le touche [A] enverra [T] l'information au processeur qui convertira [Tn] ces données dans un système binaire et effectuera l'action demandée [S]* ».

Q.N°25 : « *À mon avis l'écran tactile fonctionne grâce à des micros capteurs [D] sous l'écran qui au toucher [A] vont envoyer [T] des informations au processeur qu'il va traiter [Tn] pour faire appliquer l'action demandée [S]* ».

Q.N°65 : « *Sous l'écran il y a des capteurs [D] qui enregistrent le geste [A] fait, les capteurs envoient [T] l'information au processeur qui l'analyse [Tn], envoie un ordre à la carte graphique qui envoie une image à l'écran correspondant avec l'action effectuée* ».

Le deuxième schéma fonctionnel le plus fréquemment repéré dans la nouvelle étude est, forcément, plus simple que le précédent. En effet, les 11 élèves concernés ne tiennent pas

compte des étapes de détection et de traitement. Le schéma fonctionnel est alors du type « Action/Transmission/Sortie », comme l'attestent les formulations suivantes :

Q.N°15 : « *Je ne sais pas mais je suppose qu'en fonction de là ou je pose mon doigt [A] une information sera transmise sous forme de données [T] afin que l'image de l'écran réagisse [S]* ».

Q.N°34 : « *Lorsque l'on touche l'écran tactile [A] des informations sont transmises à l'appareil [T] pour effectuer la manœuvre nécessaire au bon moment et ainsi obéir au doigt [S]* ».

Q.N°43 : « *Lorsque l'on touche l'écran [A], cela va produire une petite pression au niveau de l'écran et cette pression va envoyer [T] des données au processeur du dispositif numérique pour que l'utilisateur ait accès aux informations désirées[S]* ».

D'ailleurs, le tableau 10 met en évidence que dans cette étude le schéma fonctionnel « Action/Détection » n'apparaît qu'en troisième place du tableau. En effet, il n'apparaît dans le nouvel échantillon que chez 9 élèves (9,3 %). Voyons quelques-unes des réponses codées dans cette catégorie :

Q.N°70 : « *Les écran tactiles sont sensibles au toucher [A], peut-être ils ont une puce électronique contenant des données et des informations. Il y a peut-être également des détecteurs [D] de toucher pour savoir quand est-ce qu'une personne touche* ».

Q.N°83 : « *Je pense que les écrans tactiles sont dotés de capteurs [D] reconnaissant la chaleur humaine [A], c'est pour ça que ça ne fonctionne pas avec des gants. Les écrans retiennent beaucoup d'informations* ».

Remarquons que les élèves ayant proposé les réponses ci-dessous, tout en incluant dans leurs formulations les termes proposés (informations ou données), ne les rattachent, ni explicitement ni implicitement, à un processus en particulier mais à un état : les informations sont ici stockées.

Dans le tableau 10, les groupes de réponses explicitant un schéma fonctionnel du type « Action/Détection/Transmission/Sortie » ou du type « Action/Détection/Transmission » comportent respectivement 7 et 9 élèves. Il s'agit là des schémas fonctionnels proches, en ce sens qu'ils combinent les trois premiers blocs fonctionnels des cinq possibles. Au total, 16 élèves de l'échantillon se trouvent répartis dans ces deux catégories. Voyons certaines des réponses codées dans ces deux groupes :

Q.N°9 *: « Je ne sais pas, peut-être grâce à des capteurs [D] qui quand on touche [A] envoient des informations [T] à l'objet tactile »*.

Q.N°17 *: « Je pense qu'en dessous l'écran il y a des capteurs [D] qui au toucher [A] envoient [T] les informations à la base de données pour faire l'action demandée [S] ».*

Q.N°40 *: « Les touchers [A] sur l'écran sont captés [D] par une plaquette en dessous qui retransmet les informations [T] sous forme de code à la mémoire ».*

Q.N°93 *: « Sur les Iphones il y a une vitre de protection puis en dessous il y a la partie tactile [qui détecte le doigt] très riche en technologie. Si l'on appuie sur l'écran cela envoie une information [T] à l'appareil par exemple pour afficher [S] nos SMS ».*

Le tableau 10 montre enfin que le schéma fonctionnel « Action », à savoir le plus élémentaire – repéré chez 16 élèves de 3e interrogés dans l'étude N°3 – est absent des réponses du nouvel échantillon.

5.3.3. Phénomènes : étude N°3

Les tableaux 12 et 13 exposent les différents phénomènes associés par notre échantillon dans chacune des études à l'interaction entre l'utilisateur et l'écran tactile. Il montre que, contrairement aux schémas et aux blocs fonctionnels, indépendamment de la question posée (avec ou sans contrainte), les composants et phénomènes évoqués par les deux échantillons restent similaires, voire identiques.

Tableau 12. Réponses avec contrainte

	Effectifs	Fréquence
Capteurs	31	32 %
Chaleur	16	15 %
Pression	11	10 %
Empreintes	2	2 %
Mouvement	1	1 %

Etude N°3 : % calculés sur la base de N= 96

Tableau 13. Réponses sans contrainte

	Effectifs	Fréquence
Capteurs	52	52
Chaleur	16	16
Pression	17	17
Empreintes	5	5
Mouvement	10	10

Etude N°2 : % calculés sur la base de N= 89

Le tableau 12 confirme que la notion de « capteurs » est une notion familière aux élèves de 3e : un tiers de l'échantillon affirme que « l'écran tactile est muni de capteurs » (voir aussi tableau 13).

Le tableau 12 confirme également que, toujours selon les élèves de 3e, les capteurs détectent essentiellement « la chaleur » du doigt et « la pression » du doigt.

5.3.4. La « Transmission » selon les élèves : étude N°3

Dans la mesure où la transmission est ici un processus largement cité par les élèves, une nouvelle question se fait jour : selon les élèves, vers quel composant du système la transmission a lieu ? Ainsi, compte tenu que sous la nouvelle consigne les élèves tiennent compte davantage de l'étape « Transmission », nous nous sommes donc demandés quelle était, selon les 57 élèves évoquant cette étape, la destination d'une telle transmission.

Le tableau 14 montre justement l'ensemble des composants (ou autres) vers lesquels, selon les élèves, l'information est transmise.

Tableau 14. « Transmission vers (?) ». Étude N°2

Transmission vers …	Effectifs
Sans destinataire	23
Appareil (13) ou Téléphone (4)	17
Processeur	6
Cerveau	4
Circuits (« truc vert bizarre »)	2
Mémoire	2
Basse des données	1
Carte-mère	1
Unité centrale	1

Les effectifs du tableau font exclusivement partie de la population de 57 élèves ayant explicité ou suggérée dans leurs réponses l'étape « Transmission ».

Le premier élément à retenir de la lecture du tableau 14 (ci-dessus) c'est que parmi les 57 élèves ayant explicité ou suggéré l'étape « Transmission » dans leurs réponses, 45 d'entre eux (79 %) proposent une destination sinon erronée, ambiguë — en plus de « processeur », nous avons pris en compte « cerveau », « carte mère » et « unité centrale ». Autrement dit, parmi les élèves ayant affirmé ou suggéré que l'information est effectivement transmise, la plupart d'entre eux ne sont pas capables d'associer cette transmission avec un récepteur pertinent.

En effet, Le tableau 14 met en évidence que parmi les 57 élèves qui intègrent l'étape « Transmission » dans leurs réponses, 23 d'entre eux n'associent pas explicitement cette transmission à un destinataire en particulier. Ainsi donc, selon ce groupe d'élèves, l'information est effectivement transmise mais ils ne disent pas vers « quoi » elle est transmise. C'est le cas, par exemple, de cet élève qui répond :

> **Q.N°41** « *Je suppose que quand on pose le doigt sur l'écran une information sera transmise sous forme de données afin que l'image de l'écran réagisse* ».

Pour un deuxième groupe d'élèves (17 élèves), la transmission se fait vers l'« appareil » (13) ou encore vers « le téléphone » (4). Par exemple :

> **Q.N°9** « *Lorsque l'on touche l'écran tactile des informations sont transmises à l'appareil pour effectuer la manœuvre nécessaire au bon moment et ainsi obéir au doigt* ».

Parmi les 57 élèves évoquant la transmission, 6 affirment que le destinataire de cette information est bien le « processeur ». Chose intéressante, lorsque l'on croise avec l'aide de Modalisa cette population de six élèves avec les données du tableau 10 relatif aux schémas fonctionnels, il apparaît que les six élèves qui précisent que l'information est transmise vers le

processeur, font tous partie de la population de 12 élèves explicitant un schéma fonctionnel du type « A/D/T/Tn/S ». Autrement dit, l'ensemble d'élèves pour lesquels l'information est transmise vers le processeur, suggèrent, en plus de la transmission, l'étape « Traitement ». C'est le cas de cet élève qui écrit :

> **Q.N°87** : « *Les écrans tactiles sont munis de capteurs qui, à chaque fois qu'on le touche enverra l'information au processeur qui convertira ces données dans un système binaire et effectuera l'action demandée* ».

D'autres élèves (4) diront que la transmission se fait vers « le cerveau » du téléphone. Par exemple :

> **Q.N°27** « *Lorsque nous appuyons sur l'écran avec notre peau qui doit être chaude, des informations sont envoyées à un 'cerveau' qui met en place et qui exécute les données ».*

Finalement, d'autres réponses évoqueront le « circuit », la « mémoire », la « base des données », la carte-mère » et l'« unité centrale » comme des destinataires possibles de l'information transmise.

5.4. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°3 : question avec contrainte.

L'objectif principal de l'étude N°3 était d'examiner dans quelle mesure les conclusions de l'étude N°2 constituent des indicateurs permettant d'inférer les représentations et les conceptualisations des collégiens à l'égard du fonctionnement des écrans tactiles. Plus précisément, l'étude N°3 avait pour but de tester l'hypothèse selon laquelle la formulation de la question proposée aux élèves dans l'étude N°2 était susceptible d'orienter leurs représentations de la situation et donc les explications recueillies : la plupart des élèves de l'étude N°2 se sont focalisés sur la suggestions ou l'explicitation des processus et des phénomènes se manifestant quasi-exclusivement à la surface des écrans tactiles.

Rappelons que, en réponse à la question proposée dans l'étude N°2 — comment ça marche un écran tactile ? — (question sans contrainte), les explications proposées par les 89 élèves de 3e étaient :

1. Nettement focalisées sur l'explicitation ou la suggestion des blocs fonctionnels « Action » (91 %) et « Détection » (75 %).
2. Moins intéressées par l'explicitation ou la suggestion des blocs fonctionnels « Transmission » (18 %) et « Traitement » (17 %).
3. Construites sur un schéma fonctionnel simplifié, à savoir « Action/Détection » (50 %).

Comme nous l'avons signalé plus haut, si on ne tient compte que de ces résultats, force est de reconnaître que la représentation des collégiens relative au fonctionnement des écrans tactiles est sous-tendue par un modèle particulièrement simplifié, à savoir « Action/Détection ». Néanmoins, compte tenu de la forte concentration des réponses relatives aux étapes « Action » et « Détection » observée dans l'étude N°2, nous avons fait l'hypothèse que la polarisation des réponses peut être comprise comme étant un effet de la question proposée aux élèves, et non pas comme seulement un indicateur du degré de conceptualisation et de représentation de l'échantillon.

Afin donc de tester cette hypothèse, l'étude N°3 a modifié la question de l'étude N°2 – ouverte et sans contrainte – et a demandé à 96 élèves de 3e d'expliquer comme fonctionne un écran tactile mais en les contraignant à utiliser le terme « information » dans l'explication présentée.

On a pu constater que les explications obtenues sous la nouvelle contrainte sont :

1. Principalement intéressées par l'explicitation ou la suggestion du bloc fonctionnel « Transmission » (60 %).
2. Également concernées par l'explicitation ou la suggestion des blocs fonctionnels « Détection » (47 %), « Sortie » (47 %) et « Action » (42 %).
3. Moins intéressées par l'explicitation ou la suggestion du bloc fonctionnel « Transmission » (26 %).
4. Clairement construites sur un schéma fonctionnel « Action/Détection/Transmission » (32%).

L'ensemble de ces résultats nous invite à nuancer certaines des conclusions relatives à l'étude N°2 (question sans contrainte). En effet, les résultats de l'étude N°3 vont dans le sens de notre hypothèse de travail en suggérant que la formulation de la question présentée dans l'étude N°2 a eu un effet non négligeable sur les éléments de réponses privilégiés par les élèves réagissant à la question « *comment ça marche un écran tactile ?* » Le fait est qu'en modifiant quelque peu la forme de la question initialement posée aux élèves, c'est-à-dire en contraignant ces derniers à utiliser le terme « information », nous obtenons, dans l'étude N°3, des réponses organisées selon une autre structure et un autre contenu que celles obtenues dans l'étude N°2.

Ces résultats peuvent être interprétés de trois façons. La première invite à considérer qu'il s'agit d'un « effet échantillon » : on peut rattacher le nouveau contenu des réponses au fait que l'étude a été réalisée auprès d'un nouveau groupe d'élèves de 3e. Une deuxième lecture conduit à envisager l'existence d'un « effet lexical » : en réaction à la contrainte imposée, les

élèves ont été forcés à formuler le syntagme le plus proche à la fois du domaine de la question (informatique) et du terme imposé (information) à savoir le syntagme « transmission de l'information ». Une troisième lecture fait apparaître un « effet analytique » : sous l'influence de la question, l'analyse des élèves a été effectivement détournée de ce qui se passe exclusivement à la surface de l'écran, pour s'orienter de sorte à se représenter certains des processus et des phénomènes se déroulant à l'intérieur du dispositif. Ce qui se traduit, du point de vue du chercheur, par le repérage du bloc fonctionnel « Transmission ».

En dépit du fait que ces trois lectures soient toutes nécessaires et appropriées, nous privilégions les deux dernières, à savoir l'« effet lexical » et l'« effet analytique ». Nous rejetons donc l'interprétation selon laquelle les résultats de l'étude N°3 s'expliquent à partir de facteurs comme l'état de connaissances ou de compétences scolaires du nouvel échantillon.

Le fait est que l'échantillon de la première étude n'est ni mieux instruit ni plus compétent académiquement parlant, que celui de la seconde étude. Au contraire : le premier échantillon était composé d'élèves avec des caractéristiques scolaires plus performantes. Les élèves de l'étude N°2, en effet, sont issus de milieux sociaux plus favorisés appartenant à des collèges dits d'« excellence ». En outre, les contenus des réponses des deux échantillons de 3e ne se différencient fondamentalement que par rapport à la prise en compte des étapes « Transmission » et « Traitement », soit là où nous avons influencé la réaction des répondants : les composants et les phénomènes de surface cités restent les mêmes — capteurs, chaleur, pression.

Les résultats de l'étude N°3 prennent donc sens au regard de l'effet « lexical » et de l'effet « analytique » de la contrainte imposée aux élèves Dans la mesure où l'effet analytique doit être inféré par le chercheur, l'interprétation à privilégier reste donc celle relative à l'« effet lexical ».

En effet, « c'est un fait connu, précise Le Ny (1995, p. 277), que l'existence d'une relation sémantique associative produit une facilitation de la décision lexicale sur le deuxième mot ». Ainsi, l'étude N°3 montre qu'en fournissant aux élèves le mot « information » ils le rattachent facilement[62] au mot « Transmission ». À cet égard que les résultats de l'étude N°3 – l'étude dont il est question ici – sont en complet accord avec les résultats issus de l'étude N°2, à savoir que l'usage de la notion d'information est fortement corrélé à la prise en compte, dans

[62] Pour expliquer cette facilitation du choix lexicale, « il faut postuler, toujours selon Le Ny (1995, p. 277) que le premier mot, a, d'une façon ou d'une autre, activé une représentation sémantique qui lui correspond. Dans une telle interprétation n'entre aucune composante phénoménale consciente ».

une même réponse, du bloc fonctionnel « Transmission »[63].

En revanche, il est toutefois remarquable que l'effet lexical ne se soit pas vérifié dans la même mesure vis-à-vis de la formation du syntagme « traitement de l'information » : alors que 60% de l'échantillon d'élèves parlent de « transmission de l'information », seulement 26% du total parlent de « traitement de l'information ». Ce résultat, en accord aussi avec ceux de l'étude N°2[64], met en évidence que le bloc fonctionnel « Traitement », même sollicité et suggéré lexicalement, n'est pas spontanément évoqué ou suggéré par les élèves.

Précisons néanmoins, toujours dans cette perspective linguistique, que ce qui a été imposé aux élèves dans la consigne n'est pas à proprement parler un mot, mais un terme. Or les termes n'ont pas le même comportement lexical dans la langue que les mots : les termes n'appartiennent pas strictement à des champs lexicaux, mais à des ensembles terminologiques construits par un domaine ou une discipline donnée (Coserieu, 1966).

Le terme, contrairement au mot, se caractérise par le fait que sa signification doit coïncider avec sa désignation : le terme doit être, en principe, le représentant exclusif de ce qu'il désigne — ce qui n'est pas nécessairement le cas des mots. De ce fait, « on connait les signifiés des terminologies dans la mesure où l'on connaît les sciences et les techniques auxquelles elles correspondent » (Coserieu,1966, p. 183). Dans les domaines spécialisés la signification coïncide ainsi avec la désignation. Par conséquent donc, l'emploi et la structuration d'un terme dans une phrase dépend, en premier lieu, des connaissances du domaine auquel appartient le terme en question – milieu objectif –, mais aussi des connaissances sur la façon dont ce domaine emploie effectivement le terme dans l'acte de linguistique en général – zone linguistique –, c'est-à-dire sur la manière dont il structure une phrase, sur les syntagmes qui lui sont permis, etc. (Coserieu,1966).

De ce point de vue, lorsque l'on demande aux élèves d'utiliser le terme « information » pour expliquer comment marche un écran tactile, on leur demande d'utiliser une unité linguistique avec une signification bien précise dans un domaine bien précis. Ainsi, pour employer de manière appropriée le terme imposé, les élèves doivent à la fois savoir ce que son signifié désigne dans le domaine en question, c'est-à-dire l'avoir conceptualisé, et, parallèlement, savoir l'utiliser en tant que signe linguistique dans l'acte de parole — orale ou écrite —, c'est-à-dire être capable de placer le terme parmi d'autres mots ou d'autres termes au sein d'une

[63] Ces résultats ont été également issus d'analyses lexicales portant sur l'ensemble des réponses de l'étude N°2 (426 élèves).

[64] Les analyses lexicales effectuées dans l'étude N°2 ont mis en évidence que l'attraction est plus importante entre les termes information-transmission qu'entre les termes information-traitement (voir Tableau 7).

même phrase afin d'exprimer une idée cohérente. En d'autres termes : le bon usage du terme « information » renvoie non seulement à une lexicalisation mais aussi à une conceptualisation du terme.

Il est évident que les deux compétences fonctionnent simultanément, mais la compétence lexicale peut parfois être première. C'est en tout cas ce que suggère l'étude N°3 : une proportion importante d'élèves (57/96) du nouvel échantillon est effectivement capable d'utiliser le terme « information » dans une phrase en le rattachant de manière adéquate, par exemple, au terme « transmission » et en construisant ainsi le syntagme correspondant, à savoir « transmission de l'information ». Or l'étude N°3 ne peut nous permettre de conclure quant à la capacité des élèves interrogés à conceptualiser effectivement la notion d'information et à se représenter convenablement les processus de transmission et de traitement de l'information.

L'étude N°3 soulève en ce sens une nouvelle problématique : les élèves ne sont pas capables d'associer la transmission avec le composant adéquat. En effet, bien que deux tiers des élèves (57) du nouvel échantillon identifient l'étape « Transmission » comme étant celle qui a lieu après la « Détection » et, selon certains élèves, avant le « Traitement », lorsqu'ils évoquent la destination de cette transmission, seulement une petite fraction (12 sur 57) va l'associer avec un destinataire pertinent. C'est ce qu'est mis en évidence dans le tableau 14.

Enfin, nous ne pouvons pas ignorer l'« effet analytique » de la question. C'est-à-dire, en contraignant les élèves à tenir compte de la notion d'information, nous pouvons supposer que nous avons également contraint leur analyse, certes élémentaire, en l'orientant vers une représentation du système incluant non seulement les processus de surface, mais aussi les processus se déroulant à l'intérieur du dispositif. Ainsi, soumis à cette contrainte, les élèves ont pu plus facilement se représenter et donc suggérer le bloc fonctionnel « Transmission ».

Chapitre 6. Étude N°4 : comment le téléphone sait que le doigt est bien sur l'icône ? Comment fait-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée sans jamais se tromper et afficher une autre ?

6.1. Introduction

Les résultats obtenus dans les études N°2 et N°3 sont issus de l'analyse des réponses à des questions particulièrement générales : *comment ça marche un écran tactile* ? Le caractère ouvert de la question a eu pour conséquence des réponses très diverses. Ces réponses nous ont permis d'approcher notamment les phénomènes et les composants que les élèves associent à l'interaction doigt-écran tactile, ainsi que les modèles fonctionnels sous-jacents aux explications des élèves par rapport au fonctionnement des écrans tactiles.

Néanmoins, compte tenu de leur caractère général, force est de reconnaitre que les réponses recueillies dans les études précédentes ne nous permettent pas d'étudier de manière détaillée les conceptualisations et les représentations des élèves par rapport à une action ou une procédure bien déterminée.

Dans la présente étude, nous approfondissons sur les représentations et la manière dont les élèves modélisent fonctionnellement et conceptualisent le fonctionnement des Smartphones tactiles. Pour ce faire, l'étude N°4 s'intéresse à la manière dont les élèves de 3e répondent à des questions plus précises et moins larges que les précédentes :

1. Quels paramètres le Smartphone tactile doit-il prendre en compte pour déterminer si le doigt de l'utilisateur se trouve bien (ou ne se trouve pas) sur l'une des icônes ?
2. Comment le dispositif – en bon état de fonctionnement – n'affiche jamais une autre application que celle qui a été touchée par l'utilisateurs ?

Précisons enfin que l'étude N°4 est composé d'une enquête exploratoire (168 élèves) et d'une enquête définitive (439 élèves).

6.2. Enquête exploratoire

Dans un premier temps nous présenterons les résultats de l'enquête exploratoire : 168 élèves de 3e. Puis, dans un deuxième temps, nous présenterons les résultats de l'enquête définitive : 439 élèves de 3e.

6.2.1. Méthodologie

Le but de l'enquête exploratoire est d'identifier des problèmes liés à la compréhension de la consigne et d'élaborer ainsi une formulation de la question définitive plus adaptée à la manière dont les élèves de 3e interprètent et lexicalisent le sujet dont il est question ici.
Notons que la passation du questionnaire s'est déroulée dans les premières semaines du mois d'octobre de l'année 2015.

6.2.1.1. Échantillon

L'enquête exploratoire a été menée auprès de 168 élèves des classes de 3e du collège « Fernando Infante » situé dans le 10ème arrondissement de Paris.

6.2.1.2. Présentation du questionnaire

Le questionnaire a été distribué par moi-même dans l'ensemble de mes classes de 3e. Ce dernier a été présenté aux élèves, comme un test de connaissances de base pour envisager de nouvelles activités sur le fonctionnement des écrans tactiles.
L'enquête exploratoire se compose d'une seule question :

> *« Comment expliquez-vous que l'écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ? »*

J'ai précisé aux élèves qu'il s'agit de rendre compte, une fois le téléphone déverrouillé et les icônes affichées sur la page d'accueil, du pourquoi quand l'utilisateur ne pose pas le doigt sur l'une des icônes, le dispositif ne réagit pas. Le but principal de cette question est justement de la préciser pour l'enquête définitive en fonction des réponses ici recueillies.

6.2.1.3. Analyse des réponses

Notons que le « noyau explicatif » de la réponse attendue est, en essence, la mise en relation de la position relative des icônes avec celle du doigt. Dans la mesure où :

1. Le système dispose en mémoire des coordonnées de chacune de icônes affichées sur l'écran (désormais P_Icône ou PI).
2. Le système est capable de détecter et de déterminer la position du doigt sur l'écran tactile (désormais P_Doigt ou PD). Donc :
   - Si P_Icône et P_Doigt coïncident, alors le dispositif ouvre l'application touchée.
   - Si P_Icône et P_Doigt ne coïncident pas, alors le dispositif ne réagit pas.

Nous n'attendons pas des élèves une formulation aussi élaborée : la réponse attendue doit tenir compte et mettre en relation la position du doigt avec la position de l'icône (PD + PI). La réponse présentée ci-dessous est en ce sens « complète » :

> « Je pense que l'écran tactile reconnait le toucher du doigt. Il a des micro-récepteurs qui captent *où se trouve ce toucher* (PD) et le téléphone sachant *où sont placés les icônes* (PI) va savoir si ce toucher est dessus ou pas ».

Notons que bien que l'élève n'utilise pas les expressions « position du doigt » et « position de l'icône », cette réponse est « correcte » dans la mesure où l'élève utilise le pronom relatif « où » pour se référer à la fois à l'endroit où le doigt touche l'écran, et à l'endroit où se trouvent les icônes.

Précisons enfin que l'ensemble des réponses a été analysé suivant la méthode d'analyse de contenu thématique. Le corpus de propositions a été recodé à l'aide du logiciel Modalisa. Des exemples et des précisions de ce type de recodage sont détaillés plus loin dans l'analyse des réponses au questionnaire définitif.

6.2.2. Résultats : enquête exploratoire

Parmi les 168 élèves de 3e ayant participé à cette enquête exploratoire, deux n'ont pas rendu de trace écrite à la question : le taux de réponses est donc de 99 %.

6.2.2.1. Premier recodage des réponses : enquête exploratoire

Au total, 10 catégories ou groupes de réponses ont été constituées suite à la première analyse des réponses recueillies. Le tableau ci-dessous donne un aperçu de l'ensemble des catégories ainsi codées.

Tableau 15. Comment expliquez-vous que l'écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ? Contexte général. Enquête exploratoire

Catégories ou groupe de réponses	Effectifs	Fréquence
1. Car il faut toucher l'icône	**41**	**25 %**
2. Car c'est Programmé (ou pas) ainsi	**26**	**15 %**
3. Car il n'y a *rien entre les icônes*	**24**	**14 %**
4. Car les *capteurs* sont *sous* les *icônes*	**23**	**14 %**
5. Position du doigt *ou* de l'icône	**22**	**13 %**
6. Car il y a des capteurs	9	5 %
7. Car les icônes sont des liens	**7**	**4 %**
8. Car c'est le vide entre les icônes	**5**	**3 %**
9. Car c'est fait pour	**5**	**3 %**
10. Position du doigt *et* de l'icône	**4**	**2 %**

Interrogés : 168. Répondants : 166 / Pourcentages calculés sur la base des répondants

Les catégories d'une même couleur partagent toutes une même idée

Lecture : selon 41 élèves l'écran tactile ne réagit pas entre les icônes car « il faut toucher l'icône ».

Le principal élément à retenir du tableau 15 (ci-dessus) est que, face à la formulation proposée, les réponses les plus fréquemment repérées chez les élèves de cet échantillon correspondent à des « évidences ». En effet, le tableau 14 indique que parmi les 166 répondants, seulement 26 avancent des arguments proches d'une éventuelle explication.

C'est le cas notamment des réponses codées dans les deux premières catégories : soit les élèves soulignent l'un des principes élémentaires d'usage des dispositifs à écran tactile, à savoir que si l'on veut s'en servir, « il faut toucher l'icône » (41 élèves) ; soit les élèves nous disent que le dispositif a été « programmé » pour ne réagir que si l'on touche sur les icônes (26 élèves).

Les réponses des deux premières catégories peuvent être rapprochées des réponses codées dans la catégorie 9 du tableau 14. Ces dernières rappelant aussi une autre évidence, à savoir que le téléphone a été « fait pour » ne pas réagir si l'on touche entre les icônes (5 élèves). On trouve ce type d'arguments dans les réponses suivantes :

Q.N°3 : « *C'est parce qu'on n'est pas sur l'icône* ».

Q.N°27 : « *L'écran ne réagit que si l'on pose le doigt sur les applications et pas ailleurs* ».

Q.N°100 : « *Si l'écran ne réagit pas c'est parce qu'il a été programmé pour ne réagir que quand l'on touche l'icône. Il y a tout un mécanisme qui permet de faire cette action, mais ce mécanisme n'est programmé que pour ouvrir l'application quand on pose le doigt dessus* ».

Les réponses codées dans la troisième et la quatrième catégories avancent l'idée selon laquelle entre les icônes il n'y a pas d'interaction, parce qu'« entre les icônes il n'y a rien », ou bien parce que les capteurs qui prennent en charge cette interaction se trouvent seulement « sous les icônes ». De par l'idée qu'elles contiennent, les réponses codées dans les catégories 3 et 4 sont à rapprocher des réponses codées dans les catégories 7 et 8 : « c'est le vide entre les icônes » et « les icônes sont des liens ». Selon certaines de ces réponses :

Q.N° 78 :« *L'écran ne réagit pas car là [entre les icônes] c'est le vide, il n'y a rien donc il n'y a rien à faire apparaitre* ».

Q.N° 85 : « *Car les capteurs tactiles se trouvent sous les applications et l'écran ne réagit que si les capteurs tactiles de l'application sont touchés* ».

Q.N° 111 : « *L'écran a été fait pour que seulement en touchant l'icône il ouvre l'application qui va avec. Rien n'est lié entre les icônes rien* ».

Le cinquième groupe de réponses est composé des élèves (22 sur les 166 interrogés) qui proposent une explication tenant compte de la position soit de l'icône (PI) soit du doigt (PD) — mais pas les deux ensembles. Voyons deux de ces réponses :

Q.N° 163 : « *L'écran de la tablette est composé de capteurs qui réagissent en fonction d'où le contact a eu lieu (PD) et si l'on pose le doigt entre deux icônes le téléphone n'est pas programmé pour réagir* ».

Q.N° 32 : « *Car le récepteur de l'écran va envoyer un message à la base du téléphone qu'une pression est exercée à un endroit vide (PI) ce qui ne donnera aucun résultat* ».

Le huitième groupe de réponses est composé de six élèves qui répondent la question posée simplement en affirmant que c'est parce qu'« il y a des capteurs ». Les élèves codées dans cette catégorie répondent en assurant que, doté de capteurs, un écran tactile détecte le doigt. Par exemple :

Q.N° 21 : « *Car sur l'écran il y a plein des capteurs qui détectent le doigt* ».

Enfin, 4 élèves des 166 interrogés proposent une réponse dans laquelle c'est la combinaison de la position du doigt et de l'icône qui constitue le noyau de l'explication (PD+PI). C'est le cas de la réponse suivante :

Q.N° 71 « *Lorsque j'appuie, l'écran va envoyer au processeur de la tablette l'information expliquant où j'ai appuyé et si jamais il comprend une correspondance entre l'endroit où est placé l'icône (PI) et l'endroit où j'ai appuyé (PD), il lancera l'application* ».

6.2.2.2. Deuxième recodage des réponses : enquête exploratoire

Dans un souci de clarté, nous avons réduit le nombre des catégories initiales en les groupant selon les idées noyaux qu'elles contiennent et partagent entre elles. Les résultats de ce deuxième recodage sont présentés dans le tableau 16.

Tableau 16. « L'écran ne réagit pas entre les icônes car … ». Enquête exploratoire

Catégories	Effectifs	Fréquence
1. Il faut toucher l'icône	**72**	**44 %**
2. Interaction seulement sur les icônes	**59**	**35 %**
3. Il prend en compte de la position	**26**	**16 %**
4. Il détecte le doigt	**9**	**5 %**

Interrogés : 168. Répondants : 166

Pourcentages calculés sur la base des répondants

Le nouveau recodage met à nouveau en lumière que les « explications » proposées par l'échantillon interrogé relèvent quasi exclusivement de la simple évidence : les deux premières catégories du tableau ci-dessus n'expliquent point à proprement parler pourquoi en touchant entre les icônes le dispositif ne réagit pas. En effet, d'une manière générale, les réponses codées dans la première et la deuxième catégorie du tableau 16 nous disent qu'il n'y a pas de réaction entre les icônes parce que c'est sur l'icône qu'il pose le doigt.

Retenons donc que, parmi les 166 participants, 131 élèves ont répondu à la question en proposant une lapalissade. Nous constatons, en effet, que :

1. L'argument le plus fréquemment rencontré dans l'enquête exploratoire propose que si l'écran ne réagit pas entre les icônes c'est tout simplement car il a été conçu pour « toucher l'icône » (catégorie 1). Cette idée, avancée – implicitement ou explicitement – par une proportion importante d'élèves (43,3 %), est partagée par les groupes de réponses soulignés en bleu dans le Tableau 15.
2. Les groupes de réponses soulignés en rouge dans le Tableau 16 avancent – implicitement ou explicitement – l'idée selon laquelle l'écran tactile ne réagit pas entre les icônes car le seul endroit où l'on peut interagir avec le dispositif est sur les icônes. La deuxième catégorie du tableau 16, « Interaction que sur les icônes », rassemble ainsi les réponses de 59 élèves, soit un tiers de l'effectif total.
3. Les groupes de réponses soulignés en vert dans le tableau 15 ont toutes en commun d'avoir répondu à la question en termes de position — soit du doigt, soit de l'icône, ou soit des deux. La catégorie « Prise en compte de la position » et est ainsi constituée de

23 élèves, soit 13,8 % de l'échantillon.

Enfin, pour certains élèves (9 élèves) il suffit d'évoquer la capacité de détection de l'écran pour expliquer pourquoi il ne réagit pas entre les icônes.

6.2.3. Discussion : enquête exploratoire

Les résultats ici présentés correspondent à la façon dont un échantillon de 166 élèves des classes de 3e répond à la question *« comment expliquez-vous que l'écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ? »*.

Rappelons que l'objectif premier de cette enquête était de mieux formuler, vis-à-vis des élèves, la question principale du questionnaire dans sa version définitive.

La première observation à faire à cet égard est qu'un nombre important des élèves interrogés (131 élèves) fournit des réponses dont le contenu reflète avant tout une incompréhension de la question posée : sur les 166 « explications » fournies par cet échantillon, une proportion importante (79 % soit près de 4 élèves sur 5) relève effectivement de l'évidence ou d'une lapalissade. En effet, bien qu'il s'agisse de réponses possibles à notre question — car il faut toucher l'icône, car c'est programmé, etc. —, d'une part, elles ne répondent pas à proprement parler au questionnaire et, d'autre part, elles ne nous informent point sur les représentations et les conceptualisations des élèves par rapport au processus sur lequel ils sont interrogés.

Compte tenu donc de la platitude des explications, nous interprétons ces résultats comme la conséquence de la formulation de la question — notamment de l'énoncé « *comment expliquer…* » — en ce sens qu'elle ne contraint pas ou n'encadre pas suffisamment la réflexion des élèves en leur donnant accès à des issues simples et allant de soi, c'est-à-dire à des évidences : c'est « *programmé pour* », c'est « *conçu pour* » et il « *faut toucher l'icône* » sont effectivement des « explications » possibles à l'interrogation proposée aux élèves, mais des explications évidentes.

En effet, force est de reconnaitre donc que la majorité des élèves enquêtés ne disposaient pas des éléments nécessaires pour satisfaire les exigences du questionnaire proposé :

- Il semblerait que pour la plupart des élèves, c'est la première fois qu'ils sont confrontés à la question posée — *« comment expliquer que l'écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ? »*.
- La plupart des élèves n'ont pas le schéma d'analyse qui pourrait éventuellement les conduire à la réponse.
- Les élèves ne disposaient que d'une dizaine de minutes pour répondre.

Dans ce contexte donc, seuls certains élèves — par exemple les plus familiarisés avec le domaine en question, les plus habitués à se confronter à des questions nouvelles et dont le raisonnement et l'abstraction sont des activités cognitives plus développées — sont capables de sortir du champ des évidences, de chercher à comprendre la situation proposée et donc de l'expliquer. En revanche, d'autres élèves chercheront et fourniront une réponse qui puisse au moins respecter la consigne générale : « comment expliquer » qu'entre les icônes l'écran ne réagisse pas ? Pour ce dernier groupe d'élèves — ici la plus grande partie —, une « explication » possible et justifié serait donc de répondre par une lapalissade : l'écran ne réagit pas entre les icônes « parce qu'il est programmé pour ne réagir que sur l'icône » ; l'écran ne réagit pas entre les icônes parce qu'il « faut poser le doigt sur l'icône » ; etc.

Reste donc qu'une faible proportion des participants (15 % ; 26 élèves) argumente leurs réponses en analysant la situation proposée en termes de « position » spatiale, c'est-à-dire en évoquant les positions soit du doigt, ou de l'icône (22), soit de ces deux éléments sur l'écran (4) : si l'écran tactile ne réagit pas entre les icônes c'est parce qu'il « sait » où se trouvent les icônes et parce qu'il sait où l'on pose le doigt.

Enfin, retenons que parmi les 26 réponses recodées dans ce groupe, seulement 4 d'entre-elles rendent compte, dans une même explication de la position des deux éléments : si l'écran ne réagit pas entre les icônes c'est parce que la position du doigt et celle de l'icône ne coïncident pas.

6.3. Questionnaire définitif : étude N°4

6.3.1. Introduction

L'enquête exploratoire de cette quatrième étude a notamment servi à constater que la formulation de la question proposée aux élèves — « *comment expliquer que l'écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ?* » — leur permet de répondre en avançant des arguments relevant de l'évidence, voire de lapalissades.

En effet, les résultats correspondant à l'enquête exploratoire ont montré, qu'une proportion très importante d'élèves (79 % de l'échantillon) proposent des « explications » selon lesquelles « les écrans tactiles ne réagissent pas entre les icônes parce qu'il faut poser le doigt sur l'icône ». Bien qu'il s'agisse d'une question relativement difficile pour un certain nombre d'élèves, le nombre de ces réponses, et notamment leur tautologie évidente, suggèrent qu'il s'agit, non pas d'une caractéristique de l'échantillon interrogé, mais d'un effet imputable

principalement à la formulation de la question : la forme de la question permet la formulation des réponses très générales, voire évidentes et tautologiques.

La forme de la question proposée aux élèves dans le questionnaire définitif cherche donc à réduire le nombre des réponses tautologiques et sans contenu explicatif recueillies dans l'enquête exploratoire. À cette fin, nous présenterons au nouvel échantillon d'élèves, d'un côté, une formulation plus contraignante afin d'inhiber certaines des « issues faciles » ou « évidentes » et, de l'autre côté, une formulation rédigée selon les termes et expressions repérés dans les réponses à l'enquête exploratoire.

À ce propos, l'enquête exploratoire nous a permis de constater qu'un grand nombre d'élèves formulent leurs réponses avec des expressions telles que « le téléphone *sait* ... », « l'appareil *fait* ... », etc. Les élèves formulent donc leurs réponses en termes de ce que le dispositif « sait » ou « fait ». Le repérage de cet anthropomorphisme[65] dans les réponses des élèves nous invite donc à modifier la formulation de la question : au lieu de demander aux élèves comment « expliquer » telle ou telle situation, nous allons leur demander comment pensent-ils que « le téléphone fait », ou que « le téléphone sait faire » telle ou telle chose.

6.3.2. Méthodologie : étude N°4

6.3.2.1. Échantillon

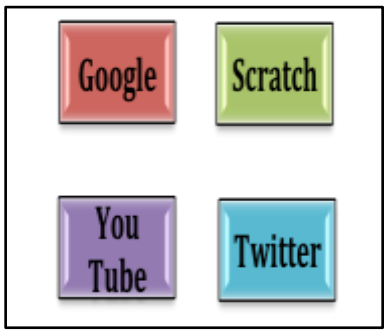
L'étude n°4 a été réalisée auprès de 439 élèves de classes de 3e répartis dans cinq collèges de la région parisienne. Il s'agit des collèges : « Pyramides » situé à Évry (51 élèves) ; « Ariane », situé à Argenteuil (74 élèves) ; « Richard Stéphane », situé dans le 17ème arrondissement de Paris (46 élèves) ; St. Vincent de Paul, situé dans le 13ème arrondissement de Paris (143 élèves) ; et « Pierre Dominique » situé à Neuilly sur Seine (125 élèves).

6.3.2.2. Présentation du questionnaire

Le questionnaire définitif se compose de trois questions. Afin de faciliter la compréhension de la situation, le questionnaire présente également une figure représentant la surface d'un écran tactile dans lequel sont affichés quatre icônes : « Google », « You Tube », « Scratch » et « Twitter » (voir ci-dessous).

[65] Pastré (1995*b*), en référence aux travaux Rogalski (1988) souligne les difficultés rencontrées par les élèves dans des activités de programmation. Roglaki met en évidence qu'une partie de ces difficultés n'est pas d'ordre logique mais tient au fait que les élèves ont tendance à attribuer à la machine les mêmes connaissances et compétences que le leurs propres.

Le questionnaire définitif présenté aux élèves est le suivant :



Q°. 1. Vous le savez : si l'on pose le doigt entre les icônes, le téléphone ne réagit pas. *À votre avis, comment le téléphone fait-il pour « savoir » si le doigt est bien (ou pas) sur l'une des icônes ?*

Q°. 2. Dans quel composant du téléphone se trouvent les applications ici affichées ?

Q. 3. Vous savez aussi qu'à chaque fois qu'on touche l'icône « Scratch », par exemple, c'est bien l'application « Scratch » qui s'ouvre et jamais une autre : *pouvez-vous décrire comment le téléphone fait-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée sans jamais se tromper d'application à afficher* ?

Notons que les réponses attendues aux questions Q.1 et Q.3 partagent un même noyau explicatif, à savoir que le système doit prendre en compte à la fois les positions respectives de l'icône et du doigt ; si elles sont les mêmes alors le doigt est bien sur l'icône. Néanmoins, la troisième question exige de prendre en compte le fait que les données de chacune des applications sont stockées et ont une place bien définie en mémoire.

En ce sens donc, la deuxième question du questionnaire ci-dessus — « *dans quel composant du téléphone se trouvent les applications affichées à l'écran ?* —, a été conçue pour faciliter, vis-à-vis de la réflexion des élèves, la transition entre la première et la troisième question : la réponse à la deuxième question constitue effectivement un des arguments de la troisième.

6.3.2.3. Procédure

Les questionnaires ont été administrés dans les salles de classes des établissements et pendant les cours de technologie. La passation a été prise en charge par les enseignants de technologie des collèges respectifs et s'est déroulée dans la deuxième moitié du mois d'avril de l'année 2015.

Les seules consignes données aux enseignants pour la passation des questionnaires consistaient à lire chacune des questions aux élèves, les motiver, leur donner entre 15 et 20 minutes pour répondre à l'ensemble des questions et surtout, ne rien suggérer comme réponse.

6.3.3. Résultats

Tout comme pour l'enquête exploratoire, l'ensemble des 439 réponses écrites ont été analysées, codées et recodées selon la méthode d'analyse de contenu thématique. Comme pour les études précédentes, nous nous sommes assisté du logiciel Modalisa.

6.3.3.1. Première question. Premier recodage : contexte général

Le tableau ci-dessous montre la fréquence d'apparitions des groupes des réponses les plus fréquemment rencontrés relatifs à la première question du questionnaire : *comment le téléphone fait-il pour « savoir » si le doigt est bien (ou pas) sur l'une des icônes ?*

Tableau 17. « Contexte général ». Étude N°4. Première question.

Catégories ou groupes de réponses	Effectifs	Fréquence
1. Capteurs (85) / Détecteurs (25)	**110**	**25 %**
2. Pression (31) / Chaleur (26) /Empreintes (18) /Mouvement (5)	**80**	**18 %**
3. Je ne sais pas	**69**	**16%**
4. En détectant le doigt	62	14 %
5. Car c'est tactile	46	10 %
6. Car il y a des capteurs	40	9 %
7. En prenant en compte la position de l'icône (P_Icône)	40	9 %
8. En prenant en compte la position du doigt (P_Doigt)	33	8 %
9. Car il faut toucher l'icône	31	7 %
10. Car les capteurs sont sous les icônes	28	6 %
11. Car c'est programmé pour (14) /c'est fait pour (7)	21	5 %
12. Entre les icônes c'est le vide, il n'y a rien	12	3 %
13. En prenant en compte la position de l'icône ET du doigt (PI+PD)	9	2 %

Interrogés : 439
Pourcentages calculés sur la base des interrogés

Trois remarques générales s'imposent à la lecture du tableau 17 :

- Le terme « capteur » (ou détecteur) apparait fréquemment dans les explications des élèves.
- L'interaction doigt-écran tactile — ou la sensibilité de l'écran tactile en général — est principalement associée à la « pression » et à la « chaleur » et, dans une moindre mesure, aux « empreintes » et au « mouvement » du doigt — éléments qui viennent confirmer les résultats des études N°2 et N°3.
- Un nombre non négligeable d'élèves répondent « je ne sais pas ». Au total, 69 élèves de classe de 3e nous disent ne pas savoir comment le téléphone fait pour « savoir » si le doigt est bien sur l'une des icônes. Le taux de réponses est donc de 84,3 %.

Examinons maintenant plus en détail les réponses proposées par le nouvel échantillon d'élèves de 3e.

6.3.3.2. Première question. Premier recodage :catégories initiales

Au total, 11 catégories ou groupes de réponses ont été retenus suite à la première analyse des réponses (voir tableau 18 ci-dessous).

Tableau 18. « Comment le téléphone sait ? ». Catégories initiales. Étude N°4

	Réponses générales	Effectifs	Fréquence
1.	Je ne sais pas	69	16 %
2.	**Car le doigt est détecté**	**62**	**14 %**
3.	**Car c'est tactile**	**46**	**10 %**
4.	**Car il y a des capteurs**	**40**	**9 %**
5.	**Prise en compte de la position de l'Icône**	**40**	**9 %**
6.	**Prise en compte de la position du Doigt**	**34**	**8 %**
7.	**Il faut toucher l'icône**	**31**	**7 %**
8.	**Car les capteurs sont sous les icônes**	**28**	**6 %**
9.	**C'est programmé pour (14) /C'est fait pour (7)**	**21**	**5 %**
10.	**Entre les icônes c'est le vide, il n'y a rien**	**12**	**3 %**
11.	**Prise en compte de la position de l'Icône ET du Doigt**	**9**	**2 %**

Interrogés : 439 / Répondants : 372
Pourcentages calculés sur la base des interrogés
Les catégories d'une même couler partagent toutes une même idée.

Notons que le premier groupe de réponses est celui qui affirme « ne pas savoir comment le téléphone sait si le doigt est où pas sur l'une des icônes » (69 élèves ; 16 %)

La deuxième catégorie du tableau 18 contient toutes ces réponses d'élèves qui affirment que le téléphone est capable de savoir si le doigt est ou pas sur l'icône « en détectant » ce dernier. Pour les 62 élèves de cette catégorie, il suffit ainsi de répondre que « **le téléphone détecte le doigt ».** Voici certaines de ces réponses :

Q.N°237 : « *Le téléphone le sait car il détecte la peau du doigt* ».

Q.N°310 : *« C'est grâce à l'écran qui détecte la présence du doigt* ».

Q.N°313 : « *Car l'écran peut détecter le contact du doigt avec l'écran* ».

La troisième catégorie de réponses du tableau 18 reprend l'idée précédente (catégorie 1) mais exprimée plus simplement : le téléphone « sait » que le doigt n'est pas sur l'une des icônes car « **il est tactile** ». En fait, nous savons grâce aux entretiens que derrière l'expression « c'est tactile », les élèves mettent l'idée, « il détecte le doigt ». Ainsi, tout comme pour la première catégorie, 46 élèves de l'échantillon affirment que le téléphone sait si le doigt se trouve sur l'une des icônes car il est capable de le détecter. Voici certaines réponses de cette catégorie :

Q.N°46 *: « C'est le principe du tactile, il ressent le doigt sur l'écran ».*

Q.N°67 *: « Parce qu'il est tactile ».*

Q.N°170 *: « Le téléphone sait que le doigt n'est pas sur l'une des icônes car il est tactile et il voit que l'on ne met pas notre doigt sur l'une des icônes ».*

Q.N°179 *: « Le téléphone le sait car il est tactile et il voit que l'on ne met pas notre doigt sur l'icône »*

Q.N°356 *: « L'écran du téléphone est tactile, il peut donc détecter si un doigt est ou pas sur une icône ».*

Le quatrième groupe de réponses propose le même argument que ces des catégories 1 et 2 mais formulé différemment : le téléphone « sait » que le doigt n'est pas sur une icône car il est équipé de **capteurs** : « le téléphone ne se trompe jamais, explique l'un des élèves, car il a des capteurs » (Q.N°126). Or, l'on sait aussi que l'expression « avoir des capteurs » signifie chez les élèves « détecter le doigt ». Les élèves de ce groupe, tout comme ceux des catégories 1 et 2, ne font donc qu'affirmer que le téléphone est capable de « détecter le doigt ». Par exemple :

Q.N°15 *: « Le téléphone sait que le doigt n'est pas sur l'une des icônes grâce à des capteurs tactiles situés sous l'écran ».*

Q.N°70 *: « Je suppose qu'il possède des capteurs qui détectent la moindre pression ».*

Q.N°134 *: « Je pense qu'il y a des sortes de capteurs qui détectent le doigt sur l'icône ».*

Q.N°410 *: « Le téléphone sait que le doigt est sur l'icône car l'écran est tactile et des capteurs permettent au téléphone de sentir la présence du doigt sur l'écran ».*

Le cinquième groupe d'explications établit une rupture avec les catégories précédentes. En effet, la catégorie « Prise en compte de la position de l'icône » se constitue autour d'une idée plus juste et élaborée. Ainsi donc, comme l'explique l'un des répondants, « le téléphone sait que le doigt est sur l'icône car les applications ont une place bien précise sur l'écran » (Q.N°75). Les applications dont parle cet élève sont en réalité les icônes : les icônes ont donc une place « bien précise » sur l'écran.

Le noyau explicatif commun à l'ensemble des réponses codées dans la catégorie 4 du tableau 18, c'est que les icônes ne sont pas n'importe où sur l'écran et, en conséquence, le téléphone « connait » leurs positions. Toutefois, aucune de ces réponses évoque ou explicite la position du doigt : l'explication tient seulement compte de la position des icônes.

Rappelons enfin que sont regroupées dans cette catégorie, non seulement les réponses qui

proposent explicitement que « le téléphone connait la position des icônes », mais aussi celles qui emploient n'importe quelle expression pour désigner une partie quelconque de la surface de l'écran : endroit, place, emplacement, zone, partie, etc. Voici donc quelques exemples des 40 réponses codées dans la catégorie « En prenant en compte la position de l'Icône » :

> ***Q.N°173*** *: « Car il enregistre la position des icônes. Si aucune icône n'est présente à cet endroit [entre les icônes] le téléphone il ne fait rien ».*
>
> ***Q.N°168*** *: « Car le téléphone a des emplacements où l'on peut installer des applications ».*
>
> ***Q.N°176*** *: « Car à cet endroit précis il n'a pas et n'aura jamais d'icônes »*
>
> ***Q.N°182*** *: « Les application sont placées à un endroit bien précis sur l'écran. Alors le composant qui se charge du tactile transmet l'information au composant qui va alors ouvrir cette application, si le doigt touche l'écran mais aucune application, il ne se passe alors rien ».*

Les réponses de la sixième catégorie contiennent une idée aussi pertinente que la précédente. Les 34 réponses de cette catégorie avancent l'argument selon lequel le téléphone « sait » si le doigt est sur l'icône car il « sait » où le doigt s'est posé, c'est-à-dire « en prenant en compte la position du doigt » sur l'écran. Toutefois, aucune de ces réponses évoque ou explicite la position des icônes. Notons qu'on retrouve dans cette catégorie non seulement les réponses qui proposent explicitement que le téléphone connait la « position » du doigt mais aussi toutes ces expressions désignant une partie de l'espace : endroit, place, emplacement, zone, etc. Par exemple :

> ***Q.N°124*** *: « Il y a des capteurs qui détectent l'endroit où l'on pose le doigt ».*
>
> ***Q.N°183*** *: « Car il est tactile et ressent notre toucher tactile sur l'écran et remarque donc où est-ce que l'on a touché ».*
>
> ***Q.N°189*** *: « Il le sait grâce à un détecteur de pression qui sait où le doigt a touché ».*
>
> ***Q.N°257*** *: « Il y a des cellules sensitives qui permettent de « savoir » sur quelle icône le doigt est posé ».*
>
> ***Q.N°270*** *: « Des capteurs permettent au téléphone de savoir si l'on pose le doigt sur l'écran et où ».*
>
> ***Q.N°374*** *: « Quand on pose notre doigt sur l'écran, une pression s'exerce et coupe les signaux électriques qui passent à cet endroit. On peut donc savoir précisément ou se trouve le doigt ».*

Les réponses codées dans la septième catégorie rappellent celles recueillies dans l'enquête exploratoire. En effet, ce groupe de réponses ne fait que rappeler l'un des principes d'usage des dispositifs dotés d'un écran tactile, à savoir que si l'on veut s'en servir, « *il faut toucher une icône* » et non pas l'espace entre les icônes. Pour les 31 élèves de cette catégorie ce rappel à l'évidence suffit à approcher la réponse. Les élèves répondent par exemple :

> ***Q.N°162*** *: « Pour activer une icône et lancer une application il faut appuyer bien sur l'icône ».*
>
> ***Q.N°128*** *: « Le téléphone ne réagit pas car sa fonction tactile marche seulement sur les icônes ».*

Le huitième groupe de réponses se constitue autour de l'idée suivante : le téléphone « sait » que le doigt ne s'est pas posé sur l'une des icônes parce que les capteurs, ceux qui détectent le doigt, sont placés uniquement sous les icônes. Pour les élèves de ce groupe, le cœur de l'explication est le suivant : entre les icônes il n'y a pas de capteurs ; par conséquent, si l'utilisateur pose son doigt ailleurs que sur une icône le téléphone ne pourra pas le « sentir ». Ainsi donc, d'après les 28 élèves de la catégorie « Car les capteurs sont sous les icônes », les seules parties de l'écran où le téléphone peut interagir avec l'utilisateur sont sur les icônes. Leurs réponses peuvent être :

> ***Q.N°38*** *: « Il y a un détecteur de doigt sous chaque icône c'est donc pour cela qu'il faut absolument poser le doigt sur l'icône ».*
>
> ***Q.N°141*** *: « Le téléphone étant tactile, il possède des capteurs positionnés à des endroits spécifiques où se situent les applications. Il n'y a donc pas de capteurs entre les applications ce qui fait que le téléphone ne réagit pas ou sait que le doigt n'est pas sur une application ».*
>
> ***Q.N°263*** *: « Des capteurs sont surement placés à la place des icônes ».*
>
> ***Q.N°273*** *: « Il doit y avoir des espèces de capteurs aux endroits où se trouvent les applications donc, lorsque le doigt trouve là où il n'y a pas de capteurs, le téléphone ne réagit pas ».*
>
> ***Q.N°275*** *: « Car il y a des capteurs placés sous l'icône de l'application donc lorsque le doigt n'est pas posé sur l'icône, on ne touche pas le capteur ».*

La neuvième catégorie du tableau 18 est constituée des réponses d'élèves qui affirment — tout comme dans l'enquête exploratoire — que le téléphone a été conçu et programmé pour ne réagir que sur les icônes. Pour les 21 élèves de la cette catégorie « C'est programmé /c'est fait pour », un rappel à l'évidence suffit à approcher la réponse. Par exemple :

Q.N°2 *: « L'écran tactile est programmé pour ne rien faire si l'on pose le doigt entre les icônes »*

Q.N°198 *: « Le téléphone ne réagit entre les icônes car il a été configuré ainsi ».*

Q.N°206 *: « Grâce à un programme qui a été programmé puis enregistré dans le téléphone ».*

Q.N°277 *: « Si l'on pose le doigt entre les icônes le téléphone ne va pas réagir car il est programmé et qu'il y a une pièce qui permet cela ».*

Les 12 élèves de la catégorie dix (3,2 %) « expliquent » que le téléphone sait si le doigt est ou pas sur l'icône parce qu'« entre les icônes il n'y a rien », ou bien parce qu'« entre les icônes c'est le vide » ; par conséquent, pas d'interaction entre les icônes. L'idée de ce groupe d'élèves, tout comme pour ceux de la catégorie « Car les capteurs sont sous les icônes », est que le téléphone n'est capable d'interagir que sur l'emplacement des icônes. Par exemple :

Q.N°260 *: « Le téléphone ne réagit pas car entre les icônes il n'y a rien du tout ! Le téléphone ne peut pas réagir dans le vide ! »*

Q.N°278 *: « Le téléphone ne prend pas compte les espaces vides qu'il y a entre les applications, donc si le doigt touche le vide le téléphone ne réagit pas ».*

Enfin, le tableau 18 met en évidence qu'un groupe très réduit d'élèves (9 parmi les 439) de l'échantillon, propose une explication composée des principaux éléments de réponses, à savoir : 1) le téléphone détermine la position du doigt ; 2) si cette position coïncide avec celle d'une icône, alors le doigt est sur l'icône. Voyons trois des réponses de la catégorie « Prise en compte de la position de l'icône ET du doigt » :

Q.N°84 *: « Je pense que le téléphone possède un système de localisation par rapport peut-être au poids émis par la pression du doigt. Il associe une position (application) avec un poids émis à un endroit précis. Si le doigt émet une masse à une position précise qui ne correspond à aucune application alors le téléphone ne réagit pas ».*

Q.N°253 *: « Je pense que l'écran tactile reconnait le toucher du doigt. Il a des micro-récepteurs qui captent où se trouve ce toucher et le téléphone sachant où sont placés les icônes va savoir si ce toucher est dessus ou pas ».*

Q.N°107 *: « C'est un écran tactile [c'est-à-dire que détecte le doigt] alors quand on appuie quelque part sur cet écran ça envoie une information quelque part dans le système du téléphone. Ce système connait l'emplacement des applications par rapport à l'écran donc si l'on appuie entre les applications rien ne se passera ».*

Q.N°241 *: « un capteur permet de savoir si l'on touche l'écran. Le capteur tactile enregistre la position précise du doigt qui touche l'écran et lance l'application programmé pour cette position ».*

6.3.3.3. Première question. Deuxième recodage : catégories finales

Bien qu'il s'agisse des formulations différentes, l'analyse détaillée des réponses montre que certaines des « explications » codées dans le tableau 18 avancent le même contenu explicatif. C'est le cas de toutes les réponses du tableau 18 qui partagent un même code couleur.

Ainsi donc, afin de faciliter l'analyse des résultats, nous avons fusionné les dix groupes de réponses initialement repérés dans le corpus de réponses de l'ensemble de l'échantillon selon qu'ils relèvent d'une même argumentation ou noyau explicatif.

Tableau 19. Étude N°4. Première question.

	Effectifs	Fréquence
1. Car le Dispositif Détecte le Doigt	176	40 %
2. Rappel à l'évidence	**52**	**12 %**
3. Car il connaît la position de l'Icône	**40**	**9 %**
4. Car il connaît la position du Doigt	**34**	**8 %**
5. Car il n'y a rien entre les icônes	**12**	**3 %**
6. Car il connaît la position et du Doigt et de l'Icônes	**9**	**2 %**

Interrogés : 439

Pourcentages calculés sur la base des interrogés

Cinq catégories ou groupes de réponses ont été finalement retenues de l'ensemble des propositions :

1. Car le Dispositif Détecte le Doigt :

Le tableau 19 met en évidence que l'argument le plus fréquemment repéré pour répondre à la première question du questionnaire c'est que « le téléphone est capable de savoir si le doigt est (ou pas) sur l'une des icônes car il peut le détecter **»**. C'est le cas de toutes ces réponses soulignées en bleu dans le tableau 18 et qui :

- affirment explicitement que le téléphone le sait parce qu'il « détecte le doigt » (62 élèves).
- ne font que souligner que « le téléphone a des capteurs » et donc qu'il est capable de détecter le doigt (46 élèves).
- affirment que c'est parce que « c'est tactile » et donc qu'il est capable de détecter le doigt (40 élèves).

- affirment que les « capteurs sont sous les icônes » (28 élèves).

Ce groupe de 148 réponses a été recodé dans une même catégorie, à savoir « Car le dispositif détecte le doigt » (34 %).

2. Car c'est conçu pour toucher l'icône :

La deuxième catégorie du tableau 19 contient toutes les réponses qui, tout comme dans l'enquête exploratoire, ne font que rappeler à l'évidence. En effet, les catégories soulignées en rouge dans le tableau 18 contiennent ces réponses selon lesquelles le téléphone « sait » si le doigt est sur l'une des icônes car *:*

- « il faut toucher l'icône » (31 élèves).
- « c'est programmé (ou fait) pour » (21 élèves).

Force est de constater que, de même que ceux de l'enquête exploratoire, les 52 élèves dont les réponses ont été recodées dans la catégorie « Rappel à l'évidence », ne répondent point à la question.

3. Car il connait la position de l'icône :

Le troisième groupe de réponses est celui selon lequel le téléphone « sait » si le doigt est sur l'une des icônes car il peut connaitre la « position de l'icône » (40 élèves).

4. Car il connait la position du doigt :

Le quatrième groupe de réponses est celui selon lequel le téléphone « sait » si le doigt est sur l'une des icônes car il peut connaitre la « position du doigt » (34 élèves).

5. Car il n'y a rien entre les icônes :

Le cinquième groupe de réponses identifié est celui selon lequel le téléphone « sait » si le doigt est sur l'une des icônes car « entre les icônes il n'y a rien ». Force est de constater que ces réponses sont très ambiguës car les élèves ne précisent pas « qu'est-ce qu'il n'y pas » entre les icônes.

6. Car il connait la position de l'icône et la position du doigt :

Reste que parmi les 372 élèves de l'échantillon nous ne trouvons que 9 élèves pour qui le téléphone détermine si le doigt se trouve sur l'une des icônes car il « sait » à la fois où s'est posé le doigt sur l'écran et où se trouvent les icônes, c'est-à-dire en associant à la fois la position du doigt et la position de l'icône.

6.3.3.4. Deuxième question : « dans quel composant se trouvent les applications affichées sur l'écran ? »

Cette question demande aux élèves d'expliciter le composant du téléphone dans lequel se trouvent les applications affichées à l'écran. Il s'agit d'une question relativement simple et dont le but est principalement de faciliter à l'élève le passage de la question n°1 à la question n°3.

Le premier élément qui se remarque de la lecture du tableau 20 c'est qu'une proportion très importante des élèves interrogés (46 %) affirme, littéralement, que les applications affichées sur l'écran se trouvent dans la « mémoire » du dispositif. D'autres élèves ne désignent pas la « mémoire » comme l'élément de stockage mais le « disque dur », l'« espace de stockage », ou la « RAM ». Au total, 231 élèves (53 %) explicitent ou suggèrent que les applications affichées à l'écran se trouvent dans un composant dédié au stockage de données.

Tableau 20. « Dans quel composant se trouvent les applications affichées sur l'écran ? ». Contexte général.

Réponses	Effectifs	Fréquence
Mémoire	204	46 %
Je ne sais pas	*106*	*24 %*
Sur l'écran	30	7 %
Dans la page d'accueil	19	4 %
Dans la carte-mère	18	4 %
Disque dur	14	3 %
Espace de stockage	9	2 %
Dans la carte SIM	8	2 %
Dans les réglages	6	1 %
Dans la batterie	6	1 %
Dans le processeur	4	1 %
Dans la puce	4	1 %
Dans les fichiers	4	1 %
Dans la RAM	4	1 %
Sur internet	3	1 %

Interrogés : 439

Pourcentages calculés sur la base des interrogés

Néanmoins, soulignons aussi que malgré la « simplicité » de cette question, le tableau ci-dessus montre, d'une part, qu'une proportion importante d'élèves (24 %, 106 élèves) affirme ne pas connaitre la réponse et, d'autre part, qu'une proportion non négligeable de l'échantillon répond à la question en désignant des régions ou des composants autres que ceux relevant des espaces de stockage — ce sont toutes les réponses soulignées en bleu dans le tableau 20 (102 réponses ; 23%). Ainsi, par exemple, certains élèves diront que les

applications sont stockées « sur l'écran » (30 élèves) ou encore « dans la page d'accueil » (18 élèves).

Tableau 21. « Dans quel composant se trouvent les applications affichées sur l'écran ? ». Catégories finales.

Emplacement	Effectifs	Fréquence
Espace de stockage	**231**	**53 %**
Je ne sais pas	***106***	***24 %***
Ailleurs	**102**	**23 %**

Pourcentages : calculés sur la base des interrogés (439 élèves)

En effet, le tableau 21 (voir tableau ci-dessus) met finalement en évidence que bien que la deuxième question du questionnaire peut être jugée — du point de vue du chercheur — comme étant une question « facile », 47 % des 3e interrogés, soit 208 élèves, sont incapables d'y répondre correctement.

6.3.3.5. Troisième question : « comment le téléphone fait-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée sans jamais se tromper d'application à afficher ?

La troisième question du questionnaire demande aux élèves de décrire comment le téléphone fait pour ouvrir l'application sélectionnée sans jamais se tromper et afficher une autre. Notons que cette question partage un élément de réponse avec la première, à savoir la mise en relation de la position du doigt et de la position de l'icône. Cependant, la troisième question introduit un nouvel élément de réponse, à savoir le fait que les applications correspondantes aux icônes affichées sont en réalité stockées en mémoire.

Ainsi donc, pour répondre la troisième question du questionnaire l'élève doit donc combiner trois aspects : la position du doigt (P_Doigt), la position de l'icône (P_Icône) et le fait que l'application correspondante à l'icône touchée se trouve stockée en mémoire (S_Mém).

Tableau 22. « Comment le téléphone fait-t-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée ? ». Contexte général.

	Catégories ou groupes de réponses	Effectifs	Fréquence .
1.	**Je ne sais pas**	**146**	**33 %**
2.	Car l'icône est un « Lien » ou un « Raccourci »	42	9 %
3.	**Car elle est déjà dans la mémoire**	**39**	**9 %**
4.	**En tenant compte de la position de l'icône (P_Icône)**	**33**	**7 %**
5.	**En tenant compte de la position du doigt et de l'icône (PD+PI)**	**27**	**6 %**
6.	Car il y a des capteurs	26	6 %
7.	Car on a touché l'icône	24	5 %
8.	Car c'est programmé	23	5 %
9.	**En tenant compte de la Position du Doigt (P_Doigt)**	**15**	**3 %**
10.	**En tenant compte des P_Doigt+P_Icône+S_Mém**	**5**	**1 %**

Interrogés : 439
Pourcentages calculés sur la base des interrogés

La lecture globale des résultats affichés dans le tableau 22 nous permet de remarquer certains traits généraux des propositions recueillies. L'on constate, en effet, qu'une proportion très importante d'élèves (33 % ; 146 élèves) nous dise « je ne sais pas », c'est-à-dire « je ne sais pas » comment le dispositif à écran tactile affiche toujours l'application correspondante à l'icône touchée sans jamais se tromper d'application. En outre, le tableau ci-dessus met en évidence qu'une proportion quasi-nulle d'élèves (1%) répond en associant effectivement les trois principaux éléments de réponses évoqués plus haut, à savoir la position du doigt, la position des icônes et le fait que l'application est stockée en mémoire. De plus, nous constatons à nouveau que la plupart des élèves répondent en avançant des arguments qui sont de l'ordre de l'évidence.

Au-delà donc de ces remarques générales, le tableau 22 montre que le deuxième groupe de réponses les plus fréquentes se constitue autour des réponses selon lesquelles le téléphone ouvre la bonne application parce que l'icône est un « lien » ou un « raccourci » qui mène directement à l'application qu'il représente. Ces réponses partagent le contenu suivant :

> **Q.N°212** : « *Chaque icône est associée à chaque application donc c'est normal de l'ouvrir. Si tu appuies sur le bouton d'alimentation d'un ordi, ça ne va pas allumer la lumière* ».
>
> **Q.N°110** : « *Les icônes agissent comme des liens ou des raccourcis qui nous ouvrent directement les portes à des fichiers en particulier* »
>
> ***Q.N°114*** *: « L'icône est un raccourci vers un programme précis ce qui permet au téléphone de ne jamais se tromper de programme ».*
>
> ***Q.N°172*** *: « Il doit y avoir un bouton qui est relié à chaque endroit de la partie tactile du téléphone. Par exemple, lorsque l'on appuie sur l'icône Scratch, il doit y avoir quelque chose qui relie l'icône à un autre bouton qui sert à ouvrir l'application »*
>
> ***Q.N°308*** *: « L'icône Scratch est un raccourci à un fichier dans le dossier « Scratch » qui lance un fichier qui lance l'application ».*

La troisième catégorie du tableau 22 inclut toutes les réponses qui explicitent le fait que l'application considérée se trouve stockée dans la mémoire du dispositif. Selon les élèves de cette catégorie le téléphone ouvre l'application sélectionnée parce que :

> ***Q.N°92 :*** *« Celle-ci est enregistrée dans la mémoire du téléphone et son composant est lié à l'écran tactile et est automatiquement reconnue ».*
>
> ***Q.N°175*** *: « Car le téléphone enregistre la position des icônes. Lorsqu'on touche la partie du téléphone où il y a une application, le téléphone sait que c'est cette*

application que l'on veut ouvrir et il la cherche dans la mémoire ».

Q.N°187 *: « Chaque application doit avoir une place dans la mémoire du téléphone ».*

Q.N°137 : *« La tacticité va chercher l'application à ouvrir dans la mémoire ».*

Q.N°140 *: « Dans la carte mémoire il y a l'emplacement de l'icône [position icône] sur l'écran. Si l'on touche la partie concernée de l'écran [position doigt], le téléphone voit quelle partie est concernée et donc quelle application ouvrir ».*

Q.N°141 *: « Les capteurs du téléphone savent grâce à la carte mémoire où se situent chaque application sur l'écran, ce qui leur permet d'ouvrir toujours la bonne application ».*

Q.N°155 : *« Scratch est placé dans une partie bien précise dans le centre d'informations du téléphone. Il est donc impossible qu'une autre application soit ouverte à la place »*

Les catégories « Position de l'icône », « Position du doigt », et Position doigt ET icône » (catégories 4, 5 et 8) ont été déjà discutées lors de l'analyse des réponses de la première question : elles contiennent les propositions dont le contenu prend en compte ces éléments de réponses. Au total, 75 élèves (16,8 %) répondent à la question posée en termes de « position », soit d'un, soit des deux éléments de l'interaction.

Toutefois, chose intéressante, lors des réponses à la première question, seul 9 sur les 439 interrogés ont pris en compte à la fois de la position de l'icône et la position du doigt dans leurs réponses. Or, l'on constate dans le tableau 22 que trois fois plus d'élèves avancent ce type d'argument (27 élèves) afin de répondre à la troisième question. En revanche, toujours par rapport à la première question, la position du doigt est sensiblement moins fréquemment évoquée pour répondre à la troisième question (Q.1: 39 élèves ; Q.2: 15 élèves).

Quant aux catégories « Car il y a des capteurs » (26 élèves), « Car on a touché l'icône » (24 élèves) et « Car c'est programmé pour » (23 élèves), on peut remarquer, à nouveau, qu'il s'agit d'arguments qui ne répondent point à la question posée. Voyons à titre d'exemple trois des « explications » proposées par ce groupe d'élèves :

Q.N°70 : « *C'est de la programmation : une action A enchaîne une action B. Si on appuie sur Scratch, Scratch s'ouvre* ».

Q.N°126 : « *Le téléphone ne se trompe jamais car il a un détecteur* ».

Q.N°301 : « *Car lorsque l'on posé le doigt sur l'application* »

On constate, en effet, que ce groupe d'élèves avance des généralités, voire des lapalissades. Pour cette raison, force est de reconnaitre que les trois catégories en question sont à

rapprocher de la catégorie « Les icônes sont des raccourcis » — premier groupe de réponses du Tableau 22. En effet, les élèves qui expliquent que si le téléphone ouvre l'application sélectionnée c'est parce « les icônes sont des raccourcis », avancent également un argument de l'ordre de l'évidence.

Compte tenu de ces éléments, le groupe de réponses — « Car les icônes sont de raccourcis », « Car il y a des capteurs », « Car on y a touché » et « Car c'est programmé pour » — renvoie dans sa totalité à une même catégorie de réponses appelée ici « Rappel à l'évidence ».

Le recodage final de réponses est donc le suivant :

Tableau 23. « Comment le téléphone fait-t-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée ? » Catégories finales.

	Catégories ou groupes de réponses	Effectifs	Fréquence
1.	**Je ne sais pas**	**146**	**33 %**
2.	Rappel à l'évidence	116	26 %
3.	**Car elle est déjà dans la mémoire**	**39**	**9 %**
4.	**Ils tiennent compte de la Position de l'Icône (P_Icône)**	**33**	**7 %**
5.	**Ils tiennent compte de la Position du Doigt et de l'Icône (PD+PI)**	**27**	**6 %**
6.	**Ils tiennent compte de la Position du Doigt (PD)**	**15**	**3 %**
7.	**Ils tiennent compte de P_Doigt+P_Icône+P_Mém**	**5**	**1 %**

Interrogés : 439

Pourcentages calculés sur la base des interrogés

Retenons du tableau ci-dessus que près de deux tiers (59 % soit plus d'un élève sur deux) de l'échantillon de 3e — les élèves dont les réponses appartiennent aux deux premières catégories, soit 262 élèves sur les 439 interrogés — ne fournit aucun élément de réponse relatif à la troisième question du questionnaire. Non seulement on constate que la majorité des participants ne répondent pas à la question posée, mais aussi qu'une proportion quasi-nulle de l'échantillon (1 %) argumente en fournissant tous les éléments de réponses.

6.4. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°4

L'étude N°4 avait pour but d'explorer la manière dont les élèves se représentent et conceptualisent deux processus clés concernant le fonctionnement des dispositifs numériques équipés d'écrans tactiles, à savoir : (a) la manière dont un Smartphone détermine si le doigt se trouve (ou ne se trouve pas) sur l'une des icônes affichées à l'écran, et (b) la manière dont un Smartphone ouvre l'application correspondant à l'icône touchée sans se tromper d'application à afficher.

De manière générale, l'étude N° 4 met en évidence que les élèves de 3e (439 élèves) :

1. Conceptualisent la détermination de la position du doigt par rapport à l'icône en termes de « détection absolue du doigt » (40 %).
2. Sont majoritairement capables (53 %) de citer une entité de stockage pour désigner le composant où se trouvent enregistrées les applications affichées à la surface des écrans tactiles.
3. Se représentent le processus d'ouverture des applications en termes généraux de « liens » ou de « raccourcis ».

6.4.1. L'enquête exploratoire : le rappel à l'évidence, un indicateur de la difficulté et de la méconnaissance par rapport au sujet

Deux enquêtes concernent l'étude N°4 : une enquête exploratoire et une enquête définitive. De manière générale, l'enquête exploratoire nous a permis de constater que, pour interroger les collégiens, toutes les formulations ne se valent pas. Ainsi, en demandant aux élèves de 3e « *comment expliquer qu'un écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ?* », on obtient essentiellement des réponses tautologiques, des lapalissades, comme « parce qu'il faut toucher l'icône » ou « car c'est programmé ainsi ». Le principal résultat obtenu de l'enquête exploratoire se réduit, au fond, à l'important nombre d'élèves y ayant répondu en rappelant à l'évidence.

131 des 168 élèves ayant participé à l'enquête exploratoire (80 %) répondent, en effet, que l'écran tactile ne réagit pas entre les icônes simplement parce qu'« il faut poser le doigt sur les icônes ». Bien qu'il s'agisse là d'un résultat issu de l'enquête exploratoire, en raison du nombre relativement important d'élèves y ayant participé (168), il faut rendre compte ici de ce type de réponses. Ce résultat, à savoir que 4 enquêtés sur 5 répondent par une lapalissade, indique, en premier chef, que les élèves interrogés sont assez démunis devant la question qui leur a été présentée dans l'enquête. En effet, les élèves ont répondu à la question presque exclusivement avec des lapalissades car la manière d'aborder une telle problématique leur est méconnue et, par conséquent, les éléments de réponse dont ils pourraient se servir pour interpréter et expliquer une telle situation sont loin de constituer des évidences dans leur esprit. Il s'agit là d'une première lecture.

Néanmoins, eu égard à la proportion importante de réponses sans contenu explicatif (80 %), ces résultats peuvent être également interprétés comme étant la résultante d'un « effet question » et du « contrat pédagogique ». D'un côté, il s'agit d'un sujet nouveau et vis-à-vis

duquel les élèves n'ont pas d'emblée tous les outils d'analyse et, de l'autre côté la formulation de la question présentée aux élèves — « *comment expliquer …* » — était trop générale, voire ambiguë. Dans ce contexte — sujet difficile, question ouverte et réponse attendue par l'enseignant —, les élèves ayant effectivement répondu, ont, par conséquent, cherché des « solutions faciles » et « évidentes » au problème posé : car c'est programmé, car il faut toucher l'icône, etc.

Compte tenu de ces éléments, la formulation des questions retenues pour le questionnaire défini a épousé une toute autre forme : l'élève ne doit plus « expliquer » la situation, il doit en revanche rendre compte de la manière dont il pense que cette situation est gérée par le dispositif. Nous avons donc en quelque sorte demandé aux élèves de « personnifier » l'objet technique et, ainsi faisant, de faire preuve de « bon sens » et non pas de réagir en tant que « techniciens ou technologues » : « *à ton avis, comment le téléphone "sait" que le doigt n'est pas sur l'icône ? Comment le téléphone "fait-il" pour ne jamais se tromper d'application à afficher ?* ».

6.4.2. « Je ne sais pas » : première modalité de réponses

À l'exception des réponses à la deuxième question du questionnaire définitif, la modalité de réponse la plus clairement définis dans l'étude N°4 correspond à la catégorie « je ne sais pas », c'est-à-dire aux réponses des élèves admettant ne pas connaître la réponse. Ainsi, en examinant les résultats correspondant à la troisième question, on constate effectivement que, parmi les 439 élèves interrogés, un tiers, soit 146 élèves, admettent « ne pas savoir » la réponse (33 %) (voir Tableau 22). Bien que ce chiffre soit nettement inférieur dans la première question (16 %), il correspond, cependant, à la modalité de réponses la plus fréquente (voir Tableau 18). Ainsi, tant pour la première question que pour la troisième, les réponses les plus souvent rencontrées dans l'étude N°4 sont « je ne sais pas ».

Non seulement un grand nombre d'élèves ne fournissent pas de réponse aux questions principales (Q.1 et Q.3), mais aussi nombreux sont ceux qui, comme dans l'enquête exploratoire, répondent à la question « en rappelant à l'évidence ». C'est le cas des 222 réponses (51 %) à la première question ainsi que des 116 réponses (26 %) à la troisième question de cette étude (voir Tableaux 19 et 24). Or, si ces réponses pouvaient être « acceptées » dans l'enquête exploratoire, elles sont ici totalement hors sujet. Ainsi, bien que ce groupe d'élèves ne l'ait pas dit explicitement, comme c'est le cas du premier, le fait est qu'« ils ne savent pas » non plus.

Au total, donc, sur les 439 collégiens (3e) ayant participé à la quatrième étude, seuls 83 élèves (20 %) ont proposé *au moins* un élément de réponse à la première question, et seuls 119 élèves (27 %) ont proposé *au moins* un élément de réponse à la troisième question. Plus remarquable encore, seuls 9 élèves et 5 élèves sur les 439 interrogés ont été capables de fournir la totalité des éléments de réponse attendus respectivement pour la première et à la troisième question de notre enquête (voir Tableaux 19 et 24).

En revanche, si l'on examine à présent les réponses correspondantes à la deuxième question — « *dans quel composant du téléphone se trouvent les applications affichées à l'écran* » —, question dont la situation et les éléments de réponse sont, soit connus, soit bien plus accessibles aux élèves, on s'aperçoit que la réponse la plus fréquemment rencontrée est la réponse attendue à la question, c'est-à-dire « en mémoire » (231/439) (voir Tableau 22). Selon une perspective lexicale donc, plus de la moitié des réponses à la deuxième question sont justes (53 %).

Ce résultat est en cohérence avec le caractère élémentaire de la deuxième question — ce qui n'est pas le cas des deux autres questions de l'enquête. Or, soulignons que, malgré la simplicité relative de la deuxième question — où sont stockées les applications ? —, une fraction non-négligeable des effectifs (208/439) n'est toutefois pas capable d'identifier convenablement les composants ou les régions dans lesquels les applications sont enregistrées : 106 élèves répondent « je ne sais pas » et 102 élèves évoquent des régions ou des composants dont la fonction n'est pas celle de stocker des données.

Soulignons finalement que le fait que certains élèves de 3e ne soient pas capables de designer une entité de stockage, pointe directement la question que, malgré leur familiarité avec les dispositifs dont il est question ici et la pluralité d'usages dont ils sont l'objet au sein de notre population — téléphones tactiles, tablettes, etc. —, une proportion importante d'élèves (47 %) n'est toujours pas capable de répondre des questions relativement simples à propos de la structure élémentaire de ces dispositifs.

6.4.3. Déterminer la position relative doigt-icône : pour les élèves une question de contact et donc de détection

Au-delà des « lapalissades » et des « non-réponses », certains élèves de l'échantillon interrogé répondent à la principale question du questionnaire en affirmant que le téléphone « sait » si le doigt est (ou n'est pas) sur l'icône en « le détectant » simplement (176 élèves ; 40 %) (voir Tableau 19). Il s'agit là de l'élément de réponse le plus construit – ou le moins évident –

repéré dans le corpus de réponses. Ainsi, selon ce groupe d'élèves, c'est « en détectant » le doigt que les dispositifs à écran tactile déterminent si le doigt se trouve ou non sur l'icône.

Selon l'argument avancé par les 176 élèves de ce groupe, c'est en détectant « si » le doigt s'est posé effectivement sur l'écran que les téléphones tactiles sont capables de déterminer « où » le doigt s'est posé sur l'écran. Or ces deux processus ne sont pas équivalents. Alors que la présence du doigt est, en effet, détectée, sa position doit être « calculée » ou « déterminée ».

En ce sens, la quatrième étude suggère que les élèves de 3e interrogés conceptualisent la situation proposée comme relevant essentiellement du bloc fonctionnel « Détection » et non pas comme relavant du bloc fonctionnel « Traitement ». Il s'agit d'un résultat relativement important de l'étude N°4 car, dans la mesure où ces élèves n'évoquent que la capacité de détection du dispositif, c'est-à-dire la capacité à déterminer « si le doigt s'est effectivement posé » sur l'écran, il indique que les élèves interrogés se représentent essentiellement la situation à expliquer non pas en termes de détermination de « positions relatives » mais en termes de détection de « contact absolu ».

6.4.4. Les applications sont stockées en mémoire : pas si évident

Rappelons qu'un des objectifs de la deuxième question — « *dans quel composant du téléphone se trouvent les applications affichées à l'écran ?* » — était de faciliter aux élèves, en principe du moins, le passage de la première à la troisième question du questionnaire, à savoir « *comment le téléphone fait-il pour ouvrir précisément l'application sélectionnée ?* ». Néanmoins, au regard des résultats, nous ne sommes pas en mesure d'affirmer que notre intention se soit effectivement vérifiée : peu d'élèves associent dans une même réponse le fait que les applications sont stockées en mémoire (P_Mém) avec la position de l'icône la représentant et la position du doigt ayant touché l'icône en question (soit P_Mém + P_Doigt + P_Icône). Seulement 5 élèves parmi les 439 ont proposé une telle réponse.

Sans pour autant faire le lien entre la position relative doigt-icône, certains élèves « expliquent » toutefois que le téléphone ne se trompe jamais d'application à afficher, parce que ces dernières sont enregistrées « en mémoire » (39 élèves ; 9 %). Néanmoins, faute de proposer les explications précédentes, tout comme pour la première question, la plupart des élèves répondent à la troisième question soit par une lapalissade, soit en déclarant ne pas savoir. Les premiers « expliquent » que le téléphone ne se trompe jamais d'application à afficher car les icônes sont des « liens » ou des « raccourcis » (42 élèves ; 10 %). Toutefois, la réponse la plus fréquente à la troisième question reste malgré tout « je ne sais pas » (146

élèves ; 33 %).

L'étude N°4 suggère en ce sens que les élèves de 3e ici interrogés ont effectivement des difficultés à se représenter et, en cela, à conceptualiser la façon dont *un téléphone ouvre précisément l'application sélectionnée*. Plus précisément, les élèves de 3e de notre échantillon manifestent des difficultés pour mobiliser et lier les éléments d'information nécessaires à la solution de la question posée.

6.4.5. Les représentations associées par les élèves à la situation : une question de formulation

Nous avons déjà évoqué le fait que la première et la troisième question de cette étude s'expliquent toutes les deux en évoquant un argument commun : les élèves doivent prendre en compte la position relative du doigt par rapport à l'icône. Certains élèves suggèrent ou explicitent un de ces paramètres (soit « P_Doigt », soit « P_Icône »), tandis que d'autres évoquent les deux paramètres à la fois (« P_Doigt + P_Icône »). Or il est remarquable qu'en fonction de la question à laquelle ils sont confrontés — au sein d'un même échantillon soumis à une situation analogue —, les élèves explicitent ou suggèrent davantage l'un de ces paramètres (voir Tableaux 19 et 23).

On constate, en effet, que la prise en compte, par les élèves, de la position du « doigt » et de la position relative « doigt-icône » dépend ici de la formulation de la question à laquelle les élèves sont confrontés. Toutefois, quelle que soit la formulation de la question, on observe que la prise en compte de la « position des icônes » est relativement constante.

Ainsi :

1. Lorsque les élèves répondent à la première question du questionnaire, 9 d'entre eux explicitent ou suggèrent la « position relative doigt-icône » (P_Doigt + P_Icône) ; lorsque les mêmes élèves répondent à la troisième question, 27 explicitent ou suggèrent le même paramètre.
2. Lorsque les élèves répondent à la première question de questionnaire, 34 d'entre eux explicitent ou suggèrent la « position du doigt » (P_Doigt) ; lorsque les mêmes élèves répondent à la troisième question, 15 explicitent ou suggèrent le même paramètre.
3. Que les élèves répondent à la première ou à la troisième question du questionnaire, la position des icônes (P_Icône) est suggérée ou explicitée par un nombre très proche d'élèves (40 et 33 respectivement).

Alors que les deux questions interrogent, au fond, une même situation, tout se passe comme si face à la question « *comment le téléphone détermine si le doigt est sur l'icône* » (Q.1),

l'analyse des élèves tiendrait spontanément compte soit de « la position du doigt », soit « de la position des icônes », mais pas des deux éléments la fois. En revanche, si on demande aux élèves « *comment le téléphone ouvre précisément l'application sélectionnée* », l'analyse des élèves tiendrait davantage compte de la position des deux éléments de l'interaction, à savoir le doigt et l'icône.

Ces résultats semblent indiquer que la formulation de chacune des questions présentées aux élèves les a amené à conceptualiser différemment la situation proposée, à savoir la détermination de la position relative doigt-icônes. De ce point de vue, il semble donc que la troisième question de cette enquête, par contraste avec la première soit plus favorable pour induire chez l'élève une représentation le conduisant à analyser la situation en combinant à la fois la position d'icônes et la position du doigt (P_Doigt + P_Icône).

Pour ces motifs, l'étude N°4 peut seulement se conclure en affirmant que les élèves de 3e interrogés se représentent la détermination de la position relative doigt-icône principalement en termes de « détection absolue » et pas en termes de « position relative ». Or, l'étude N°4 ne peut cependant conclure quel est le paramètre à partir duquel les élèves conceptualisent la détermination de la position relative du doigt par rapport aux icônes. En outre, en raison du faible nombre de réponses ayant pris en compte le paramètre position, on peut également se demander si, effectivement, les élèves ne se représentent pas et ne conceptualisent pas la situation qui leur est présentée en termes de « position », ou si la formulation de la question fait obstacle et rend difficile une telle représentation.

C'est pour cette raison que nous avons conçu une cinquième étude. Cette dernière cherche à confirmer ou à infirmer certains des résultats précédents ainsi qu'à déterminer à partir de quel(s) paramètre(s) — P_Doigt ; P_Icône ; P_Doigt + P_Icône — les élèves de 3e se représentent la situation ici proposée, à savoir la détermination de la position relative du doigt-icône.

Chapitre 7. Étude N°5 : comment le téléphone « sait » que le doigt est bien sur l'icône ?

7.1. Introduction

Le but de cette cinquième et dernière étude est de préciser certains des résultats obtenus à partir des questions proposées aux élèves dans l'étude précédente (cf. étude N°4). Nous nous intéressons ici plus précisément aux paramètres ou « informations » qui selon les élèves sont traités par les dispositifs tactiles afin de déterminer la position du doigt sur l'écran. La présente étude se fonde ainsi sur la modification, voire la simplification de la question proposée aux élèves lors de l'étude précédente — « comment le téléphone fait-il pour « savoir » si le doigt est bien (ou pas) sur l'une des icônes ? » (cf. étude N°4).

Par « simplifier la question », nous entendons ici proposer aux élèves une formulation conduisant leurs analyses et donc leurs réponses à n'expliciter que ces informations dont le téléphone aurait besoin pour déterminer « si le doigt se trouve bien sur l'une des icônes » (cf. Questionnaire étude N°5). Nous tenons donc à inhiber, encore une fois, les réponses évidentes exprimées en termes de « procédures » — l'écran détecte la doigt — ou en termes de « composants » — parce qu'il y a des capteurs — et, notamment, les rappels à l'« évidence » — il faut toucher l'icône — recueillis dans l'étude N°4.

Le nouveau questionnaire est composé cette fois d'une seule question. Cette dernière est proposée au même échantillon d'élèves — à l'exception d'un collège qui n'a pas participé — et demande clairement à ces derniers d'expliciter quelles sont selon-eux le(s) information(s) que doit prendre en compte un dispositif à écran tactile pour déterminer si le doigt se trouve bien sur l'une des icônes.

7.2. Méthodologie

7.2.1. Échantillon

Au total, 388 élèves de classes de 3e ont participé à l'étude N°5. Il s'agit d'une partie — un collège en moins— des 439 élèves ayant déjà participé à l'étude N°4.

Quatre des cinq collèges ayant participé à l'étude précédente font, en effet, partie de cette étude : collège « Ariane », situé à Argenteuil (74 élèves) ; collège « Stéphane Mallarmé »,

situé dans le 17ème arrondissement de Paris (46 élèves) ; collège St. Vincent de Paul, situé dans le 13ème arrondissement de Paris (143 élèves) ; et le collège « Saint-Dominique » situé à Neuilly sur Seine (125 élèves).

7.2.2. Présentation du questionnaire

Le questionnaire proposé aux participants de l'étude N°5 se compose d'une seule question.

Les dispositifs tactiles sont programmés pour ne réagir que si l'on touche sur l'une des icônes.

Répondez à la question suivante

Selon vous, quelles informations le téléphone doit-il prendre en compte pour « savoir » si le doigt est bien posé sur l'une des icônes ?

Le téléphone doit prendre en compte :

- **une** seule information, à savoir : _
- **deux** informations, à savoir : _
- **trois** informations, à savoir : _

Nous supposons ici que les élèves de 3e interrogés sont capables de développer une bonne compréhension de la question pour cibler ainsi ce qui leur est demandé. Le cas échéant, les élèves doivent réaliser qu'il ne s'agit pas de dire « comment » le téléphone « sait » que le doigt est (ou pas) sur l'écran, c'est-à-dire d'argumenter « comment le téléphone ''sait'' qu'il a été touché. Il s'agit d'expliciter ce que doit « connaitre » le téléphone comme information pour déterminer si le doigt est (ou pas) sur l'une des icônes.

La réponse à la question ainsi posée est quasi-identique à celle qu'on attendait dans la première question de l'étude N°4, à savoir la mise en relation de la « position du doigt » avec la « position de l'icône » : si les deux informations coïncident alors le doigt est sur l'icône. Les informations que le téléphone doit prendre en compte pour savoir si le doigt est sur l'une des icônes sont les paramètres : position du doigt (P_Doigt) et position des icônes (P_Icône). Si l'élève explicite ces deux éléments, alors sa réponse peut être considérée comme « correcte » en ce sens où il a fourni les informations demandées.

Notons, enfin, que parmi les trois options, la première est la plus éloignée de la réponse considérée ici comme « correcte » : une seule information ou paramètre n'est pas suffisant pour que le système-téléphone puisse déterminer si le doigt est (ou pas) sur l'icône. Ce type de réponse montre aussi que l'élève n'a pas encore bien conceptualisé la notion de

« position ».

La troisième option du questionnaire — « trois informations » — a été rajoutée en prévision des réponses voulant préciser, en plus des positions relatives doigt-icônes, d'autres éléments, comme le temps d'interaction par exemple. Bien qu'une réponse avec trois éléments n'est pas stricto sensu correcte, elle nous fournira toutefois d'autres éléments d'analyse, comme par exemple le nombre d'élèves qui se représentent la situation avec trois éléments de réponse.

7.2.3. Procédure

La passation des questionnaires a suivi le même protocole que dans l'étude précédente : elle a été prise en charge par les enseignants de technologie des collèges respectifs ; la seule consigne donnée à ces derniers consistait à lire la question aux élèves et les motiver à répondre. En revanche, vu qu'il s'agit d'une seule question dans laquelle l'élève n'a qu'à écrire trois mots au maximum, le temps maximal de passation a été réduit de 5 minutes, c'est-à-dire que les élèves ne disposaient de maximum 10 minutes pour répondre à la question.

7.2.4. Analyse des réponses

Comme pour les études précédentes, l'ensemble des réponses ont été recodées selon des analyses lexicométriques et de contenu thématique avec l'assistance du logiciel Modalisa. Les deux méthodes nous ont permis de réaliser des statistiques, des mots, des termes et des idées les plus fréquentes.

Par exemple, prenons le cas d'un élève qui répond dans l'item (b) « deux informations » et selon lequel les deux informations en question sont : « l'emplacement des icônes et si ce qui touche est tactile ». Cette réponse a été codée ainsi :

— P_Icône ; SCQTT ; (2) —

Si un autre élève choisit l'option (a) – « une information » - et propose comme information : « si le doit touche l'écran », nous avons codé la réponse ainsi :

— SDTE ; (1) —

Le nombre entre parenthèses correspondent au nombre d'informations fournies par l'élève dans sa réponse. Les sigles « SCQTT » et « SDTE » ne se justifient que parce qu'elles condensent le texte de l'élève et permettent de gagner ainsi du temps lors de la saisie des réponses.

Les réponses ainsi saisies et codés dans Modalisa sont ensuite soumises à des analyses lexicales. Ces dernières permettent de réaliser des analyses statistiques de l'ensemble des

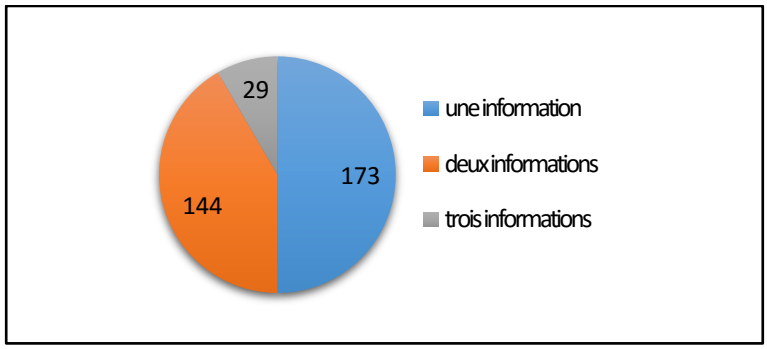
catégories ainsi construites (voir Tableau 24).

7.3. Analyse des réponses : résultats étude N°5

Parmi les 388 élèves interrogés, 42 n'ont pas fourni de réponse à la question posée. Nous comptons donc avec les réponses de 346 élèves, ce qui correspond à un taux de réponses de 89%.

De manière générale, le premier élément à souligner suite à l'analyse de l'ensemble des propositions (346), c'est qu'un nombre très important d'élèves répond à la question en choisissant l'option (a) « une information » (176 élèves), c'est-à-dire en ne proposant qu'un seul élément de réponse (voir Figure 18).

Figure 18. Nombre d'élèves ayant citée soit une, soit deux, soit trois informations.



En effet, la figure ci-dessus montre que parmi les 346 élèves ayant effectivement répondu la question, la moitié d'entre eux (173 ; 50 %) considère que le téléphone « sait » si le doigt est sur l'icône en prenant en compte une seule information. Celle-ci peut être :

Q.N°15 *: « le contact du doigt ».*

Q.N°23 *: « la chaleur de la peau ».*

Q.N°54 *: « si c'est un truc humain ».*

Q.N°86 *: « si le doigt est posé sur l'écran ».*

Q.N°81 *: « si c'est la peau ».*

Un deuxième groupe légèrement moins important que le précédent (132 élèves ; 42 %), juge que le téléphone doit prendre en compte « deux informations » pour savoir si le doigt est bien sur l'icône. Les deux informations envisagées par ce groupe sont très hétéroclites. Celles-ci peuvent être :

Q.N°114 *: « la chaleur de la peau (Ch) et la localisation du doigt (P_Doigt) ».*

Q.N°155. *« si le doigt touche l'écran (SDTE) et où il est »(P_Doigt).*

Q.N°198 *: « si le doigt est sur l'écran (SDTE) et si c'est de la peau (SCP) ».*

Q.N°214 *: « la position géographique du doigt (P_Doigt) et si il est bien posé sur l'écran (SDTE) ».*

Q.N°230 *: « s'il touche l'icône (SDTI) et le temps qu'il appui (Tp) ».*

Q. N°321 *: « l'endroit où le doigt touche (P_Doigt) et la zone où se trouve l'icône (P_Icône) ».*

Enfin, une minorité d'élèves (29 ; 8%) jugent que le téléphone doit prendre en compte « trois informations » pour savoir si le doigt est bien sur l'icône. Ces informations sont également très hétéroclites et peuvent être :

Q.N°42 *: « si le doigt est posé (SDTE), où il est posé (P_Doigt) et combien de temps il est posé (Tp) ».*

Q.N°57 *: « le contact (SDTE), l'ouverture de l'application (Ov) et la chaleur du doigt (Ch) ».*

Q.N°87 *: « la pression du doigt(Pr), la chaleur (Ch) et l'endroit où le doigt touche » (P_Doigt).*

Q.N°112 : *« la chaleur (Ch), l'emplacement (P_Doigt) et le temps du doigt posé sur l'écran (Tp) ».*

Nous constatons que, au-delà du nombre d'éléments cités dans leurs réponses — un, deux ou trois éléments —, les « informations » que les élèves y associent sont extrêmement variées, voire disparates. Celles-ci peuvent, en effet, être la « texture du doigt », « l'endroit où le doigt se pose », « si c'est humain », « si c'est un doigt », le « temps d'appui », etc. (voir Tableau 24).

7.3.1. Premier recodage des réponses : étude N°5

Nous allons à présent exposer en détail les « informations » explicitées par les élèves afin de répondre à la nouvelle question, à savoir « *quelles informations le téléphone doit prendre en compte pour déterminer si le doigt se trouve bien sur l'icône* ».

Face à cette question, les élèves proposent un grand nombre de réponses, les plus fréquemment rencontrées sont exposées dans le tableau ci-dessus.

Tableau 24. "Quelles informations doit le téléphone prendre en compte ... ?". Contexte général. Premier recodage

	Effectifs	Fréquence
La Position du Doigt	**111**	**32**
Est-ce que le doigt touche l'écran ?	71	21
La Pression du Doigt	54	16
La Chaleur du Doigt	50	14
Quelle est l'Appli Touchée	29	8
La Position de l'Icône	**27**	**8**
Est-ce que le Doigt Touche l'Icône ?	26	8
L'empreinte du Doigt	26	8
Position Icône+ Position Doigt	**20**	**6**
Quel est le Capteur Touché	16	5
Si c'est un Truc Tactile	11	3
Le Temps d'Appui	10	3
Si c'est la Peau	10	3
L'électricité du Doigt	6	2
Si c'est Programmé	6	2
La Matière du Doigt	5	1
La Forme du Doigt	4	1
La Température du Doigt	4	1
La texture du Doigt	4	1
Le Mouvement du Doigt	4	1
Si c'est un Conducteur Elect.	3	1
...	...	...

Interrogés : 388 / Répondants : 346 / Pourcentages calculés sur la base des répondants.

Les catégories d'une même couleur partagent toutes un même noyau explicatif.

Lecture : 111 élèves répondent à la question en affirmant qu'une des informations prises en compte par le téléphone est la position du doigt. Ces réponses représentent 32% du total des propositions recueillies.

Les réponses codées dans le tableau ci-dessus, doivent être mises en parallèle avec celles codées dans le tableau 19, correspondantes à la question principale de l'étude N°4 — question équivalente à celle qu'on traite ici. De manière générale, la comparaison des tableaux montre que, bien qu'on ait interrogé les mêmes élèves sur une même situation, on obtient deux univers de réponses très distincts l'un de l'autre — nous verrons plus loin dans le texte que la variété de réponses codées dans le tableau ci-dessus (Tableau 24) renvoie à certaines des catégories des réponses recueillies dans l'étude N°4 (Tableau 19).

Plus remarquable encore, les résultats affichés dans le tableau 24 montrent que, contrairement aux propositions recueillies lors de l'étude N°4, l'élément de réponse les plus évoqué pour répondre à la question de l'étude N°5 est bien le paramètre « position du doigt » : 111 sur les

346 élèves interrogés affirment qu'une des informations dont le téléphone a besoin pour savoir si le doigt est sur l'une des icônes est effectivement la position du doigt (P_Doigt).

Notons que les élèves de ce groupe peuvent proposer, soit l'information « P_Doigt » seulement, soit cette dernière suivie d'une ou deux « informations » supplémentaires. Ainsi, parmi les 111 élèves de cette catégorie, 39 ne proposent que l'information « P_Doigt », 57 élèves en rajoutent une autre et 15 élèves en rajoutent deux autres. C'est le cas de cet élève qui propose trois informations dont l'une est effectivement la position du doigt :

> ***Q.N°87*** *: « la pression du doigt (Pr), la chaleur (Ch) et l'endroit où le doigt touche » (P_Doigt).*

Rajoutons enfin que parmi les 111 élèves ayant cité la P_Doigt, seulement 20 élèves d'entre eux vont l'associer avec la « position de l'icône » (voir ligne 9 du Tableau 24) ; 14 élèves vont l'associer avec « la pression du doigt » ; 11 élèves vont l'associer avec « le temps de réaction » et 9 élèves rajouteront « la chaleur du doigt ».

Le tableau 24 montre aussi que parmi les 346 élèves ayant répondu à la question, une partie non négligeable (21 %) répond à la question en affirmant qu'une des informations à prendre en compte par le dispositif est « si le doigt touche l'écran ». C'est-à-dire que selon les 71 élèves de ce groupe, pour déterminer si le doigt se trouve bien sur l'icône, le téléphone doit « savoir » si le doigt « est posé » sur l'écran.

Parmi les 71 élèves de ce groupe, 43 ne proposent que cette information, 24 en rajoutent une autre et 4 en rajoutent deux autres. Ainsi, par exemple, 10 élèves nous disent que le dispositif doit prendre en compte « si le doigt touche l'écran et la chaleur du doigt » et 12 élèves répondent que le dispositif doit prendre en compte « si le doigt touche l'écran et la position du doigt ».

Notons que cette catégorie de réponses — « Est-ce que le doigt touche l'écran ? » — est proche de celle codée dans la septième ligne du tableau 24 — « Est-ce que le doigt touche l'icône ? ». En effet, les 26 réponses codées dans la septième catégorie du tableau 24, nous disent que pour déterminer si le doigt se trouve sur l'icône, le téléphone doit « savoir » si le doigt « est posé » sur l'icône. Selon les 87 élèves appartenant à ces deux catégories, l'information à prendre en compte par le dispositif se déduit effectivement de la question « est-ce que le doigt touche ? », voire « est-ce que le doigt est posé ? ».

Les résultats exposés dans le tableau 24 viennent aussi confirmer certains des résultats des études précédentes, à savoir que la sensibilité des écrans tactiles est principalement associée à des phénomènes thermiques et/ou mécaniques (catégories 3 et 4). Une partie des répondants

affirme, en effet, que pour savoir si le doigt se trouve sur l'icône, les informations dont le système a besoin sont la « chaleur du doigt » (62 élèves) et la « pression du doigt » (50 élèves) — on parle aussi de « chaleur humaine », de « chaleur de la peau ». C'est le cas des réponses suivantes :

***Q.N°97** : Deux informations : « la chaleur de la peau et la localisation du doigt ».*

***Q.N°296 :** Deux informations : « la chaleur humaine et la détection du doigt ».*

Les réponses de ces deux catégories sont à rapprocher de toutes les réponses codées dans les catégories soulignées en bleu dans le tableau 24. Les réponses codées dans ces catégories, affirment toutes, en effet, qu'une des informations qui permettrait au téléphone de déterminer si le doigt se trouve sur l'une des icônes, est soit une caractéristique soit une grandeur associée aux doigts : l'empreinte, la matière, la texture, la pression, la chaleur, l'électricité, la forme… du doigt. Le fait est, que pour tous ces élèves, l'information à prendre en compte est à prélever dans le doigt et découle en ce sens de la question « qu'est-ce qui peut être détecté chez le doigt ? »

Le tableau 24 met aussi en évidence que pour un nombre réduit d'élèves l'information en question peut être « quelle est l'application touchée » (26 élèves). Cette réponse est à rapprocher de la réponse « quel est le capteur touché ». En effet, selon les élèves ayant répondu ainsi, l'information à prendre en compte pour savoir si le doigt est sur l'icône découle de la question « qui a été touché ? » par le doigt.

Enfin, pour certains élèves, l'information à prendre en compte renvoie à la question « est-ce qu'il peut faire réagir l'écran ? », c'est-à-dire, est-ce que « c'est tactile ? » (11 élèves), est-ce que « c'est de la peau ? » (10 élèves), est-ce que « c'est conducteur électrique ? » (3 élèves).

7.3.2. Deuxième recodage des réponses : étude N°5

Compte tenu du fait que les « informations » proposées par les élèves sont très nombreuses (plus de 21 catégories) et afin de faciliter l'analyse de ces dernières, nous avons donc réalisé un deuxième recodage de manière à regrouper, dans une même catégorie, toutes ces réponses partageant un même noyau explicatif. Les réponses en question sont celles codées dans le tableau 24 avec le même code couleur.

Les nouvelles catégories ainsi recodées sont affichées dans la tableau ci-dessous (voir Tableau 25). Chacune de ces dernières a été nommée en lui donnant la forme d'une interrogation. Le tableau en question montre donc que les principales catégories autour desquels gravitent les réponses des élèves sont : « Qu'est-ce qui peut être détecté dans le doigt ? » (165 élèves) ;

« Quelle est la position du doigt ? » (111 élèves) et « Est-ce que le doigt touche effectivement ? » (97 élèves).

Dans cet ordre d'idées, les élèves ayant proposé des réponses comprises dans les catégories soulignées en bleu dans le tableau 24, considèrent tous qu'une des informations à prendre en compte par le téléphone afin de déterminer si le doigt est sur l'icône, est « quelque chose » susceptible d'être détecté dans le doigt — la masse, la texture, la forme, la pression, la chaleur, etc. Les 165 réponses (48%) de cet ensemble ont été regroupées dans la catégorie « Qu'est-ce qui peut être détecté dans le doigt ? ».

Tableau 25. "Quelles informations doit le téléphone prendre en compte ... ?". Deuxième recodage.

	Effectifs	Fréquence
Qu'est-ce qui peut être détecté dans le doigt ?	165	48 %
Quelle est la position du doigt ?	111	32 %
Est-ce que le doigt a été détecté?	97	28 %
Qu'est-ce qui est touché par le doigt ?	45	13 %
Quelle est la position de l'icône ?	27	8 %
Est-ce qu'il peut faire réagir, l'écran ?	23	7 %
Quelle est la position de l'icône et la position du doigt ?	20	6 %
Quel est le temps d'appui ?	10	3 %

Interrogés : 388 / Répondants : 346 / Pourcentages calculés sur la base des répondants

Lecture : 165 élèves des 346 répondants considèrent que les informations prises en compte par le téléphone pour savoir si le doigt est sur l'icône sont issues des réponses à la question « quels sont les attributs du doigt ? ». Ce type de réponses est proposé par 48 % des répondants.

Les catégories soulignées en rouge dans le tableau 21 contiennent les réponses de ces élèves qui considèrent qu'une des informations à prendre en compte par le dispositif pour savoir si le doigt est sur l'icône est « si le doigt touche effectivement », c'est-à-dire « est-ce qu'il touche l'écran ? » ou « est-ce qu'il touche l'icône ? ». On constate que derrière ces deux questions se trouve une autre plus fondamentale, à savoir *est-ce que le doigt est effectivement détecté* ? Nous avons donc regroupé les 97 réponses de ce type dans la catégorie « Est-ce que le doigt a été effectivement détecté ? ».

Les deux catégories soulignées en gras dans le tableau 24 rassemblent les réponses des élèves qui répondent à notre question en disant que l'information à prendre en compte par le téléphone est « ce qui a été touché par le doigt ». Pour les 45 élèves de cette catégorie, plutôt que « où est-ce que le doigt touche ? », la question qui guide les réponses est « qu'est-ce qui est touché par le doigt ? ».

Les 23 réponses de la catégorie « Est-ce que l'écran réagira ? » correspondent aux réponses de ces élèves qui nous disent qu'une des informations à prendre en compte par le téléphone c'est la capacité du doigt (ou autre) de faire réagir l'écran tactile.

Enfin, la dernière catégorie contient 6 réponses d'élèves qui proposent d'inclure « le temps d'appui » du doigt dans les informations que le téléphone doit générer pour savoir si le doigt est sur l'icône.

7.4. Discussion des résultats relatifs à l'étude N°5

L'étude N°5 s'inscrit dans la continuité de l'étude N°4, toutes deux s'intéressant aux représentations et à la manière dont les élèves d'un même échantillon de 3e conceptualisent la façon dont un Smartphone tactile détermine si le doigt se trouve (ou ne se trouve pas) sur l'une des icônes affichées. En plus de chercher à valider ou infirmer certains des résultats de l'étude N°4, l'étude N°5, en particulier, visait à déterminer au regard de quel(s) paramètre(s) — P_Doigt ; P_Icône ; P_Doigt + P_Icône — les élèves de 3e conceptualisent la détermination de la position relative doigt-icône.

7.4.1. La position est toujours relative à… : première difficulté rencontrée par les élèves

388 élèves ont ici répondu à la question « *quelles informations le téléphone doit-il prendre en compte pour "savoir" si le doigt est bien posé sur l'une des icônes ?* ».

Les élèves interrogés avaient le choix entre une, deux ou trois informations à proposer. Le premier résultat à souligner tient précisément à ce choix.

Il est remarquable, en effet, que parmi les 346 élèves ayant effectivement répondu à la question, 173 d'entre eux ont fait le choix de proposer « une information ». D'après ces élèves donc, pour « savoir » si le doigt est bien posé sur l'une des icônes, le téléphone ne doit prendre en compte qu'une seule information. Les informations citées sont diverses (voir Tableau 24). Au-delà du contenu spécifique des informations effectivement proposées, ce résultat indique qu'une proportion importante des élèves de 3e interrogés (50 %) n'a pas encore conceptualisé la notion de position comme étant une grandeur « relative ».

Ce résultat met donc en exergue une première difficulté rencontrée par les élèves afin de répondre à la question : répondre convenablement à la question de l'étude N°5 exige, implicitement, de savoir la position d'un point de l'espace s'exprime par rapport à un autre point de l'espace. L'élève qui ignorait cet aspect n'était donc pas en mesure de bannir le

premier item du questionnaire : « une information ». Cette première difficulté peut être considérée comme un obstacle épistémologique empêchant l'élève d'accéder à une conceptualisation opérante de la situation dont il est question ici. Néanmoins, cet obstacle ne renvoie pas directement à leurs représentations ou leurs conceptualisations du fonctionnement des systèmes numériques mais à leurs connaissances en physique ou en mathématique.

Une autre partie non-négligeable des élèves interrogés (144 sur 346) a toutefois fait le choix de proposer « deux informations ». On a vu néanmoins que le couple d'informations effectivement citées par ce groupe d'élèves ne correspond pas pour autant aux informations attendues, à savoir P_Doigt + P_Icône. Au contraire, l'analyse lexicométrique des réponses a révélé qu'un nombre très réduit des élèves de 3e propose, dans une même réponse, les informations « position du doigt » et « position de l'icône », soit 20 élèves sur les 388 interrogés (5 %). Ce résultat montre qu'un nombre très réduit d'élèves de 3e se représente et conceptualise la détermination de la position du doigt sur l'écran par rapport à l'icône en évoquant, dans une même réponse, à la fois la position du doigt et la position des icônes, soit P_Doigt + P_Icône.

7.4.2. Ce qui compte c'est la détection du doigt

Lorsque les élèves proposent les informations qui selon eux, le téléphone doit prendre en compte pour déterminer si le doigt est bien sur l'une des icônes, l'information la plus suggérée ou explicitée dans cette étude est la « position du doigt » (111 élèves ; 32 %) (voir Tableau 24).

Or, bien que la « position du doigt » soit l'information isolée la plus citée par les élèves de cette étude, elle ne constitue pas pour autant, après recodage, la catégorie de réponse la plus fréquente. L'analyse de contenu thématique de l'ensemble des propositions ici recueillies montre, en effet, que les informations les plus citées par les élèves sont celles associées, ou bien aux caractéristiques du doigt, ou bien aux éventuelles actions du doigt sur l'écran tactile (voir Tableau 24). Selon la plupart des réponses recueillies, une des informations dont le téléphone a besoin pour déterminer si le doigt se trouve sur l'icône, c'est donc « quelque chose » qu'il est en mesure de détecter le doigt : la « pression du doigt », la « chaleur du doigt », la « matière du doigt », la « texture du doigt, l' « électricité du doigt », etc.

Nous trouvons dans ce cas de figure les réponses de 168 élèves, soit 48 % de l'échantillon total (voir Tableau 25). On constate donc que la principale catégorie de réponses constituée dans l'étude N°5 ne renvoie pas au paramètre « position » mais renvoie à la question « *qu'est-*

ce qui peut être détecté dans le doigt ? ».

Ajoutons finalement qu'une proportion non-négligeable d'élèves (28 %), considère qu'une des informations à prendre en compte par le Smartphone afin de « savoir » si le doigt se trouve sur l'icône, est de savoir si le doigt « est posé ». Pour ce groupe de 95 élèves, l'information en question renvoie à la question « est-ce que le doigt a été effectivement détecté ? », c'est-à-dire aux questions « est-ce que le doigt touche effectivement l'écran ? » ou bien « est-ce que le doigt touche effectivement l'icône ? » (voir Tableau 24). Ce résultat confirme que c'est principalement la détection du doigt qui est l'élément de réponse ici repéré.

7.5. Conclusions générales relatives aux études N°4 et N°5 :

Il a déjà été évoqué que les résultats de l'étude N°5 viennent compléter ceux de l'étude N°4. Sur ce point donc, on se doit de les comparer.

Précisons que l'examen comparé des résultats des études N°4 et N°5 ne tiendra compte que du nombre d'élèves ayant participé aux deux études, soit 388 élèves. De plus, en raison de la variété importante des réponses recueillies dans chacune des études, la comparaison ne portera que sur le nombre d'élèves ayant pris en compte, dans leur réponse, le paramètre « position », c'est-à-dire « P_Doigt », « P_Icône », « P_Doigt + P_Icône ».

Bien que les études N°4 et N°5 aient interrogé un même échantillon d'élèves à propos d'un même processus ou d'une même situation, notons que les réponses obtenues dans chacune des études visaient deux questions dont les formulations étaient différentes :

- Étude N°4 : « *comment le téléphone fait-il pour "savoir" si le doigt est bien (ou pas) sur l'une des icônes ?* »
- Étude N°5 : « *quelles informations le téléphone doit-il prendre en compte pour "savoir" si le doigt est bien posé sur l'une des icônes ?* »

Remarquons donc qu'en dépit de l'uniformité de la situation soumise aux élèves et de l'échantillon des répondants, le contenu des réponses recueillies dans chacune des études est fondamentalement distinct, voire disparate (voir tableaux 19 et 23). Il s'agit là d'un résultat qui ne peut être expliqué qu'au regard du fait que les deux questions présentent des formulations différentes. Ce résultat suggère notamment que les élèves de 3e interrogés (deux fois) sont, en réalité, très démunis par rapport au sujet dont il est question ici : alors qu'ils répondent deux fois à une même question, de notre point de vue, ils fournissent des arguments

très contrastés (voir tableaux 19 et 24).

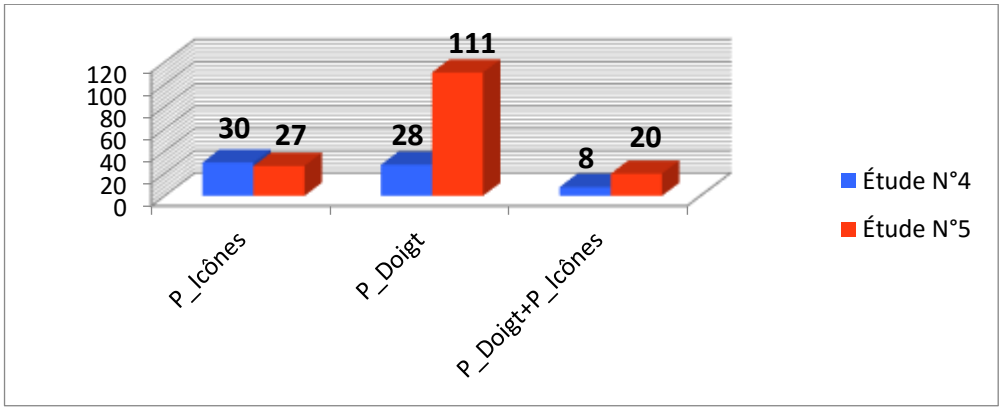
La remarquable diversité des réponses recueillies dans les études 4 et 5 ainsi que leur écart par rapport au sujet proposé suggèrent surtout que l'échantillon d'élèves de 3e interrogés ne dispose pas des outils d'analyse (représentationnels, conceptuels) pour faire face à la situation à propos de laquelle ils ont été interrogés. Ce résultat confirme donc l'idée que, malgré leur relation avec ces dispositifs, la situation et le sujet proposé aux élèves sont loin de constituer des évidences dans cet échantillon de 3e.

7.5.1. Les représentations de la situation en fonction de la forme de la question : la prise en compte des différents paramètres.

Intéressons-nous maintenant au nombre d'élèves ayant suggéré ou explicité la position d'un ou des deux éléments de l'interaction — soit la position du doigt (P_Doigt), soit la position de l'icône (P_Icône), soit la position du doigt et de l'icône (P_Doigt + P_Icône) — dans chacune les études N°4 et N°5. La figure 19 (voir ci-dessous) permet de comparer ces éléments et met en évidence qu'ils sont particulièrement différents dans chacune des études.

La figure 19 montre que, lorsque l'échantillon est confronté à la question de l'étude N°5, une proportion importante d'élèves (111/388) suggère ou explicite effectivement la « position du doigt » (P_Doigt). Or la figure 19 montre, en revanche, que lorsque le même échantillon d'élèves répondait à la question de l'étude N°4, seule une faible proportion d'élèves (28/388) prenait en compte le même paramètre, à savoir « P_Doigt » : la prise en compte de la « position du doigt » semble être fortement influencée par la forme de la question.

Figure 19. Nombre d'élèves ayant répondu en termes de "position" dans les études N°4 et N°5.



Lecture : 28 élèves ont explicité ou suggéré la « position du doigt » (P_Doigt) dans l'étude N°4 ; 111 élèves ont explicité ou suggéré la « position du doigt » (P_Doigt) dans l'étude N°5.

La figure 19 montre également que, face à la formulation de la cinquième étude, le nombre

d'élèves ayant pris en compte, dans une même réponse, à la fois la position du doigt et la position des icônes (P_Doigt + P_Icône) est légèrement plus important que dans l'étude N°4. La prise en compte et l'association, dans une même réponse, de la « position du doigt et de la « position des icônes » semble être sensiblement influencées par la forme de la question posée. En revanche, la formulation de la question dans les deux études n'a guère modifié la proportion d'élèves prenant en compte le paramètre P_Icône : la prise en compte de la « position des icônes » ne semble pas être influencée par la forme de la question.

Ces éléments semblent donc confirmer (cf. Discussion des résultats de l'étude N°4) d'une part que conceptualiser la situation proposée en termes des paramètres « P_Doigt + P_Icône » ou du paramètre « P_Doigt » dépend, dans notre échantillon, de la forme de la question posée et, d'autre part, conceptualiser la situation en termes du paramètre « P_Icône » ne dépend pas, dans notre échantillon, de la forme de la question posée. De manière plus précise, ces résultats suggèrent que : (a) la proposition « *le dispositif connait la position du doigt* » semble être plus proche de l'univers représentationnel des élèves de 3e que la préposition « *le dispositif connait la position des icônes* » ; (b) certaines formulations facilitent chez les élèves une conceptualisation de la situation à la fois en termes de position du doigt et de position des icônes (P_Doigt + P_Icône).

7.5.2. La position du doigt comme le paramètre le plus évident pour les élèves

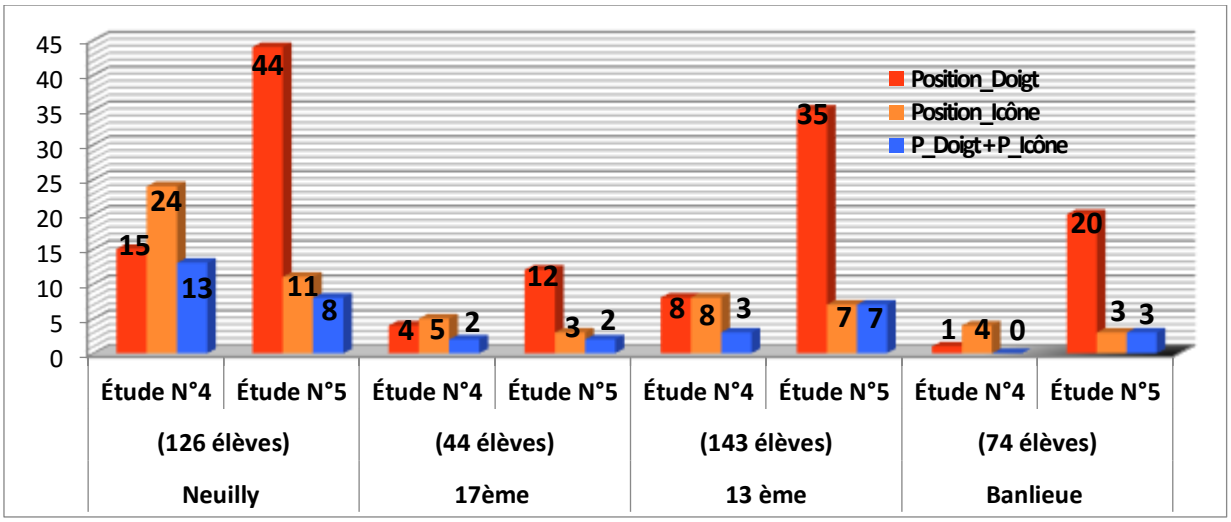
Toutes choses égales par ailleurs, la différence fondamentale entre les résultats des deux enquêtes N°4 et N°5 réside, on l'a vu, dans la prise en compte de la « position du doigt ». La figure 19 montre effectivement que la deuxième formulation proposée aux élèves (étude N°5) induit, chez ces derniers, une conceptualisation de la situation intégrant davantage le paramètre « position du doigt ». Or la figure 19 n'affiche que les réponses de l'ensemble de l'échantillon, tous collèges confondus. Notre échantillon est néanmoins composé de cinq collèges dont la population d'élèves manifeste des caractéristiques scolaires et sociologiques très contrastées. Le collège privé de Neuilly (126 élèves), par exemple, accueille une population particulièrement aisée, dont les indicateurs académiques et socio-économiques le distingue par rapport aux autres collèges participant à l'étude, notamment des deux collèges de banlieue parisienne.

À cet égard, la question que l'on peut se poser désormais est de savoir si la distribution des réponses illustrée dans la figure 19 se vérifie également dans chacun des collèges pris isolément. Ou, au contraire, on peut se demander si la nouvelle distribution des réponses —

notamment la prise en compte du paramètre P_Doigt — doit être rattachée à la contribution des effectifs d'un des collèges de notre échantillon.

La figure 20 (ci-dessous) expose ainsi l'ensemble des réponses prenant en compte le paramètre « position » par collèges et par études.

Figure 20. Prise en compte du paramètre "position" par études et par collèges.



La figure 20 met en évidence que la supériorité du nombre d'élèves ayant suggéré ou explicité le paramètre « position du doigt » en réponse à la question de l'étude N°5 (barres rouges) se vérifie systématiquement dans chacun des collèges. On constate donc, qu'au-delà des caractéristiques définissant chacune des populations d'élèves, la formulation de la question de l'étude N°5 a eu pour effet d'accroître le nombre d'élèves ayant répondu en termes du paramètre « P_Doigt ». Le nombre d'élèves ayant pris en compte la position des icônes restant relativement constant dans chacune des études, l'étude N°5 révèle donc que les élèves se représentent le processus de détermination de la position relative doigt-icône en intégrant notamment le paramètre « position du doigt ».

Compte tenu de ces résultats, force est de constater que l'échantillon d'élèves de 3e interrogé dans les études N°4 et N°5, conceptualise la façon dont les dispositifs tactiles déterminent et traitent des données relatives à la position du doigt (P_Doigt), plus facilement qu'il se représente le fait que ces dispositifs déterminent et traitent des données relatives à la position des icônes (P_Icône). Dit plus simplement : le fait que « le Smartphone sache où le doigt se trouve sur l'écran », semble être aux élèves de 3e un élément de réponse bien plus évident que le fait que « le Smartphone sache où se trouvent les icônes sur l'écran ». De ce point de vue donc, on peut faire l'hypothèse que lorsqu'un élève de 3e se verra confronté à notre question — « *comment un Smartphone détermine si le doigt est bien sur l'une des icônes* » — la

réponse la plus probable — éventuellement après certaines relances — sera donc « *car il sait où est le doigt* ».

7.5.3. La détermination de la position relative doigt-icône relève essentiellement, selon les élèves, de la « détection du doigt »

Les résultats de l'étude N°5 mettent en évidence que lorsqu'on modifie la question, les élèves suggèrent ou explicitent davantage le paramètre « position du doigt ». Ainsi, alors que l'étude N°4 montre que les élèves se représentent et conceptualisent la situation proposée en termes de « détection », l'étude N°5 semble indiquer que les élèves se représentent et conceptualisent la situation en question en termes de « position ».

En effet, mis à part les réponses particulièrement évidentes, la réponse la plus fréquemment recueillie dans l'étude N°4 affirmait que le téléphone « sait » que le doigt est sur l'icône car « il peut le détecter ». Un tiers des réponses, soit 148 élèves, ont été effectivement codées dans la catégorie « Car le doigt est détecté » (voir Tableau 19). Nous avons ainsi conclu l'étude N°4 en soulignant le fait que les élèves de 3e interrogés se représentent et conceptualisent le processus de détermination de la position relative doigt-icône comme relevant du bloc fonctionnel « Détection ».

Or, nous venons de voir que la réponse la plus fréquente dans l'étude N°5 est qu'une des informations dont le téléphone a besoin pour savoir si le doigt est sur l'icône est bien la « position du doigt ». Ce résultat est-il en contradiction avec la conclusion évoquée ci-avant ? L'étude N°5 montre-t-elle que les élèves de 3e interrogés conceptualisent le processus en termes de « position relative » ? La réponse est non. L'étude N°5 corrobore que les élèves de 3e conceptualisent la détermination de la position relative doigt-icône en termes de « détection absolue » et non pas en termes de « position relative ».

En effet, le recodage de l'ensemble des propositions recueillies dans l'étude N°5 (voir tableau 25) montre que ce n'est pas en terme de « position » que la majorité des 3e conceptualise la situation donnée, mais en termes de « caractéristiques » ou de « grandeurs » susceptibles d'être « détectées » dans le doigt. Ainsi, parmi la diversité d'« informations » citées par les élèves dans l'étude N°5, les plus fréquentes sont celles renvoyant à « quelque chose » que, selon eux, le téléphone détecte dans le doigt : cela peut être « la pression » du doigt (62 élèves), « la chaleur » du doigt (50 élèves), « l'empreinte » du doigt (26 élèves), etc. Au total, 146 élèves sont dans ce cas de figure, soit près de la moitié de l'échantillon (48 %).

Rajoutons à cela que, dans l'étude N°5, un nombre non négligeable d'élèves (97) considère

que l'information à prendre en compte pour le téléphone renvoie à « savoir » si le doigt est effectivement posé, c'est-à-dire à déterminer si le doigt « est effectivement détecté ».

Ainsi, bien que la position du doigt (P_Doigt) soit l'information la plus évoquée par les élèves, l'analyse détaillée des réponses met en évidence que les élèves de 3e interrogés conceptualisent la détermination de la positon relative doigt-icône en termes de « détection absolue ».

À cet égard, remarquons que les études N°4 et N°5 convergent vers une même idée, à savoir que pour rendre compte de la situation qui leur a été présentée — au-delà de la formulation proposée —, les élèves répondent, en substance, « en détectant », soit « le doigt » lui-même, soit « la chaleur », soit « la pression », soit « la texture », etc. C'est donc en évoquant le processus de détection que les élèves rendent compte de la manière dont le Smartphone tactile est capable de déterminer si un agent quelconque, lorsqu'il est posé sur sa surface, se trouve ou ne se trouve pas sur l'une des icônes.

Nous pouvons donc conclure les études N°4 et N°5 en affirmant que les élèves de 3e ici interrogés conceptualisent la détermination de la position relative du doigt par rapport aux icônes comme relevant essentiellement du bloc fonctionnel « Détection » et non pas, comme c'est le cas, du bloc fonctionnel « Traitement ». L'intérêt des études N°4 et N°5 réside justement dans ce qu'elles montrent, à partir d'une toute autre perspective, que l'étape « Traitement » n'est pas spontanément intégrée au modèle fonctionnel à partir duquel les élèves de 3e rendent compte du fonctionnement des dispositifs tactiles : que ce soit pour répondre à la question « *comment ça marche un écran tactile ?* » ou que ce soit pour expliquer « *comment le téléphone fait-t-il pour ''savoir'' si le doigt est sur l'une des icônes* », les élèves de 3e répondent « en détectant la chaleur et/ou la pression du doigt ». Il semblerait donc que les élèves de 3e se représentent le fonctionnement des Smartphones tactiles selon un schéma fonctionnel de type « Action/Détection ».

Chapitre 8. Synthèse des résultats et discussion générale

Inscrite dans un contexte sociotechnique particulièrement marqué par la présence des technologies dites numériques, cette recherche a pour but d'apporter quelques éléments d'intelligibilité relatifs aux conditions sous-tendant l'introduction de nouveaux contenus à l'école de base relatifs au fonctionnement d'objets et systèmes numériques contemporains. Or, du point de vue de la didactique, cela supposerait, en outre, de savoir ce que l'élève maitrise et connait déjà à propos de ces systèmes : quels organes, quelles relations et quels processus identifie-t-il dans ces dispositifs par exemple. La connaissance de ces éléments est déterminante dans le choix et la nature des situations à proposer aux élèves, en commençant par leur complexité, leurs buts, les éventuelles évaluations et en passant par la formulation des énoncés des activités. Et pourtant, en contraste avec l'actualité de la question, peu de travaux en didactique française de la technologie et des sciences ont effectivement abordé la question de savoir quel est le « déjà là » des élèves concernant le fonctionnement des artefacts numériques contemporains. Nous y avons donc identifié la nécessité d'une recherche.

De ce fait, notre problématique est celle du « déjà là » des élèves, à savoir *quelles sont les représentations et les conceptualisations sous-tendant la modélisation fonctionnelle des élèves relative au fonctionnement de systèmes numériques contemporains* ? Nous avons donc adopté une approche théorique prenant en compte d'une part les représentations des élèves – *les contenus de pensée mobilisés par les élèves afin de rendre compte du fonctionnement des systèmes numériques ici retenus* – et, d'autre part, les conceptualisations des élèves – *les relations, propriétés et organes identifiés par les élèves afin de rendre compte du fonctionnement des dispositifs qui leurs ont été présentés*. L'ensemble de ces éléments – représentations et conceptualisations – constituent dans le cadre de cette recherche les composantes phénoménologiques et phénoménotechniques sous-jacentes aux modèles – implicites – des élèves concernant le fonctionnement des systèmes numériques qui leur ont été ici proposés. La question est donc celle de la modélisation fonctionnelle.

Sur le plan épistémologique cette recherche part de l'hypothèse de travail que *la compréhension et la modélisation du fonctionnement des dispositifs numériques reposent sur une activité de représentation et de conceptualisation, le plus souvent implicite, à laquelle le rapport et les usages dont ces dispositifs font l'objet chez les élèves ne leur permettent pas d'accéder*.

Sur le plan méthodologique nous avons fait l'hypothèse que l'ensemble des réponses recueillies peuvent être corrélées, suite à un travail d'analyse, aux conceptualisations et aux

modélisations fonctionnelles des élèves à propos du fonctionnement des dispositifs numériques présentés. Une attention particulière a été dès lors accordée à l'incidence de la forme et du contenu des questions sur les représentations et les éléments de réponses explicités par les élèves — ce que nous avons appelé ici l'« effet de la question ».

Sur le plan méthodologique, en effet, il nous fallait tenir compte du fait que ni les représentations, ni les conceptualisations, ni les modélisations fonctionnelles des élèves à propos du fonctionnement des systèmes numériques nous sont directement accessibles. L'ensemble de ces catégories doivent être inférées à partir des propositions effectives des élèves. Or, d'une part les représentations se caractérisent, par définition, comme des contenus de pensée particulièrement situés et, d'autre part, nombre d'études montrent que les réponses des élèves varient en fonction des caractéristiques de surface de l'activité. Compte tenu de cette variabilité, il nous a fallu donc concevoir une démarche méthodologique nous permettant de repérer les invariants dans les réponses des élèves et de mettre en évidence les éventuels effets de l'énoncé sur leurs réponses. La méthode retenue a donc consisté à présenter aux élèves des énoncés avec différentes formulations pour les interroger sur une même situation. Il s'agissait donc de prendre en compte l'influence de la formulation de la question sur le choix et la relation entre les éléments de réponse proposés par les élèves. Les éléments de réponse systématiquement repérés constituent de ce fait nos principaux résultats. Nos principales conclusions se fondent de la sorte sur ces invariants.

8.1. Indication globale du nombre total d'élèves interrogés, de questionnaires analysés, des niveaux concernés et des objets investigués

Cinq études composent la présente recherche empirique. Au total, 1470 élèves ont été interrogés dans cette recherche. L'échantillon se compose principalement d'élèves de classes de 3e (894 élèves). Toutefois, certaines études interrogent des effectifs relativement importants de classes de 6e (222 élèves) ainsi que des lycéens (236 élèves). Des effectifs réduits de classes de 5e (64 élèves) et de classes de 4e (54 élèves) ont été également interrogés. Bien que le nombre total d'élèves ayant participé à cette recherche ne constitue pas un échantillon représentatif de l'ensemble de la population de collégiens, l'analyse de l'ensemble des réponses obtenues nous permet d'approcher néanmoins certains des traits caractéristiques de cette population face aux sujets proposés.

Les méthodes d'enquêtés mises en œuvre ont été des entretiens de groupe et des

questionnaires. 71 élèves ont participé à des entretiens de type focus groupe. Nos principaux résultats sont toutefois issus à la fois d'analyses lexicométriques et de contenu thématique réalisées sur un ensemble de 1787 questionnaires[66]. Il s'agit de l'analyse des réponses à des questions diverses : « *Comment fonctionne un TNI ?* » ; « *Comment fonctionne un écran tactile ?* » ; « *Comment un téléphone tactile détermine si le doigt se trouve ou ne se trouve pas sur l'une des icônes ?* » ; « *Dans quel composant du téléphone se trouvent les applications affichées à l'écran ?* » ; « *Comment un téléphone tactile ouvre précisément l'application touchée sans se tromper d'application à afficher ?* » ; « *Quelles informations le téléphone doit-il prendre en compte pour "savoir" si le doigt est bien posé sur l'une des icônes ?* ». Comme indiqué précédemment, l'hypothèse sous-jacente était que les réponses à ces questions, d'une part, peuvent être corrélées, suite à un travail d'analyse, aux représentations et aux conceptualisations des élèves à propos du fonctionnement des dispositifs numériques présentés et, d'autre part, aux modélisations fonctionnelles sous-jacentes.

8.2. Caractéristiques des études en fonction des caractéristiques des dispositifs proposés : relation artefactuelle *vs*. relation instrumentale

Rappelons que, bien que partageant un certain nombre de caractéristiques structurelles et fonctionnelles, les dispositifs à propos desquels nous avons interrogé les élèves sont néanmoins opposables sur plusieurs plans. En effet, d'un point de vue structurel, le Tableau Numérique Interactif est un « système éclaté », c'est-à-dire un système dont certaines des parties matérielles constituantes sont visibles et repérables par les élèves. Quant au téléphone tactile, ce dernier se présente aux élèves sous la forme d'un « système intégré », c'est-à-dire d'un système où, à l'exception de l'écran tactile, les constituants les plus élémentaires sont totalement invisibles.

Une partie de la structure matérielle du tableau numérique est donc *perceptible* aux élèves — notamment l'ordinateur, le vidéoprojecteur, le stylet, et l'écran — et la totalité de la structure du système « Smartphone tactile » est *imperceptible* aux élèves. Or l'une des caractéristiques de la pensée enfantine est justement sont « assujettissement à la perception » (Rubinstein, 1977). De ce fait, nous constatons effectivement que la perception (ou pas) des éléments du système — éclaté ou intégré — constitue en soi un élément de rationalité repéré chez les

[66] Étude N°1 : 270 élèves. Étude N°2 : 426 élèves. Étude N°3 : 96 élèves. Étude N°4 : 607 élèves. Étude N°5 : 388 élèves.

élèves interrogés.

Percevoir ou, au contraire, ne pas percevoir les différents composants des artefacts présentés aux élèves se manifeste effectivement dans leurs réponses par deux types de modélisations globales du dispositif. En ce qui concerne le Tableau Numérique Interactif, les réponses des élèves mettent en avant la dimension « système » du dispositif. En revanche, en ce qui concerne le Smartphone tactile les élèves mettent en avant la dimension « élémentaire ». en effet, selon les élèves interrogés dans l'étude N°1, le Tableau Numérique Interactif fonctionne, grâce au fait que l'ordinateur, le vidéoprojecteur et l'écran sont interconnectés : ce qui est mis en avant par les élèves de l'étude N°1 ce sont les liaisons perçues entre les seuls composants également perçus du TNI. En revanche, selon les réponses des élèves de l'étude N°2, les écrans tactiles fonctionnent simplement grâce à la présence des capteurs sous l'écran. Or ces élèves n'explicitent aucune liaison entre ces capteurs et le reste des composants du dispositif.

En plus de leur opposition structurelle, les systèmes présentés aux élèves sont également opposables du point de vue du processus de « genèse instrumental », au sens de Rabardel (1995). Le téléphone tactile est effectivement un artefact à la fois proche et familier des élèves et dont les usages sont intensifs, multiples, spontanés et répondant à une logique personnelle. En revanche, le tableau numérique est un artefact, dans une large mesure, étranger aux élèves. Par conséquent, à l'opposé des usages du téléphone tactile, les usages du TNI sont rares, prescrits et répondent à une logique scolaire. L'interaction des élèves avec chacun de ces artefacts est donc radicalement différente. Dans le cas du téléphone tactile, l'élève interagit à la fois avec l'instrument et avec l'activité : pour bien jouer sur son portable, par exemple, l'élève ne doit pas seulement connaitre les règles du jeu, mais doit aussi, en parallèle maitriser une série de gestes sur l'écran tactile. Or, dans le cas du tableau numérique, l'interaction des élèves est la plupart du temps réduite à l'interaction avec l'activité médiatisée (des projections à l'écran) et l'est rarement avec l'ensemble en soi : la plupart des élèves n'utilisent le Tableau Numérique Interactif que quand ils vont au tableau pour répondre à la consigne.

Dans ce contexte, le processus de « genèse instrumentale » théorisé par Rabardel concernant chacun des dispositifs se développe de manière fondamentalement distincte : alors que dans l'interaction élève-téléphone tactile le processus d'instrumentation est particulièrement engagé, dans l'interaction élève-tableau numérique il est, comparativement, inexistant. En effet, constamment dans les mains des élèves et objet de multiples usages, le téléphone tactile doit, en principe, avoir atteint le statut d'« instrument » dans la population d'élèves interrogés

— instrument de sociabilité, de divertissement, de communication, etc. En revanche, le Tableau Numérique Interactif, en raison des usages particulièrement exceptionnels, garde, pour la majorité des élèves, son statut d'artefact.

Cette distinction entre d'une part l'instrument et d'autre part l'artefact, se traduit concrètement par l'élaboration, dans un cas, et par l'absence dans l'autre, de représentations, de conceptualisations et de modélisations fonctionnelles relatives à certaines des caractéristiques concernant la structure et le fonctionnement des dispositifs. Ainsi, compte tenu de son statut d'instrument, on doit s'attendre à repérer chez les élèves interrogés des représentations et des conceptualisations à propos du fonctionnement et de la structure des téléphones tactiles sensiblement plus élaborées que celles concernant la structure et le fonctionnement des Tableaux Numériques Interactifs. Ces expectatives théoriques semblent se confirmer dans nos études.

En effet, rappelons que du point de vue fonctionnel les deux dispositifs partagent un même principe : pour répondre à l'action de l'utilisateur, tant le tableau numérique comme le Smartphone tactile doivent « détecter l'événement contact ». Or ces étapes du fonctionnement – « Action » et « Détection » – ne sont prises en compte que dans le cas des téléphones tactiles (instrument) et n'apparaissent dans aucune des 270 explications visant le fonctionnement du TNI (artefact). Notons aussi que les deux dispositifs partagent également un même élément structurel, à savoir des « capteurs » : dans les deux dispositifs la détection de l'événement contact se fait grâce à des capteurs. Or, à nouveau, ce composant n'est identifié et n'est explicité que dans les réponses visant à expliquer le fonctionnement du dispositif-instrument (Smartphone tactile) et n'apparait pas dans les réponses rendant compte du fonctionnement du dispositif-artefact (TNI).

Compte tenu donc de leur relation artefactuelle avec les Tableaux Numériques Interactifs, les élèves n'explicitent ou ne suggèrent pas dans leurs réponses ni processus, ni composants autres que ceux qui sont visibles. Par rapport au modèle fonctionnel ici retenu – « Action-Détection-Transmission-Traitement-Sortie » – nulle modélisation fonctionnelle a pu être repérée dans l'étude (N°1) sur les Tableaux Numériques Interactifs, tous niveaux confondus. En revanche, compte tenu de leur relation instrumentale avec les Smartphones tactiles, les élèves explicitent ou suggèrent effectivement dans leurs réponses à la fois des processus et des composants rendant compte d'une activité de modélisation, certes simplifiée, mais toutefois existante (voir études N°2 et N°3).

8.3. Les exigences de l'argumentation écrite

Avant d'exposer l'ensemble des résultats, notons d'emblée un aspect d'ordre général. Il s'agit du décalage entre la tâche prescrite dans la consigne et l'activité réellement accomplie par les élèves. Ce décalage entre ce qui est attendu des élèves et ce qu'ils rédigent effectivement, nous force à tenir compte, en plus des éléments de compréhension et d'analyse à la portée des élèves, des exigences associées à l'exercice de rédaction et d'argumentation attendu des élèves, tâche dont la difficulté a déjà été constatée par certaines recherches.

Sous l'apparente simplicité des activités proposée aux élèves – « *Avec tes mots, essaie d'expliquer …* », « *Comment penses-tu…* », etc. – se cachent dans les faits quelques exigences linguistiques et épistémiques non négligeables pour les élèves. Épistémiques car, d'une part, ce qui est attendu des élèves est avant tout une explication. Or cette dernière exige de rassembler, de manière cohérente, l'ensemble des éléments – les *explicans* – qui clarifient l'existence de l'événement à expliquer – l'*explicandum* (Osborne & Patterson, 2011). Des exigences linguistiques d'autre part car l'explication attendue doit respecter les deux dimensions fondamentales de l'argumentation, à savoir la « justification », c'est-à-dire le fait d'appuyer et de soutenir les arguments par des preuves, et la « négociation interlocutoire », c'est-à-dire la prise de distance du locuteur vis-à-vis de son discours (Golder & Favart, 2003).

Les élèves de collège n'ont pas encore développé l'ensemble de ces compétences. De nombreux travaux mettent effectivement en évidence les difficultés qu'éprouvent les élèves de collège lorsqu'ils doivent produire un discours argumentatif cohérent en situation écrite (Golder & Favart, 2003 ; McNeill, 2011 ; Roussey, Akiguet, Gombert, & Piolat, 1995). Ces recherches montrent précisément que l'argumentation écrite ne commence à être moyennement maitrisée qu'à l'âge de 11 ans (6e) et qu'il faut attendre vers 13-14 ans (4e-3e) pour voir apparaître dans les productions des élèves des textes réellement explicatifs et contre-argumentatifs.

Ces éléments nous permettent d'expliquer une partie du décalage constaté entre la consigne donnée aux élèves — expliquer — et ce qu'ils ont fourni effectivement comme travail — des réponses qui rendent à peine compte de la situation. Ces éléments expliquent aussi le décalage constaté entre les réponses des élèves de 6e (11 ans) et celles des élèves de 3e (14 ans) – les élèves de 6e commencent à maitriser l'argumentation écrite. Enfin, d'un point de vue méthodologique, les résultats des recherches évoquées ci-dessus soulignent également l'importance des entretiens complémentaires dans l'étude des représentations et des

conceptualisations des élèves : en tant qu'activité orale, les entretiens permettent aux élèves de répondre en s'affranchissant des contraintes linguistiques – et temporelles – de l'écriture.

8.4. Résultats principaux

Toutes études confondues, les résultats de notre recherche suggèrent qu'en dépit des usages et de la relation des élèves vis-à-vis des dispositifs numériques qui leur ont été ici proposés à l'analyse, les situations[67] à propos desquelles ils ont été interrogés dans cette recherche sont loin de constituer des évidences au sein cette population. Ainsi, le fait de se servir quotidiennement du Smartphone tactile par exemple — ou d'autres dispositifs tactiles —, de toucher régulièrement son écran pour jouer, communiquer, etc., n'a pourtant pas conduit les élèves interrogés à mieux se représenter et conceptualiser le fonctionnement de ces dispositifs tactiles. Les résultats correspondants à l'étude N°4 mettent clairement en évidence cet aspect. Ces artefacts, particulièrement proches des élèves, ne semblent pas être l'objet des questionnements allant au-delà de leur caractère instrumental et, de ce fait, semblent être réduits, pour une grande majorité des élèves, à des simples « instruments à cliquer[68] ».

Malgré le fait que les dispositifs et les situations visés par chacune des cinq études ne soient pas les mêmes, leurs résultats convergent de manière générale vers un certain nombre de constats. Les explications des élèves interrogés négligent systématiquement les étapes et les organes essentiels au fonctionnement des systèmes numériques présentés, à savoir les composants et les processus assurant le traitement de l'information. Le bloc fonctionnel « Traitement », son contenu et ses fonctions, sont effectivement globalement méconnus. De manière générale, tous échantillons confondus, les réponses des élèves ne tiennent pas compte – ou n'explicitent pas – ni de la fonction des logiciels ni du rôle des processeurs dans le fonctionnement des dispositifs numériques au sujet desquels ils adressent leurs explications. L'information, matière d'œuvre primordiale et indispensable au fonctionnement de ces dispositifs, est aussi particulièrement absente de l'argumentation des élèves. En ce qui concerne le bloc fonctionnel « Transmission », nos résultats suggèrent que tout en faisant partie des représentations des élèves, ce bloc fonctionnel n'est toutefois pas conceptualisé. En effet, bien que l'identification de la « transmission de l'information » en tant qu'étape succédant à la « détection de l'action » ne semble pas poser des problèmes aux élèves, les

[67] Rappelons que la notion de « situation » est ici comprise comme « question posée » ou « problème à résoudre ».

[68] Expression employée par Fluckiger (2007) lorsqu'il fait référence à la relation – instrumentale – des adolescents avec l'ordinateur.

élèves sont bien moins capables d'associer cette transmission au récepteur correspondant. En ce qui concerne le bloc fonctionnel « Détection », à l'exception des plus jeunes (6e), les explications des 3e et des lycéens témoignent de l'existence de connaissances particulièrement adaptées à ce bloc fonctionnel : non seulement cette étape fait partie des représentations des élèves, mais elle est aussi relativement bien conceptualisée. En effet, les élèves (3e et lycéens) interrogés explicitent ou suggèrent dans leurs réponses que l'action de l'utilisateur sur le système doit être prise en compte, c'est-à-dire détectée. En plus d'associer certains phénomènes à la détection – pression, chaleur –, ces élèves (3e et lycéens) explicitent également que cette détection est prise en charge par un organe en particulier, à savoir le capteur.

8..4.1. Les explications des élèves dans les 5 études

8.4.1.1. Étude N°1 : comment ça marche un Tableau Numérique Interactif (TNI) ?

L'étude N°1 met en évidence que les élèves tendent à confondre les catégories fonctionnement et fonction. Nulle modélisation fonctionnelle du système TNI a été repérée dans les explications des élèves. L'étude N°1 a mis effectivement en évidence que pour rendre compte du fonctionnement du Tableau Numérique Interactif, les élèves n'identifient que les éléments matériels et, surtout, perceptibles du dispositif. Cela est d'autant plus évident que, pour l'échantillon interrogé (270 élèves), l'élément le plus indispensable au fonctionnement du tableau numérique semble être le vidéoprojecteur, c'est-à-dire l'élément le plus visible et remarquable du système (voir Figure 3). La conceptualisation globale du fonctionnement du dispositif exclut ainsi les éléments structuraux non-matériels et non-visibles du dispositif, tel que le logiciel et l'information par exemple. En effet, bien que le rôle des logiciels soit tout à fait fondamental dans le fonctionnement du dispositif en question, seulement trois élèves suggèrent cet aspect dans leurs réponses (1 %). De plus, aucun processus n'est mis en évidence par les élèves : le TNI fonctionne essentiellement parce que l'ordinateur et le vidéoprojecteur en font partie.

L'étude N°1 montre toutefois que les représentations des élèves de 3e concernant le dispositif et son fonctionnement se distinguent par sa relative complétude de celle des classes inférieures, notamment de celle des élèves de 6e. Les élèves de 3e mettent clairement en avant la dimension « système » du dispositif, c'est-à-dire qu'ils rendent compte des éléments visibles et de leurs connexions – filaires. Les plus jeunes (6e), en revanche, mettent en avant sa dimension « élémentaire », c'est-à-dire qu'ils ne rendent compte que de la présence isolée

des éléments. En outre, pour les élèves de 3e le composant essentiel, le plus indispensable au fonctionnement du TNI est bien l'ordinateur : élément de pilotage. Pour les 6e, en revanche, l'élément le plus indispensable c'est le vidéoprojecteur : élément de projection.

Rappelons enfin qu'en fonction de la délimitation de la frontière d'étude, le système sera analysé en incluant ou en excluant les fonctions techniques et, par conséquent, en valorisant ou en négligeant dans l'analyse, les fonctions de service[69]. À cet égard, en raison de l'absence de l'explicitation des fonctions techniques et de la mise en avant des fonctions de service constatés dans l'étude N°1, on peut affirmer que les élèves y ayant participés, tous niveaux confondus, ont analysé le tableau numérique en délimitant une frontière qui excluait les fonctions techniques. Ils ont donc développé des analyses fonctionnelles externes.

8.4.1.2. Étude N°2 : comment ça marche un écran tactile ?

L'étude N°2 s'est intéressée aux représentations, aux conceptualisations et au modélisations fonctionnelles de 494 élèves à propos du fonctionnement des écrans tactiles. L'étude montre que le schéma fonctionnel sous-tendant la modélisation fonctionnelle des élèves à propos du fonctionnement des écrans tactiles est du type « Action/Détection ». La plupart des élèves n'explicitent dans leurs réponses, en effet, que l'action sur l'écran et la détection de cette action. Le rôle des processus d'affichage[70], de transmission et de traitement de l'information dans le fonctionnement du dispositif sont ici méconnus. L'étude confirme également que l'information en tant que matière d'œuvre et l'élément « logiciel » ainsi que leurs rôles dans le fonctionnement du système sont exclus de la conceptualisation et de la modélisation du fonctionnement des dispositifs numériques. La conceptualisation des élèves par rapport à l'interaction doigt-écran se fonde sur l'identification des phénomènes thermiques et mécaniques : les écrans tactiles fonctionnent en détectant la « chaleur des doigts » et/ou « la pression des doigts ».

Concernant la comparaison des réponses des niveaux contrastés (6e, 3e, lycée), l'étude N°2 a mis en relief des différences importantes entre les représentations et conceptualisations des élèves des différents niveaux de scolarité. Les faits montrent que, contrairement aux plus âgés, la plupart des explications écrites par les élèves de 6e ne répondent pas à la question « comment ça marche » mais « avec quoi ça marche ». On trouve ainsi que 94 % des réponses

[69] Projeter des images est une fonction de service du TNI assurée par le vidéoprojecteur. Transmettre de l'information serait en revanche une fonction technique assurée par les câbles ou par un signal électromagnétique dans le cas des connexions non-filaires. Détecter le stylet serait également une fonction technique.

[70] Notamment la relation action-affichage.

des classes de 6e sont essentiellement tautologiques, c'est-à-dire, constituées fondamentalement d'éléments déjà implicites dans la situation proposée : les écrans tactiles marchent en les touchant, ils marchent avec les doigts, etc. Des différences importantes ont été également repérées dans l'activité de lexicalisation. Les élèves de 6e utilisent dans leurs explications un lexique assez « ordinaire » et n'identifient dans le dispositif que des composants de base, à savoir des fils et des circuits électriques. Par exemple, malgré certaines allusions aux « capteurs », les 6e parlent principalement en termes de « boutons » qui « sentent » le « toucher » des doigts ». En revanche, chez les 3e et les lycéens les écrans tactiles fonctionnent grâce à des « capteurs » et ces derniers captent la « chaleur », la « pression » ou, dans certains cas, le « mouvement » des doigts. De même pour le terme « information » : les rares allusions à ce mot sont principalement repérées chez les plus âgés (3e).

Quant à la modélisation du fonctionnement, on a pu constater que le schéma fonctionnel sous-tendant la modélisation fonctionnelle des plus jeunes (6e) est particulièrement simplifiée, à savoir de type « Action ». Selon les 6e, les écrans tactiles fonctionnent simplement en agissant sur eux, c'est-à-dire en « touchant avec les doigts ». Les plus jeunes (6e) n'identifient ni des processus de traitement ni des processus de transmission de l'information dans le fonctionnement du dispositif : leur conceptualisation ignore clairement ces éléments. En revanche, le schéma fonctionnel sous-tendant la modélisation fonctionnelle des 3e et des lycéens est relativement plus élaborée, à savoir de type « Action/Détection ». En effet, les élèves de 3e et les lycéens identifient clairement dans leurs explications l'un des comportements des écrans tactiles, à savoir la détection de l'action exercée. Leur frontière d'analyse inclut de ce fait l'une des fonctions techniques du dispositif : détecter le doigt. Par rapport aux 6e donc, la conceptualisation des plus âgés est ainsi fondée principalement sur la reconnaissance du bloc fonctionnel « Détection ». On constate à ce propos chez les plus âgés une conceptualisation nettement plus élaborée vis-à-vis de l'interaction doigt-écran tactile fondée sur l'identification et la mise en relation des « capteurs » avec des phénomènes thermiques et mécaniques. Bien qu'assez rares, notons enfin que les seules allusions à des processus de transmission et de traitement de l'information sont observées dans les réponses des 3e et des lycéens.

Les entretiens menés dans l'étude N°2 ont mis en évidence un élément de relative importance : certains élèves considèrent qu'il est possible de programmer la réaction des écrans tactiles avec un phénomène en particulier. Selon ces élèves, si les écrans tactiles « ne réagissent qu'au doigt » ou encore « à la chaleur », c'est parce que cela « a été programmé »

ainsi. Or, s'il est possible de programmer les instructions à exécuter si tel évènement a lieu, ou si tel phénomène est détecté, il est toutefois impossible de programmer l'interaction du dispositif avec le phénomène ou l'évènement car cela relève des caractéristiques des capteurs. Les entretiens ont mis également en évidence que 1) les représentations des élèves ne résistent point mais évoluent et se modifient en fonction de leur caractère opératoire et 2) les représentations des 6e et des 3e par le rapport à la situation ne se différencient guère. En effet, afin d'expliquer comment fonctionne un écran tactile, les élèves des deux niveaux avancent des éléments des réponses particulièrement proches, voire identiques.

Enfin, le fait d'avoir interrogé des lycéens dans l'étude N°2 nous a permis de constater que non seulement il y a rupture entre la conceptualisation des 6e et des 3e, mais aussi entre la conceptualisation des collégiens (6e et 3e) et des lycéens. En effet, seul les lycéens (quelques) tiennent compte du fait que la position du doigt sur l'écran constitue un élément de réponse. Rappelons que la détermination de la « position du doigt » constitue un des aspects clés du fonctionnement des Smartphones tactiles et, par conséquent de l'explication attendue : le dispositif doit savoir « où » se pose le doigt sur l'écran pour réagir pertinemment. Or, ni les 6e ni les 3e suggèrent ou explicitent dans leurs réponses cet élément. Seul un groupe réduit de lycéens (20 élèves) identifie cet élément de réponse dans la situation d'interaction doigt-écran tactile. De plus, le rôle des logiciels dans le fonctionnement des écrans tactiles n'est identifié que par 8 des lycéens.

8.4.1.3. Étude N°3 : comment ça marche un écran tactile ? Contrainte lexicale

L'étude N°3 (96 élèves), dont l'objectif, suite à la modification de la question, était de repérer les invariants dans les explications des élèves, vient confirmer que les élèves de 3e identifient clairement les étapes « Action et « Détection » dans le fonctionnement des écrans tactiles. L'étude N°3 confirme également que les élèves de 3e identifient les « capteurs » comme étant des composants assurant la détection, selon eux, de la « chaleur » et/ou de la « pression » des doigts. La troisième étude confirme enfin que le processus de traitement de l'information ainsi que les composants assurant ce dernier (logiciel, processeurs) ne sont pas spontanément pris en compte dans les explications des élèves de 3e.

En revanche, d'après les résultats de l'étude N°3 et contrairement à ce que montre l'étude N°2, il semblerait que, en plus des étapes « Action » et « Détection », l'étape « Transmission » fasse aussi partie du schéma fonctionnel sous-tendant le modèle fonctionnel des élèves de 3e relatif au fonctionnement des écrans tactiles. La troisième étude suggère

donc que le schéma fonctionnel sous-tendant les explications des élèves de 3e à propos du fonctionnent des écrans tactiles est du type « Action/Détection/Transmission ». Or l'étude N°3 met en évidence que, chez les élèves interrogés, le processus de transmission de l'information n'est pas conceptualisé mais semblerait être seulement lexicalisé. En effet, les élèves identifient le processus mais pas les composants qui lui sont associés. L'information dont parlent les élèves peut être ainsi transmise aussi bien entre le doigt et la batterie, qu'entre l'écran et le téléphone. Seuls quelques élèves vont associer à la transmission de l'information les composants correspondants, notamment le processeur (6/57).

Notons à ce stade que les résultats concernant les études N°2 et N°3 sont issus d'une question particulièrement ouverte : « *comment ça marche un écran tactile ?* ». La question ainsi posée nous a permis de recueillir les représentations et les conceptualisations mobilisées librement par les élèves afin de rendre compte des situations proposées. Toutefois, ce type de questionnement a l'inconvénient de ne pas cibler des processus en particulier et de recueillir donc des réponses générales. Ainsi, bien qu'ils ont clairement mis en évidence à la fois la conceptualisation des élèves à propos de l'interaction doigt-écran tactile et les modèles sous-jacents, force est de reconnaitre que les études N°2 et N°3 n'ont accédé qu'aux représentations globales des élèves à propos du fonctionnement des Smartphones tactiles.

8.4.1.4. Étude N°4 : comment un Smartphone tactile détermine la position relative doigt-icône ?

Les études N°4 et N°5 introduisent en ce sens une discontinuité méthodologique dans cette recherche : en plus d'interroger deux fois un même échantillon d'élèves, les élèves des études 4 et 5 n'ont pas été interrogés à propos des situations d'ordre général, mais à propos des situations bien délimitées, à savoir « *comment le téléphone tactile détermine si le doigt se trouve ou ne se trouve pas sur l'une des icônes ?* » et « *comment le téléphone tactile fait pour n'afficher jamais une autre application que celle qui a été touchée ?* ». À l'opposé donc des trois premières études, les études N°4 et N°5 exigent des élèves des réponses circonstanciées, c'est-à-dire des représentations et des conceptualisations spécifiques aux situations présentées.

L'étude N°4 montre avant tout la difficulté qu'ont les élèves de 3e à conceptualiser les situations proposées ainsi que l'inadéquation des représentations mobilisées pour rendre compte de (1) : la manière dont le téléphone tactile détermine la position du doigt par rapport à l'icône et (2) : la manière dont le téléphone ouvre l'application « touchée » sans jamais se

tromper et afficher une autre application. Vis-à-vis de ces questions, le principal résultat de la quatrième étude est sans doute que les élèves sont particulièrement démunis par rapport aux situations proposées : d'une part, les élèves n'identifient pas les éléments de la situation et, d'autre part, leur représentation de cette dernière est inadaptée. Il est en ce sens remarquable que face à la question « dans quel composant du téléphone se trouvent les applications affichées à l'écran ? », 208 élèves, soit 47% de l'échantillon total (439 élèves) n'identifient pas ou n'explicitent pas dans leurs réponses un composant de stockage. Les réponses les plus fréquemment rencontrées dans l'étude N°4 sont effectivement « je ne sais pas », ou encore des simples « rappels à l'évidence » (cf. Tableaux 19, 21, 23). Ainsi, faute de représentations plus pertinentes, les élèves (a) expliqueront la détermination de la position du doigt en termes de détection : le téléphone « sait » si le doigt est sur l'icône car il le détecte et (b) expliqueront l'ouverture précise de l'application « touchée » en évoquant simplement le fait que chaque icône « est un raccourci » ou un « lien » vers l'application — ce qui, dans les deux cas n'est évidemment pas faux, mais ne rend pas compte de la situation.

8.4.1.5. Étude N°5 : comment un Smartphone tactile détermine la position relative doigt-icône ?

L'étude N°5, en modifiant à nouveau la forme de la question, cherchait à repérer les invariants dans les explications des élèves vis-à-vis de l'étude N°4. La nouvelle formulation présentée aux élèves — *« Quelles informations le téléphone doit-il prendre en compte pour "savoir" si le doigt est bien posé sur l'une des icônes ? »* — avait pour but de les « forcer » à se représenter la détermination de la position relative doigt-icône en termes de traitement d'information et pas en termes de détection. Malgré cela, l'étude confirme que les explications des élèves représentent la situation en termes de détection absolue du doigt : pour déterminer si le doigt se trouve sur l'une des icônes il suffit au téléphone de détecter « quelque chose » dans le doigt, c'est « cette chose » qu'il détecte dans le doigt qui lui permet de savoir « où » il est par rapport à l'icône. La cinquième étude nous a permis toutefois de constater que la « position du doigt » semble être le paramètre isolé le plus identifié par les élèves et, en ce sens, le plus proche d'une éventuelle conceptualisation de la situation proposée en termes de « position ».

Ces résultats peuvent être interprètes dans le cadre de la théorie de la conceptualisation. Dans ce cadre, la représentation de la situation est à la base de la prise d'information sur le réel, de l'élaboration des propositions tenues pour vraies (théorèmes-en-acte) et des catégories tenues

pour pertinentes (concepts-en-acte) mobilisées dans l'analyse de la situation. Or, compte tenu que la représentation des élèves exclut le bloc fonctionnel « Traitement », les élèves catégorisent la situation proposée comme appartenant au bloc fonctionnel « Détection » et raisonnent, en conséquence, à partir de la proposition « la détection du doigt suffit à connaître sa position ».

8.4.2. Effets de la consigne : variations des réponses et analyse d'invariants

Conscients du fait que les éléments de réponses proposés par les élèves varient selon la forme de la question, une des particularités méthodologiques de cette recherche est d'avoir interrogé les élèves à propos d'une même situation, tout en modifiant la formulation de l'énoncé des questions présentées aux élèves : les études N°2 et N°3 ainsi que les études N°4 et N°5 ont été ainsi conçues. Cela nous a permis de fonder nos principales conclusions à partir de l'analyse des invariants repérés dans le corpus des réponses recueillies, à savoir les éléments de réponse systématiquement mobilisés ou systématiquement négligés par les élèves.

8.4.2.1. Études N°2 et N°3

Nous constatons effectivement que lorsqu'on demande aux élèves de 3e d'expliquer « *comment fonctionne un écran tactile* » (voir étude N°2), nous obtenons des réponses nettement focalisées sur l'interaction doigt-écran, c'est-à-dire sur les phénomènes et processus qui ont lieu uniquement à la surface de l'écran tactile. Les élèves de 3e de l'étude N°2 suggèrent ainsi quasi-exclusivement les étapes « Action » (91 %) et « Détection » (75 %). En revanche, lorsqu'on demande aux élèves de 3e d'expliquer « *comment fonctionne un écran tactile* » mais en demandant aux élèves de ne pas oublier d'employer le mot « information » dans l'explication proposée (voir étude N°3), leurs réponses explicitent ou suggèrent principalement les étapes « Transmission » (60 %), « Détection » (47 %), « Sortie » (47%) et « Action » (42%) (voir tableaux 8 et 9).

La comparaison entre les éléments de réponse proposés par les élèves de 3e ayant participé aux études N°2 et N°3 nous a donc permis de repérer trois invariants dans leurs analyses, à savoir :

- La frontière délimitée implicitement par les élèves pour analyser le fonctionnement du dispositif *inclut* systématiquement les blocs fonctionnels « Action » et « Détection », ainsi que les composants assurant cette dernière fonction technique, à savoir les « capteurs ».

- La frontière délimitée implicitement par les élèves pour analyser le fonctionnement du dispositif *exclut* systématiquement le bloc fonctionnel « Traitement » – 17 % et 26 % respectivement – ainsi que les composants assurant cette fonction technique, à savoir le logiciel et le processeur.
- La faible prise en compte de l'information en tant que matière d'ouvre assurant le fonctionnement du dispositif numérique visé.

8.4.2.2. Études N°4 et N°5

Rappelons que les études N°4 et N°5 interrogent les élèves sur une même situation, à savoir comment un Smartphone tactile détermine si le doigt se trouve (ou ne se trouve pas) sur l'une des icônes affichées à l'écran. Trois formulations visant cette situation ont été proposées aux élèves :

1. « *Comment expliquer qu'un écran tactile ne réagisse pas quand on pose le doigt entre les icônes ?* »
2. *« À ton avis, comment le téléphone ''sait'' que*[71] *le doigt se trouve (ou ne se trouve pas) sur l'icône ? »*
3. *« Quelles informations le téléphone doit-il prendre en compte pour ''savoir'' si le doigt est bien posé sur l'une des icônes ?* »

Rappelons que la détermination de la position relative du doigt par rapport aux icônes est un processus relevant notamment du bloc fonctionnel « Traitement » : il ne suffit pas de détecter le doigt sur l'écran, il faut en plus lui associer une position (P_Doigt) et la mettre en rapport avec la position des icônes affichées (P_Icône) : si le doigt est détecté et P_Doigt et P_Icône coïncident, alors le doigt est sur l'une des icônes, l'application correspondante s'ouvre, etc.

Or l'étude N°4 a mis en évidence que, face à la première formulation, le contenu des réponses des élèves est sensiblement réduit à des propositions rappelant à l'évidence, soit des lapalissades (voir Tableau 16). Les élèves nous disent que si le téléphone ne réagit pas entre les icônes c'est bien parce qu'« il faut toucher sur l'icône ». Il s'agit en ce sens d'un simple rappel au principe d'usage des dispositifs tactiles : pour s'en servir il ne faut pas toucher entre les icônes. On constate ainsi que la frontière délimitée implicitement par les élèves pour analyser le comportement du système n'inclut que l'étape « Action » et, en conséquence, exclut de l'analyse l'ensemble des fonctions techniques du dispositif (voir étude N°4).

Face à la deuxième formulation exposée ci-dessus les propositions de type lapalissades

[71] Nous avons dû « anthropomorphiser » la question afin de l'adapter à l'analyse des élèves.

s'atténuent et les explications des élèves se précisent (voir étude N°4). En effet, les élèves répondent à la deuxième question en affirmant de manière quasi-exclusive que le téléphone détermine si le doigt est (ou n'est pas) sur l'icône car il est capable de « détecter le doigt » (voir Tableau 19). En plus de l'étape « Action », la frontière d'analyse inclut désormais l'une des fonctions techniques du système, à savoir « détecter l'évènement contact ». Le bloc fonctionnel « Détection » fait de ce fait partie de l'analyse du comportement du système. Bien que cette explication ne rend pas encore compte de la situation, elle explicite toutefois un élément essentiel : pour déterminer la position du doigt sur l'écran il faut que le système soit avant tout capable de repérer se présence.

Face à la troisième et dernière formulation (étude N°5) les élèves précisent davantage leurs explications : les élèves expliquent que pour déterminer si le doigt se trouve sur l'une des icônes le système doit connaitre « où » se trouve le doigt. C'est effectivement la « position du doigt » qui apparait – avant recodage – comme l'élément de réponse le plus évoqué ou suggéré face à la troisième formulation citée ci-dessus (voir Tableau 24). Cependant, le recodage[72] opéré sur l'ensemble des réponses a mis toutefois en évidence que l'élément évoqué par la majorité des élèves n'est pas la position du doigt, mais une propriété ou grandeur que le téléphone « détecte » chez le doigt (voir Tableau 24). En d'autres termes, en dépit du fait que la troisième formulation contraint les élèves à analyser la situation en termes d'informations ou de paramètres traités par le dispositif, les élèves continuent à rendre compte de la situation en termes de détection absolue de l'évènement contact. Enfin, on constate à nouveau qu'en plus de l'étape « Action », la frontière d'analyse inclue la fonction technique « détecter l'évènement contact » et donc le bloc fonctionnel « Détection ».

L'ensemble de ces variations nous ont permis de repérer les invariants dans les analyses des élèves par rapport à la situation visée, à savoir :

- La frontière délimitée implicitement par les élèves pour analyser la situation *inclut* systématiquement les blocs fonctionnels « Action » et « Détection ».
- La frontière délimitée implicitement par les élèves pour analyser la situation *exclut* systématiquement les blocs fonctionnels « Transmission », « Traitement » et « Sortie ».
- La détermination de la position relative doigt-icône est systématiquement *conceptualisée* comme un processus relevant uniquement de la détection du doigt et non pas comme un processus relevant à la fois de la détection et du traitement de

[72] Les recodages ont permis de rassembler toutes les éléments de réponses appartenant à une même catégorie de réponse, soit un même noyau explicatif.

l'information, à savoir le traitement des positions relatives doigt-icône.

De manière plus fondamentale encore, les études N°4 et N°5 confirment, à partir d'une toute autre orientation que celle prise dans les études N°2 et N°3, que les élèves de 3e modélisent le fonctionnement des Smartphones tactiles selon un schéma fonctionnel de type « Action/Détection ». Plus précisément, l'ensemble de ces études – N°2, N°3, N°4 et N°5 – montrent que les élèves de 3es modélisent le fonctionnement des dispositifs numériques tactiles en excluant les processus de traitement de l'information, sa matière d'ouvre et ses composants. Enfin, la modélisation fonctionnelle des élèves concernant ces dispositifs ne tient pas compte de la relation fonctionnelle entre les étapes « Sortie » et « Action », à savoir que les actions de l'utilisateur sur l'écran visent ce que ce dernier affiche effectivement[73].

8.4.2.3. Des variations induites et des variations intrinsèques

L'influence de la question sur les réponses des élèves a été mis en évidence dans nombre d'études (McNeill, 2011 ; Sander, 2008 ; Weil-Barais, 2005). Précisons toutefois que la variabilité constatée entre les études N°2 et N°3 et la variabilité constatée entre les études N°4 et N°5 relèvent de causes distinctes. Dans le cas des études N°2 et N°3, la variabilité a été induite par le chercheur afin de forcer les élèves à prendre en compte à la fois la transmission et le traitement de l'information (voir étude N°3). Elle s'explique, en effet, en faisant appel à ce qu'on a désigné par « effet lexical » ou « facilitation lexicale » selon les termes de Le Ny (1995) et qui réside dans l'existence d'une relation sémantique entre deux unités lexicales se rappelant l'une à l'autre. Ainsi, en leur fournissant « information », les élèves l'ont facilement rattaché à « transmission » et ont construit, dans le contexte de l'enquête, le syntagme « transmission de l'information ». C'est ainsi que l'on retrouve un nombre important d'élèves évoquant ou suggérant le bloc fonctionnel « Transmission » dans l'étude N°3 alors que cette étape était pratiquement absente des réponses proposées dans l'étude N°2[74].

En revanche, la variabilité des réponses constatée dans les études N°4 et N°5, n'est pas induite par le chercheur, mais elle constitue une caractéristique émergente entre l'échantillon et la situation proposée : les élèves interrogés n'avaient pas les éléments nécessaires pour analyser la situation. En effet, si les réponses varient entre les études N°4 et N°5, c'est fondamentalement parce que les élèves ayant participé à ces études n'ont pas perçu l'invariant

[73] Le schéma fonctionnel rendent compte de ce dernier aspect serait le suivant :
« Sortie »-« Action »-« Détection »-« Transmission »-« Traitement »-« Sortie »

[74] Or « information » n'a pas été rattaché par les élèves à « traitement » et, de ce fait, ils n'ont pas construit, comparativement parlant, le syntagme « traitement de l'information. D'où que l'invariant entre les études N°2 et N°3 soit justement l'omission de ce bloc fonctionnel.

implicite à chacune des formulations, à savoir la situation visée par la question – *comment le Smartphone détermine la position relative doigt-icône*. La diversité des propositions recueillies dans les études N°4 et N°5 s'explique donc, en dernière analyse, par le fait que les élèves n'ont pas été capables de catégoriser, de modéliser et puis d'associer un schème de résolution à la situation visée par la question. En effet, d'une part, « la signification d'un énoncé est une forme de représentation individuelle », précise Le Ny (1995, p. 381) et, d'autre part, « il faut des catégories de pensée pour comprendre une formule ou un énoncé, comme il faut des catégories de pensée, souvent non explicites, pour lire une situation » (Vergnaud, 2007a, p. 35). Or, en dépit du fait que l'énoncé proposé aux élèves dans les études N°4 et N°5 ait été modifié trois fois, ni les schèmes de résolution évoqués par chacune des formulations, ni les représentations induites chez les élèves ont toutefois conduit ces derniers à fournir les explications attendues.

8.5. Discussion des résultats

Toute connaissance est apprise. Or la didactique a démontré que « seule la proximité des situations rencontrées par le sujet avec celles dans laquelle la société crée ou utilise les concepts leur donne une existence, une signification commune » (Brousseau, 2007, p. 62). Un certain nombre des résultats obtenus dans cette recherche doivent être interprétés selon cette maxime.

En effet, au-delà des particularités de chacune des études et des objets investigués, nos recherches mettent en évidence que les représentations, les conceptualisations et les modélisations des élèves sont relativement inadaptées aux situations à propos desquelles ils ont été interrogés. Or cette inadéquation ou incomplétude des schèmes de pensée des enfants face aux situations proposées doit, selon nous, être associée à l'absence ou à la rareté d'activités interrogeant les élèves sur cette classe de situations, à savoir sur le fonctionnement des systèmes numériques contemporains.

8.5.1. Contraste entre la connaissance des capteurs et la méconnaissance des logiciels : une question d'enseignement

Nous venons d'affirmer que seule la proximité des situations rencontrées par les élèves avec celles dans lesquelles les concepts sont effectivement utilisés – opératoires – leur donne une existence et une signification commune. Illustrons cela avec un résultat de notre recherche.

Les analyses lexicométriques ont mis en évidence qu'une proportion particulièrement faible des élèves interrogés évoque la présence et la fonction du logiciel dans leurs explications. L'élément « logiciel » est quasi-absent des réponses recueillies, tous niveaux confondus. La méconnaissance – ou la non explicitation – des logiciels a été également constaté dans d'autres recherches (Lebeaume & Pérez, 2012). En revanche, à l'exception des élèves de 6e, la présence et la fonction[75] des « capteurs » est, au contraire, particulièrement évoquée dans l'ensemble des études. Or ni le logiciel ni les capteurs sont visibles par les élèves. La perception de ces composants ne peut donc pas expliquer le contraste – important – constaté dans leur mise en avant. Cet écart entre la méconnaissance du concept « logiciel » d'une part et l'emploi pertinent du concept « capteur » de l'autre, ne peut être expliqué qu'en tenant compte du fait que l'enseignement de la technologie au collège propose aux élèves un certain nombre d'activités et de situations prenant en compte l'un – le capteur – tout en négligeant l'autre – le logiciel.

Au collège, en effet, nombreuses sont les activités à partir desquelles les élèves de 4e apprennent à identifier et à repérer différents types de capteurs et à leur associer une fonction précise dans le système étudié : capteurs de fumée, de mouvement, de luminosité, de contact, etc. La multitude de situations et d'exemples présentés aux élèves dans l'enseignement de la technologie en 4e leur permet à la fois d'identifier le « milieu objectif » associé au composant « capteur » et d'employer le terme « capteur » dans la « zone linguistique » correspondante. Autrement dit, les activités prévues dans les programmes de technologie de 4e permettent aux élèves d'apprendre non seulement ce qu'est un capteur et dans quels contextes s'utilise-t-il, mais aussi de lire et de rédiger des phrases où le terme en question est correctement employé.

Ce contexte[76] explique donc qu'à l'opposé des 6e, les élèves de 3e et les lycéens adossent plus fréquemment leurs explications sur la notion de capteur. Contrairement aux 6e, les plus âgés ont appris, en effet, à utiliser le terme et à identifier sa fonction principale[77] : détecter un agent extérieur au système. De ce fait, les élèves de 3e tiennent compte, dans une même réponse, à la fois du bloc fonctionnel « Action » et du bloc fonctionnel « Détection » : il faut agir sur le système, mais il faut aussi que le système soit « au courant » de cette action. Non seulement

[75] Fonction restreinte à la détection du doigt.

[76] En 4e, l'enseignement de la technologie s'articule autour du domaine d'application « confort et domotique », c'est-à-dire de l'ensemble des dispositifs informatisés ou automatisés destinés au domaine de l'habitat — électroménager, sécurité, éclairage, accès, etc. Ainsi, à partir de l'étude d'un système automatique donné, l'élève de 4e apprend donc à identifier des dispositifs d'acquisition de signaux, ainsi qu'à repérer les blocs fonctionnels de ladite « chaîne d'information » (Acquérir-Traiter-Transmettre) et d'y d'associer, à chacun de ces blocs, les organes correspondants.

[77] Sans pour autant l'exprimer en termes de fonction technique de transformation d'une matière d'œuvre, à savoir la transformation d'une grandeur physique en signal électrique

les élèves de 3e suggèrent ou explicitent l'action et la détection, mais ils tentent aussi d'associer des phénomènes et des composants spécifiques à chacune de ces étapes : « capteur de chaleur », « capteur de pression », « capteur de mouvement », etc.

La « proximité » entre le concept « capteur », d'une part, et les « situations de détection » qui lui sont rattachées dans les manuels de technologie, d'autre part, semble être suffisamment immédiate pour que les élèves développent une conceptualisation adéquate. Rendre compte de ces composants constitue, en effet, un élément de réponse tout à fait fondamental vis-à-vis de nos questions. On peut donc affirmer que l'enseignement de la technologie au collège a permis à un nombre important d'élèves de notre échantillon (3e et lycée) de modéliser une partie du fonctionnement des écrans tactiles, certes élémentaire et perfectible, mais toutefois opératoire vis-à-vis d'une partie du réfèrent visé. Par « enseignement », entendons les situations proposées effectivement aux élèves.

Il semble toutefois que l'enseignement de la technologie au collège ne fournit pas aux élèves — ou n'insiste pas suffisamment sur — les outils de pensée et les éléments de réponse nécessaires pour qu'ils explicitent le rôle des logiciels et tiennent compte de l'étape « Traitement » : le bloc fonctionnel « Traitement » est rarement repéré dans l'argumentation des élèves (7 %). Tout semble indiquer que, soit les activités où le concept « logiciel » est rattaché aux « situations de traitement » sont inexistantes ou rares, soit la « proximité » entre le concept et la situation proposée n'est pas suffisamment immédiate pour que le contenu du concept « logiciel » puisse être évoqué par les élèves afin de décrire des « situations de traitement » ou de gestion de l'information.

8.5.2. Du point de vue psychologique

Le positionnement théorique pris dans cette recherche concernant l'approche psychologique se fonde sur un principe général et l'un de ses corollaires, à savoir :

1. Le principe d'unité de la conscience et de l'activité (Rubinstein, 1963, 2007)
2. La conceptualisation est ancrée dans l'action (Vergnaud, 2007)

Selon le premier, l'ensemble des processus et des capacités cognitives — notamment celles liées à la pensée : généralisation, catégorisation, abstraction, conceptualisation, analyse — trouvent leur origine et leur progression dans l'espace structuré et structurant, médiatisé et médiatisant qui constitue l'activité du sujet, c'est-à-dire dans des tâches et des actions concrètes, avec leurs contraintes, leurs buts et leurs motivations sous-jacentes. Le principe d'unité de la conscience et de l'activité affirme essentiellement l'unité fonctionnelle de la

pensée et de l'activité.

Selon le deuxième, « il faut prendre à bras le corps la thèse que la conceptualisation est liée à l'action » (Vergnaud, 2007, p. 36). Chez Vergnaud il s'agit donc de souligner que l'organisation invariante de la conduite (les schèmes), les propositions que le sujet tient pour vraie sur le réel (théorèmes-en-acte), les catégories sous-jacentes à ces proposition (concepts-en-acte) ainsi que la représentation à la base de l'ensemble de ces processus, trouvent leurs origines dans l'action concrète du sujet en situation.

On comprend donc que tant le principe que son corollaire soulignent le lien entre ce que le sujet fait effectivement et ce qu'il développe comme capacités cognitives, selon les contraintes et les exigences du domaine et des situations confrontées. Appliqués aux élèves, les deux énoncés affirment, en effet, que les connaissances et les compétences des élèves sont le résultat exclusif des activités concrètement engagées et, réciproquement, que les activités des élèves sont exécutées, régulées et épurées grâce à des connaissances et des compétences précédemment acquises.

En appliquant l'ensemble de ces considérations aux résultats de cette recherche, plutôt que de juger des modélisations, des conceptualisations et des représentations repérées ou pas dans notre échantillon d'élèves, nous sommes amenés à faire le procès de l'enseignement des sciences et de la technologie au collège. Nos résultats suggèrent principalement, en effet, que les élèves interrogés ne sont pas familiarisés avec les questionnements proposés, faute d'activités relatives au champ conceptuel et à la classe de situations auxquels nos questions appartiennent.

En effet, nous avons vu que dans le cadre de la conceptualisation de Vergnaud, les représentations du réel sont « la base principale de la conceptualisation », compte tenu du fait qu'elles sont au centre des processus de construction de schèmes et de catégories de pensée nécessaires à la prise d'information. De façon consistante avec cette théorie, nos résultats suggèrent que les représentations des élèves interrogés à propos du fonctionnement des systèmes numériques contemporains ne leur permettent pas de conceptualiser et donc de modéliser adéquatement les situations proposées, notamment car elles excluent systématiquement l'unité fonctionnelle la plus fondamentale dans le fonctionnement de ces dispositifs, à savoir le bloc fonctionnel « Traitement ». Leur conceptualisation du fonctionnement des dispositifs numériques se caractérise donc par l'exclusion des notions, des composants et des procédures associées au traitement de l'information. Il s'agit notamment de l'exclusion de la notion d'« information », de la partie « logiciel », et de ce fait, des processus

de traitement de l'information – à la base, par exemple, de la détermination de la position du doigt par rapport aux éléments affichés à l'écran des Smartphones tactiles.

En adoptant maintenant le point de vue de Piaget et Garcia (1985), nous sommes tentés de conclure que les réponses des élèves interrogés se placent à la frontière des analyses inter-objectales et intra-objectales. On constate en effet que selon les caractéristiques des systèmes, les élèves tiendront plus ou moins compte des composants, des propriétés et des relations entre leurs composants. Dans l'approche ici évoquée, l'une et l'autre de ces analyses sont fondées sur des abstractions de type empirique, c'est-à-dire sur le prélèvement des informations constatées directement sur les objets. L'abstraction réfléchissante et l'analyse trans-objectale sont de ce fait, rarement repérées dans les explications des élèves.

Or, là encore, les réponses des élèves doivent être contextualisées et interrogées dans le cadre des activités proposées – au moment de l'enquête – par l'enseignement des sciences et de la technologie. Rappelons que dans tout processus d'apprentissage le dépassé est toujours assimilé par le dépassant. De ce fait, il est évident que pour répondre à nos questions, les élèves ont besoin de disposer d'un certain nombre de connaissances préalables. Or nos résultats suggèrent à nouveau que les situations et les questions présentées aux élèves de notre échantillon sont des situations et des questions nouvelles et donc, qu'ils ne possèdent pas ni les connaissances ni les structures de pensée nécessaires à l'analyse des systèmes numériques présentés. Nous constatons en conséquence que les élèves ne sont pas en mesure d'analyser les situations autrement qu'à partir des éléments perceptibles des systèmes. Or, peuvent-ils les analyser autrement ? Peuvent-ils abstraire les relations, les propriétés et les catégories pertinentes s'ils ignorent, sinon leur existence, leur structuration et leur fonctions effectives ? Peuvent-ils isoler et relier pertinemment l'ensemble des éléments de la situation si ces derniers leur sont méconnu ?

L'activité d'analyse est en réalité une activité de catégorisation, d'abstraction et de généralisation d'objets, propriétés et relations. Il est évident que la catégorisation, et l'isolement des aspects fondamentaux des situations ainsi que la construction des propriétés relationnelles non perceptibles, sont loin de constituer des processus cognitifs spontanés chez les élèves. Ce n'est qu'à travers la médiation de l'enseignant et surtout, à travers des situations d'enseignement préalablement conçues que l'élève peut accéder à ces opérations particulièrement complexes. Cette prise en charge par l'enseignement, au travers d'activités et des situations adaptées, est d'autant plus importante et nécessaire que l'abstraction, l'analyse et la pensée en général trouvent à la base un processus de catégorisation non spontanée chez

l'enfant. C'est l'activité de catégorisation qui attribue une signification aux différents éléments de la situation (Richard, 2004) et donc qui fournit à l'élève une première description des objets et des événements de la situation. La catégorisation se trouve de ce fait à la base de la sélection des relations et des propriétés pertinentes de la situation et, en conséquence, des processus de pensée en général[78].

Lorsque cette activité de catégorisation fait défaut ou n'est pas exhaustive vis-à-vis des éléments de la situation, l'analyse de l'élève sera forcément fondée sur les éléments perceptibles de la situation, c'est-à-dire sur les objets, les relations et les propriétés déjà catégorisés préalablement dans son activité perceptive. C'est cela qu'on constate dans cette recherche.

En effet, la prédominance des analyses inter-objectales et d'abstractions empiriques repérées dans cette recherche, s'explique fondamentalement par l'absence des catégorisations des élèves sur les éléments de la situation. Un système numérique est un système particulièrement complexe, tant du point de vue structurel que fonctionnel. Nombreux sont les éléments qui le composent et nombreuses sont aussi les relations qu'ils entretiennent : qu'est-ce que c'est ? Quelle est sa fonction ? Avec qui interagit-il ? Avec qui n'interagit-il pas ? Qu'est-ce qu'ils échangent entre eux ? Ce n'est qu'à partir de ces catégorisations que l'élève est en mesure d'engager des analyses trans-objectales et des abstractions réfléchissantes, compte tenu que les contenus de ces catégories constitueront ses propres contenus de pensée.

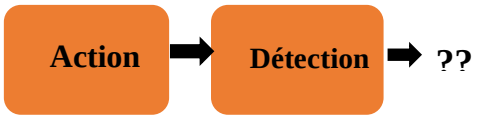
8.5.3. Correspondance référent-modèle : les registres de modélisation des élèves

Les éléments précédents questionnent en continuité le processus de modélisation fonctionnelle des élèves concernant le fonctionnement des dispositifs numériques. En effet, dans la mesure où les analyses des élèves et leurs conceptualisations se fondent notamment sur l'identification des composants, des processus et des relations de surface, leurs modélisations fonctionnelles à propos des systèmes numériques proposés se caractérisent principalement par son incomplétude vis-à-vis du référent questionné. Rappelons que le modèle fonctionnel pris comme référence est composé de cinq blocs fonctionnels :

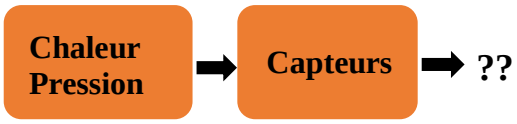
[78] Cette perspective est également contenue dans le processus de conceptualisation, caractérisé par Vergnaud comme « processus *d'identification* » à la base du raisonnement. On comprend donc que lorsqu'on propose des activités ou des situations nouvelles aux élèves, ces nouvelles rencontres doivent s'accompagner d'un travail de catégorisation exhaustif des éléments de la situation car ils fonderont l'ensemble des opérations intellectuelles des élèves, des plus simples aux plus complexes. Lorsque l'élève ne dispose pas de l'ensemble des connaissances lui permettent de catégoriser les éléments de la situation, d'autres connaissances viendront s'y substituer afin de finaliser l'interprétation et l'analyse de la situation. On retrouve là notre définition de travail de la notion de représentation : « information de substitution mobilisée par l'élève en vue de la résolution d'une tâche, problème ou situation ».

Ce modèle, issu d'une démarche d'analyse fonctionnelle, met en avant à la fois les flux d'information et les principales fonctions techniques assurant le fonctionnement des systèmes numériques investigués, à savoir : « détecter » l'action de l'utilisateur, « transmettre » l'information au processeur, « traiter » cette information et « exécuter » l'action correspondante à la demande. Il s'agit d'un schéma fonctionnel simplifié mais qui rend toutefois compte des principaux comportements des systèmes étudiés, le Tableau Numérique Interactif et le *Smartphone* tactile. Rappelons que ces dispositifs se caractérisent principalement par leur dépendance vis-à-vis des composants et des processus de traitement de l'information. Ils ne sauraient donc se concevoir sans l'information comme matière d'œuvre, sans l'existence d'un environnement logiciel assurant le traitement de l'information et sans la présence d'un(s) processeur(s) en tant que support assurant les processus physiques de calculs sous-jacents au traitement de l'informations. De ce point de vue, force est de reconnaitre qu'un modèle fonctionnel voulant rendre compte du comportement de ces systèmes doit inclure prioritairement l'ensemble de ces éléments. Et pourtant, rares, voire très rares sont les propositions recueillies dans cette recherche comportant ces éléments de réponse.

Les études N°2, N°3, N°4 et N°5 suggèrent effectivement que le modèle fonctionnel sous-jacent aux analyses des élèves de notre échantillon est particulièrement simplifié, soit :



Le modèle fonctionnel ses élèves a néanmoins un contenu phénoménologique et phénoménotechnique précis et, de ce fait, veut rendre compte d'une partie du référent interrogé, à savoir :



Ces schémas mettent donc en évidence que la modélisation fonctionnelle sous-jacente aux explications des élèves de notre échantillon exclut à la fois les composants et les processus de traitement de l'information. Les analyses lexicométriques opérées sur l'ensemble des « explications » ont mis effectivement en évidence à la fois que les termes « processeur »,

« logiciel » et « information » sont rarement des éléments sur lesquels les élèves appuient leurs explications : concernant les termes « logiciel » et « processeur », leur absence est quasi-totale. En associant cette absence avec leur importance dans le fonctionnent des systèmes numériques en général, on peut donc affirmer que la fonction — centrale — de ces éléments dans le fonctionnement des dispositifs ici proposés semble être largement méconnue et ignorée par les élèves ayant participé aux études. Les études N°1, N°2 et N°3 sont en ce sens exemplaires.

8.5.4. Limites et perspectives pour des recherches futures

Parmi les limites de cette recherche on peut mentionner le fait qu'on méconnait les conditions de passation d'un certain nombre de questionnaires. Nous ne pouvons donc pas assurer que les questionnaires ont été également introduits, que les élèves ont été également motivés ou encore que le temps de réponse a été également respecté. En outre, nos analyses ne prennent pas en compte les variables « sexe » et « catégories sociodémographiques » liées à notre échantillon. En nous focalisant exclusivement sur les aspects cognitifs de notre échantillon nous avons aussi écarté des analyses toute dimension volitive et émotionnelle. L'ensemble de ces questions mériteraient d'être traitées dans d'autres recherches.

Sur le plan méthodologique, Lebeaume (2011) soulignait déjà le problème concernant l'expression « comment ça marche ». Le « ça » de l'expression, remarque Lebeaume, introduit un ambiguïté relative : s'agit-il d'aborder les fonctions techniques (détecter, transmettre, traiter) ou bien des principes physiques sous-tendent la phénoménologie du produit ? De ce point de vue, les recherches futures doivent cibler davantage les aspects fonctionnels des systèmes numériques. Il s'agirait donc de questionnaires davantage centrés sur les conceptualisations et les modélisations relatives à des blocs fonctionnels en particulier ainsi que sur leur intégration et leur contribution au fonctionnement global des systèmes numériques. Dans cette perspective, compte tenu que les élèves tendent à confondre fonctionnement, fonction et structure, une recommandation méthodologique pour des recherches futures tient à demander aux élèves dès les premières questions (a) d'expliciter les éléments qu'ils jugent comme indispensables au fonctionnement du dispositif, (b) d'énoncer l'ensemble des fonctions de service – à quoi sert-il ?

Enfin, notre recherche n'a pas tenu compte de la dimension « enseignant », dont on sait qu'elle est déterminante dans les conceptualisations et les modélisations des élèves. Nous méconnaissons effectivement la manière dont les enseignants conceptualisent et modélisent

les systèmes numériques contemporains. Des recherches sur les pratiques et les conceptions des enseignants sur la place de l'analyse fonctionnelle comme démarche et fondement de la technologie sont en ce sens à développer (Lebeaume, 2016). De notre point de vue, s'intéresser à une telle question est fondamental dans le contexte actuel des réformes dans l'enseignement de la technologie au collège.

8.6. Perspectives pour l'enseignement de la technologie et des sciences

Face au « déficit de pensée » sur la culture technique et sur l'éducation technologique en général, Martinand (2000, p. 12) rappelle la nécessite de développer des projets pédagogiques permettant aux élèves de se familiariser avec des objets, des processus, des procédés, de leur donner « les outils d'une lecture compréhensive du monde », de développer « le rapport expérimental aux processus naturels et artificiels allant au-delà de l'observation pour manipuler les variables et constituer une technique des effets » et, enfin, de « la pensée avec des modèles, ce qui ne revient pas à apprendre des modèles, mais à adapter, utiliser, bricoler des modèles d'interprétation de la nature et de la technique ».

Cette recherche est une contribution non négligeable dans la perspective de l'ensemble de ces « missions » (Martinand, 2000). De ce fait, notre travail doit être principalement compris comme une contribution à la prise en charge des systèmes numériques contemporains dans l'enseignement de la technologie au collège. Sa contribution est de ce fait double.

Elle contribue premièrement à la définition et à l'élargissement du référent empirique permettant de penser des activités d'expérimentation et de modélisation proches des élèves et relatives au fonctionnement des systèmes numériques contemporains. Le choix des Tableaux Numériques Interactifs et des *Smartphones* tactiles met effectivement en évidence un certain nombre de parentés structurelles, fonctionnelles et phénoménologiques facilitant la généralisation des analyses et de la compréhension d'un système à l'autre. De manière plus essentielle, la mise en rapport de ces deux systèmes, dans une perspective d'analyse fonctionnelle, est susceptible de permettre aux élèves de mettre à l'épreuve la notion de frontière, de constater un certain nombre de filiations et de ruptures relatives aux fonctions techniques sous-jacentes aux comportements globaux et locaux de chacun des dispositifs, ainsi que d'interroger les flux et les transformations de l'information, essentielles à leurs fonctionnements.

Deuxièmement, dans la lignée des travaux s'intéressant à la correspondance situations-connaissances (Brousseau, 2007 ; Vergnaud, 2007), cette recherche apporte aussi des éléments d'intelligibilité permettant de penser la conception et la structuration de situations permettant aux élèves de comprendre les principaux concepts caractérisant le comportement des systèmes numériques contemporains. Dans cette perspective elle pointe la nécessité d'élargir les situations d'enseignement-apprentissage dans l'enseignement de la technologie de manière à développer chez les élèves une conceptualisation des processus et de composants liés au traitement de l'information équivalente à celle qu'ils manifestent concertant le bloc fonctionnel « Détection ». Les Smartphones tactiles constituent en ce sens un réfèrent empirique à privilégier. Ces artefacts sont des condensés technologiques à la portée des élèves, réunissant à la fois un vaste champ conceptuel et un vaste champ de questions. La simple question de savoir « comment est-il possible qu'un écran tactile – capacitif – ne réagisse pas au contact d'une gomme à effacer ? » est riche en questionnements et en activités expérimentales et nous amène, tout en distinguant ce qui relève des problématiques de la science de celles de la technologie (Lebeaume, 2011*b*), à chercher à comprendre « la procédure qui permet aux artefacts tactiles de déterminer la position du doigt sur l'écran » afin de réagir convenablement à la demande de l'utilisateur, c'est-à-dire à des questions de codage et d'algorithmique.

À la date de la mise en œuvre des nouveaux programmes de 2015, cette recherche attire effectivement l'attention sur les nouveaux contenus associés à l'algorithmique et au codage dans la perspective de réponse à l'une des orientations majeures du socle commun de connaissances, de compétences et de culture. Elle attire aussi l'attention sur la formation des maîtres qui devrait prendre en compte le milieu technologique contemporain afin de centrer non pas les choix programmatiques sur les activités d'imprégnation aux usages mais sur les apprentissages des outils intellectuels pour penser ce milieu tout en renouvelant les orientations de la culture désormais technologique.

Ainsi, en tenant compte de la pluralité de propriétés, de concepts et de phénomènes devant être intégrés pour comprendre le fonctionnement des écrans tactiles, nous croyons que les résultats de notre recherche apportent également quelques éléments de réflexion allant dans la direction du décloisonnement des disciplines, souhaité par les réformes de l'enseignement en France (Lebeaume & Hasni 2010). En effet, les propos des élèves lors des explorations guidées dans l'enquête révèlent des élaborations conceptuelles, par exemple en distinguant pression et force, chaleur et température. Cela est d'autant plus nécessaire que « la refondation de l'enseignement risque de se heurter au problème majeur de la conception de la

forme scolaire disciplinaire fondamentalement inscrite dans l'institution scolaire française » (Lebeaume, 2010, p. 61).

Bibliographie

Özdemir, G., & Clark, D. B. (2007). An Overview of Conceptual Change Theories. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 351-361.

Abdeljalil, M. (1990). La persistance des représentations spontanées des élèves en physique . *Canadian Journal of Education*, 183-190.

Abric, J.-C. (2003). L'étude expérimentale des représentations sociales. Dans D. Jodelet (Éd.), *Les représentations sociales* (éd. 7, pp. 203-223.). Paris: PUF.

Académie des sciences. (2013). *L'enseignement de l'informatique en France. Il est urgent de ne plus attendre.* Paris: Institut de France.

Astolfi, J. P., Darot, E., Ginsburguer-Vogel, & Toussaint, J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences.* Bruxelles: De Boeck & Larcier s.a.

Astolfi, J.-P. (1984). L'analyse des représentations des élèves en sciences expérimentales [Voie d'une différenciation de la pédagogie]. *Revue française de pédagogie, 68*, 15-25.

Astolfi, J.-P., & Develay, M. (1989). *La didactique des sciences.* PUF.

Astolfi, J.-P., & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et constructions de situations didactiques en sciences expérimentales . *Aster, 16*, 103-141.

Badillo, P.-Y., & Pélissier, N. (2015, février 3). *Usages et usagers de l'information numérique.* Consulté le mai 13, 2016, sur Revue française des sciences de l'information et de la communication: https://rfsic-revues-org.frodon.univ-paris5.fr/1448

Barak, M., & Williams, P. (2007). Learning elemental structures and dynamic processes in technological systems: a cognitive framework. *International Journal of Technology and Design Education*, 323-340.

Baron, G.-L. (2000). TIC et nouveaux savoirs. *Revue internationale d'éducation de Sèvres, 25*, 13-18.

Baron, G.-L., & Bruillard, É. (2008, mai 29). *Technologies de l'information et de la communication et indigènes numériques : quelle situation ?* Consulté le juin 3, 2015, sur Sticef: http://sticef.org

Bellut, S. (2006). *Pourquoi ça ne marche pas.* Saint-Denis La Plaine : AFNOR.

Benjamin, P. (2011). Les représentations sont-elles des « mensonges-pour-chercheurs ? ». Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V.

Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 163-176). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Bennet, S., & Maton, K. (2011). Intellectual Field or Faith-based Religion : Mouving on from the Idea of "Digital Natives". Dans M. Thomas (Éd.), *Deconstructing digital natives : Young People, Technologies and the New Literacies* (pp. 169-187). London: Routledge.

Bertalanffy, L. ([1968] 2012). *Théorie générale des systèmes.* Paris: Dunod.

Blanc, N. (2011). De l'usage du concept de représentation pour désigner le produit de la cognition . Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 37-45). Bruxelles : De Boeck Supérieur.

Booth Sweeney, L., & Sterman, D. (2007). Thinking about Systems Thinking about systems: student and teacher conceptions of natural and social systems. *System Dynamics Review*, 285–312.

Bouleau, N. (2014). *La modélisation critique.* Versailles: Quae.

Boyer, C. (2000). Conceptualisation et actions didactiques à propos de la reproduction végétale. *ASTER*, 149-171.

Brissiaud, R. (2002). Psychologie et didactique : choisir des problèmes qui favorisent la concenptualisation des opérations arithmétiques. Dans J. Bideaud, & H. Lehalle (Éds.), *Le développement des activités numériques chez l'enfant* (pp. 265-289). Hermès Sciences.

Brossard, M. (2008). Concepts quotidiens/ concepts scientifiques : réflexions sur une hypothèse de travail. *Carrefours de l'éducation* , 67-82.

Brousseau. (1997). La théorie des situations didactiques. *Cours donné lors de l'attribution à Guy Brousseau du titre de Docteur Honoris Causa de l'Université de Montréal*, (pp. 1-59). Montreal.

Brousseau, G. (2007). Introduction à une étude des situations et des champs conceptuels. Dans M. Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation. Questions à Gérard Vergnaud* (pp. 49-62). Toulouse: Presse Universitaires du Mirail.

Brun, J. (2007). L'oeuvre de Gérad Vergnaud dans une perspective de didactique des mathématiques. Dans M. Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Verganud* (pp. 65-68). Toulouse: Presse Universitaires du Mirail.

Buckinham, D. (2011). Foreword. Dans M. Thomas (Éd.), *Deconstructing digital natives : Young People, Technologies and the New Literacies* (pp. ix-xi). London: Routledge.

Caillot, M. (1992). Vers une didactique cognitive ? *Intellectica*, 273-289 .

Caillot, M. (2001). Y a-t-il des élèves en didactique des sciences ? Ou quelles références pour l'eleve ? Dans A. Terrise (Éd.), *Didactique des disciplines. Les references au savoir* (pp. 141-156). Bruxelles: De Boeck Université.

Caniard, E. (2014). Avant-propos. *Annales des Mines - Réalités industrielles* , 3-5.

Canonge, F., & Ducel, R. (1969). *La pédagogie devant le progrès technique.* Paris: Presses Universitaires de France.

Carnoy, M. (2002). *Sustaining the New Economy. Work, Family and community in the Information Age* . Cambrige: Harvard University Press.

Castéra, J., & Clément, P. (2010). Interaction entre connaissances et valeurs dans les conceptions d'enseignants français sur le déterminisme génétique de comportements humains. *Recherches en Didactiques des Sciences et Techniques*, 229-246.

Caulier, S. (2012, 09 2012). *Comment les technologies numériques créent un choc productif dans les entreprises*. Consulté le 10 11, 2013, sur LesEchos.fr : http://www.lesechos.fr/tech-medias/dossiers/0202287795552/0202287795333-comment-les-technologies-numeriques-creent-un-choc-productif-dans-les-entreprises-365486.php?PJLs1ckKSuObu6ce.99

Celse-Giot, C., & Coutté, A. (2011). Dimension motrice de l'espace et de la perception visuelle . Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 115-123). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Chameron, S., & Beugnon, G. (1999). Cognition spatiale chez l'insecte: de la perception à la navigation. Dans G. Jacques, & P. Michel (Éds.), *Eléments d'éthologie cognitive: du déterminisme biologique au fonctionnement cognitif* (pp. 181-204). Paris: Hermes Science Publication.

Checkland, P. (2012). Four Conditions for Serious Systems Thinking and Action . *Systems Research and Behavioral Science*, 465–469.

Chi, M. T. (2005). Commonsense Conceptions of Emergent Processes : Why Some Misconceptions Are Robust . *The Journal of Learning Science*, 161-199.

Chi, M., & Roscoe, R. (2002). The Processses and Challenges of Conceptual Change. Dans M. Limon, & L. Mason (Éds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 3-27). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

Christen, Y. (2009). *L'animal est-il une personne ?* Paris: Flammarion.

Cibois, P. (1993, Septembrer). Le PEM, Pourcentage de l'écrat maximum : un indice de liaison entre modalités d'un tableau de contingence . *Méthodologie Sociologique, 40*, 43-63.

Clément, P. (2014). Recherches en didactique de la biologie sur les conceptions et obstacles. Dialogue avec Jean-Pierre Astolfi. *Recherches en didactique des sciences et des technologies* , 129-154.

Colin, N., Landier, A., Mohnen, P., & Perrot, A. (2015). Économie numérique . *Notes du conseil d'analyse économique*(26), 1-12.

Collin, S., Guichon, N., & Ntébutsé, J. G. (2015). Une approche sociocritique des usages numériques en éducation. *Sticef*, 89 - 117. Récupéré sur Sticef: http://sticef.univ-lemans.fr/num/vol2015/01-collin/sticef_2015_collin_01p.pdf

Cornu, B., & Véran, J.-P. (2014). Introduction. *Revue internationale d'éducation de Sèvres, 67*, 35-42.

Coseriu, E. (1966). Structure lexicale et enseignement du vocabulaire. *Actes du premier colloque international de linguistique appliquée* (pp. 175-217). Nancy: Faculté des Lettres et des Sciences humaines de l'Université de Nancy.

Damasio, A. R. (2010). *L'Erreur de Descartes.* Paris: Odile Jacob.

Damaye, R. (1978). *La logique électronique et circuits intégrés numériques.* Paris: Éditions Radio.

De Vecchi, G., & Giordan, A. (2002). *L'enseignament scientifique : comment faire pour que ça marche ?* Paris: Delagrave.

de Vericourt, M. (2013, 05 29). *Il faut assurer notre indépendance numérique*. Consulté le 01 20, 2015, sur Industrie & Technologies : http://www.industrie-techno.com/il-faut-assurer-notre-independance-numerique.23866

Dehaene, S. (2014). Vers une science de la vie mentale. Dans J.-F. Dortier (Éd.), *Le cerveau et la pensée* (pp. 53-58). Auxerre: Sciences Humaines.

Delorme, P., & Djellalil, J. (2015). *La Transformation digitale.* Paris: Dunod.

Demougeot-Lebel, J., & Perret, C. (2008). Evolution des conceptions après une formation pedagogique. *25ème Congrès de l'AIPU.* Montpellier: AIPU.

Denis, M. (2003). Représentation (psychologie). Dans O. Houdé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust, & F. Rastier (Éds.), *Vocabulaire de sciences cognitives* (pp. 382-384). Paris: puf.

Dimet, B. (2004). *Enseignants et ordinateurs à l'aube de la revolution internet. Le cas de l'académie d'Amiens (1980-1997)* . Paris: L'Harmattan.

diSessa, A. A. (1996). What do “just plain folk” know about physics? . Dans D. R. Olson, & N. Torrance (Éds.), *The handbook of education and human development: New models of learning, teaching, and schooling* (pp. 709–730). Oxford : Blackwell Publishers, Ltd.

diSessa, A. A. (2002). Why “Conceptual Ecology” is a Good Idea. Dans M. Limón, & L. Mason (Éds.), *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice* (pp. 28-60). Amsterdam: Kluwer Academic Publishers.

diSessa, A. A. (2013). A Bird's-Eye View of the "Pieces" vs. "Coherence" Controversy. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 31-48). New York: Routledge.

Doise, W. (2003). Cognition et représentations sociales : l'approche génétique. Dans *Les représentations sociales* (pp. 240-258). Paris: PUF.

Dortier, J.-F. (2014*a*). Introduction . Dans J.-F. Dortier (Éd.), *Le cerveau et la pensée* (pp. 7-15). Auxerre: Sciences Humaines.

Dortier, J.-F. (2014*b*). Quand la psychologie est devenue cognitive. Dans J.-F. Dortier (Éd.), *Le cerveau et la pensée* (pp. 47-52). Auxerre: Sciences Humaines.

Douek, N. (2003). *Les rapports entre l'argumentation et la conceptualisation dans les domaines d'expérience.* Paris: Université Paris V.

Dowek, G. (2012). *Informatique et sciences du numerique* . Paris: Eyrolles.

Dowek, G. (2015, Janvier 01). *Sur la définition du mot « numérique ».* Consulté le Aout 27, 2016, sur Ressources: https://pixees.fr/sur-la-definition-du-mot-numerique/

Durand, D. (2013). *La systémique.* Paris: PUF.

Durand, F., & Le Tallec, L. (2014, Novembre). La e-santé : de nouveaux usages pour les technologies individuelles en santé publique. *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 70-75.

Durkheim, E. (1956). *Les règles de la méthode sociologique.* Paris: PUF.

Engel, P. (2014). La cognition est-elle représentation ? Dans J.-F. Dortier (Éd.), *Le cerveau et la pensée* (pp. 163-173). Auxerre: Sciences Humaines.

Fabre, M. (2013). Rupture épistémologique et travail sur les représentations. *Recheches en Education*, 61-72.

Figeat, M., & Lebeaume, J. (2015). Des travaux manuels à la technologie : enjeux économiques et politiques (1945-1985). Dans R. D'Enfert, & J. Lebeaume (Éds.), *Réformer les disciplines. Les savoirs scolaires à l'épreuve de la modernité : 1945-1985* (pp. 17-36). Rennes: Presses Universitaires de Rennes.

Firode, A. (2013). Représentation et théorie : une analyse critique du point de vue constructiviste . *Recherches en Education*, 38-45.

Fluckiger, C., & Bart, D. (2012). L'introduction du B2i à l'école primaire : évaluer des compétences hors d'une discipline d'enseignement ? *Questions Vives*, 71-87.

Fluckiger, C. (2007). *L'appropriation des TIC par les collègiens dans les sphères familières et scolaires.* Cachan: École Normale Superière de Cachan.

Gaillard, A., & Urdapilleta, I. (2013). *Représentations mentales et catégorisation. Théories et méthodes* . Paris: L'Harmattan.

Gallina, J.-M. (2006). *Les représentations mentales* . Paris: Dunod.

Gallina, J.-M. (2011). Les représentations : un enjeu pour les sciences cognitives. Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 13-31). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Garcia, R. (2000). *El conocimiento en construction* . Barcelona: Gedisa.

Gervet, J. (1999). L'accès aux catégories premières: connaissances de l'espace et du temps. Dans J. Gervet, & M. Pratte (Éds.), *Eléments d'éthologie cognitive: du déterminisme biologique au fonctionnement cognitif* (pp. 133-141). Paris: Hermes Science Publication.

Gervet, J., & Pratte, M. (1999). Introduction. Dans J. Gervet, & M. Pratte (Éds.), *Eléments d'éthologie cognitive: du déterminisme biologique au fonctionnement cognitif* (pp. 17-27). Paris: Hermes Science Publication.

Gervet, J., & Soleilhavoup, M. (1999). Esprit animal, esprit humain continuité et ruptures. Dans G. Jacques, & P. Michel (Éds.), *Eléments d'éthologie cognitive: du déterminisme biologique au fonctionnement cognitif* (pp. 33-61). Paris: Hermes Science Publication.

Giordan, A. (2013). Apprendre l'apprendre. Dans H. Galli, N. Verney-Carron, J.-P. Alcantara, M. Jacques, & L. Maurel (Éds.), *Les didactiques au prisme de l'épistémologie: une approche plurielle* (pp. 18-29). Dijon: Editions Universitaires de Dijon.

Givry, D. (2003). Le concept de masse en physique : quelques pistes à propos des conceptions et des obstacles. *Didaskalia* (22), 41-67.

Gobert, T. (2012). Après la certification B2i, vers des compétences sous-jacentes et socio-numériques ? *Questions Vives*, 89-103.

Goubet, J.-F. (2013). Faire bouger les représentations. Sens et usages d'une métaphore pédagogique. *Recherches en Education*, 30-37.

Haas, V. (Éd.). (2006). *Les savoirs du quotidien. Transmissions, Appropriations, Représentations.* . Rennes: Presses universitaires de Rennes.

Hamon, C., & Lebeaume, J. (2016). The Historical Process of Development of Engineering Sciences as a School Discipline in France. *Universal Journal of Educational Research*, 1266-1272.

Hanisch, K. A., Kramer, A. F., & Hulin, C. L. (1991). Cognitive representations, control, and understanding of complex systems: a field study focusing on components of users' mental models and expert/novice differences. *Ergonomics*, 1129-1145.

Henry, P., & Moscovici, S. (1968). Problèmes de l'analyse de contenu. *Langages* (11), 36-60.

Hutto, D. D., & Myin, E. (2013). *Radicalizing enactivism : basic minds without content.* Cambridge: MIT.

Ineke, F., Wim, S., & de Vries, M. J. (2011, Mars). Teaching and learning the nature of technical artifacts. *International Journal of Technology and Design Education*, 277-290.

Ing, D. (2013). Rethinking Systems Thinking : Learning and Coevolving with the World . *Systems Research and Behavioral Science*, 527–547.

INSEE. (2013, 10 19). *L'économie du numérique : un réel potentiel de développement*. Consulté le 02 02, 2015, sur Insee.fr: http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=15341&page=thematiques/visage_industriel_2009/vi09_chap1.8.htm

INSEE. (2016, Juin). *Consommation et équipement des ménages*. Récupéré sur insee.fr: http://www.insee.fr/fr/themes/theme.asp?theme=5&sous_theme=1&nivgeo=0&type=1&produit=OK

Jauréguiberry, F., & Proulx, S. (2011). *Usages et enjeux des technologies de la communication.* Toulouse: Érès.

Jensen, K., Silk, J. B., Andrews, K., Bshary, R., Cheney, D. L., Hemelrijk, C. K., . . . Teufel, C. (2011). Social Knowledge. Dans R. Menzel, & J. Fisher (Éds.), *Animal Thinking: Contemporary Issues in Comparative Cognition* (pp. 267-291). Massachusetts: The MIT Press.

Jodelet, D. (2003). Représentations sociales : un domaine en expansion. Dans D. Jodelet (Éd.), *Les représentations sociales* (pp. 45-78). Paris: PUF.

Joshua, S., & Dupin, J.-J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques.* Paris: PUF.

Jovchelovitch, S. (2012). Narrative, Memory and Social Representations: A Conversation Between History and Social Psychology. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 440-456.

Kayser, D. (2003). Représentation (intelligence artificielle). Dans O. Houdé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust, & F. Rastier (Éds.), *Vocabulaire de sciences cognitives* (pp. 385-387). Paris: puf.

Keynan, A., Assaraf, O. B.-Z., & Goldman, D. (2014). The repertory grid as a tool for evaluating the development of students' ecological system thinking abilities . *Studies in Educational Evaluation*, 90–105.

Kloetzer, H. (2012). *Introduction à l'économie numérique.* Cachan: Lavoisier.

Koenig, O. (2011). Préface. Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 5-6). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2002). *Cerveau et comportement.* Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Koski, M., & de Vries, M. (2013). An exploratory study on how primary pupils approach systems. *International Journal of Technology and Design Education*, 835-848.

Kreutzer, M., & Vauclair, J. (2004). La cognition animale au carrefour de l'éthologie et de la psychologie. Dans J. Vauclair, & M. Kreutzer (Éds.), *L'éthologie cognitive* (pp. 1-19). Paris: Ophyris.

Laborde, C. (2007). Des outils pour la recherche en didactique des mathematiques forgés par Gerard Vergnaud. Dans M. Merri, *Activité humaine et conceptualisation: Questions à Gérard Vergnaud* (pp. 69-72). Toulouse: Presses Universitaires du Mirail.

Lagrange, J.-B. (2013a). Présentation. Dans J.-B. Lagrange (Éd.), *Les technologies numériques pour l'enseignement* (pp. 1-8). Toulouse: Octares.

Lardellier, P. (2006). *Le pouce et la souris : enquête sur la culture numérique des ados.* Fayard.

Lardellier, P., & Moatti, D. (2014). *Les ados pris dans la Toile : des cyberaddictions aux techno-dépendances.* Paris: Le Manuscrit.

Lassalle, J.-M. (2004). Apprentissage adaptation et cognition . Dans J. Vauclair, & M. Kreutzer (Éds.), *L'éthologie cognitive* (pp. 49-75). Paris: Ophyris.

Latzko-Toth, G., & Millerand, F. (2012). Sociologie des usages et Science & Technology Studies : un dialogue à poursuivre. Dans G. Vidal (Éd.), *La sociologie des usages : continuités et transformations* (pp. 119-150). Cachan: Lavoisier.

Le Ny, J. F. (1995*a*). L'analyse propositionnelle (prédicative). Dans J.-F. Le Ny, & M.-D. Gineste (Éds.), *La psychologie* (pp. 379-388). Paris: Larousse.

Le Ny, J.-F. (1995*b*). Comment (se) repésenter les représentations . Dans J.-F. Le Ny, & M.-D. Gineste (Éds.), *La psychologie* (pp. 273-283). Paris: Larousse.

Lebeaume, J. (2000). *L'éducation technologique.* Issy-Les-Moulineaux: ESF.

Lebeaume, J. (2011). Les élèves « sujets épistémiques » ou « sous instruits normalement doués » : deux désignations datées avec leur épaisse gangue sociale. *Recherches en Didactiques*, 35-48.

Lebeaume, J. (2011). Quand un didacticient de la technologie devient auteur d'une encyclopedie jeunesse. Analyse d'une intervention sur la ligne de partage entre enseignement et vulgarisation. *Spirale*, 157-176.

Lebeaume, J. (2013). L'éducation technologique au collège : un enseignement pour questionner la refondation du curriculum et les réorientations des disciplines. *Éducation et didactique*, 7-22.

Lebeaume, J. (2014 , Octobre 06). *L'éducation technologique dans l'école de base.* Récupéré sur education.gouv.fr : http://cache.media.education.gouv.fr/file/CSP/88/8/LEBEAUME_Joel_-_PU_-_CSP_Contribution_362888.pdf

Lebeaume, J., (2016) Indifférenciation entre investigation scientifique et conception technologique en France : risques d'abréviation des contenus et de dénaturation de la technicité : Communication 84e *Congrès ACFAS, 18 avril 2016.* (à paraître dans ouvrage en 2017)

Lebeaume, J., & Martinand, J.-L. (Éds.). (1998). *Enseigner la technologie au collège* . Paris: Hachette.

Lebeaume, J., Martinand, J.-L., & Reuter, Y. (2007). Contenus, didactiques, disciplines, formation J. *Recherche et formation* , 107-117.

Lebeaume, J., Pérez, W.-G. (2012). « How do the Interactive White Board and the Radio Frequency IDentification and tracking system work? Exploration of pupils' spontaneous knowledge and didactical proposals for Technology Education. » Patt Conference 26, Linköping, Linköping University Electronic Press.

Leontiev, A. N. (1978). Desarrollo de la psiquis. La conciencia humana. Dans A. A. Smirnov, A. N. Leontiev, S. L. Rubinstein, & B. M. Tieplov (Éds.), *Psicologia* (pp. 74-94). Mexico D. F.: Grijalbo.

Leplat, J. (2008). *Repères pour l'analyse de l'activité en ergonomie.* Paris: PUF.

Lindsay, C. (2003). From the Shadows : Users and Designers, Producers, Marketers, Distributers and Technical Support. Dans N. Oudshoorn, & T. Pinch (Éds.), *How Users Matters : The Co-Construction of Users and Technologies* (pp. 29-50). Cambridge: MIT Press.

Luria, A. R. (1982). *Langage and Cognition.* John While & Sons.

Luzeaux, D., Ruault, J.-R., & Wippler, J.-L. (2012). Introduction à l'ingénierie système. *Techniques de l'ingénieur*, 265-283.

Martin, R. (2011). Sur les fondements du ‘‘niveau conceptuel’’ . Dans A. Ouattara (Éd.), *La linguistique du Bernard Pottier : bilan, critiques, perspectives* (pp. 63-109). Rennes: Presse Universitaires de Rennes.

Martinand, J.-L. (1990). La didactique des sciences. *Revue française de pédagogie*, 114-117.

Martinand, J.-L. (2000). Missions de l’éducation scientifique et technique. *Revue internationale d’éducation de Sèvres, 25*, 9-12.

Martinand, J.-L. (2002). *Introduction à la modélisation.* Consulté le Janvier 3, 2014, sur ARTheque - ENS Cachan: http://artheque.ens-cachan.fr/items/show/4669

Martinand, J.-L. (2003). La question de la référecne en didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, 125-130.

Martinand, J.-L. (2005). Modélisation et utilisation de l'ordinateur. Dans M. Goffard, & A. Weil-Barais (Éds.), *Enseigner et apprendre les sciences recherches et pratiques* (pp. 173-192). Paris: Armand Colin.

Martinand, J.-L. (2007). Savoirs robustes et contenus instables. Dans M. Mary (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation* (pp. 203-210). Toulouse: Presses Universitares du Mirail.

Maton, & Bennet. (2011). Dans M. Thomas (Éd.), *Deconstructing digital natives : Young People, Technologies and the New Literacies* . London: Routledge.

Meignié, F., & Lebeaume, J. (2006). À la recherche de repères pour la construction d’un itinéraire structurant en technologie de l’information. Dans L.-O. Pochon, É. Bruillard, & A. Maréchal (Éds.), *Apprendre (avec) les progiciels. Entre apprentissages scolaires et pratiques professionnelles* (pp. 113-120). Lyon: INRP.

Menzel, R., & Fisher, J. (Éds.). (2011). *Animal Thinking: Contemporary Issues in Comparative Cognition.* Massachusetts: The MIT Press.

Merloz, P. (2014, Novembre). À quoi servent les nouvelles technologies en médecine et en chirurgie ? *Annales des Mines - Réalités industrielles*, 12-16.

Meunier, J.-M. (2015). *Mémoire, représentations et traitements* . Dunod.

Migne, J. (1994 (1970)). Pédagogie et représentations. *Education permanente, 119*, 11-32.

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. (2015 , Janvier). *L'équipement informatique a doublé en dix ans dans les collèges publics*. Récupéré sur education.gouv.fr: http://www.education.gouv.fr/cid84888/l-equipement-informatique-a-double-en-dix-ans-dans-les-colleges-publics.html

Ministère de l'Education Nationale, de la Jeunesse et de la Vie Associative. (2011, juillet 7). *Qu'est-ce que PrimTICE ?* Consulté le octobre 10, 2010, sur educnet.education.fr: http://www.educnet.education.fr/primaire/primtice

Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. (2016, Mars). *Ressources d'accompagnement des nouveaux programmes de l'école et du collège*. Récupéré sur eduscol.education.fr: http://eduscol.education.fr/cid99757/ressources-d-accompagnement-des-nouveaux-programmes-de-l-ecole-et-du-college.html

Ministère l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. (2014, Octobre 06). *Le brevet informatique et internet (B2i) école-collège-lycée et CFA : les référentiels*. Consulté le 09 12, 2016, sur eduscol: http://eduscol.education.fr/cid46073/b2i.html

Minote, P. (2015). *Dévoreurs d'écran : comprendre et gérer nos appétits numériques.* Bruxelles: Mardaga.

Moles, A. (1969). Théorie de la complexité et civilisation industrielle. *Communications, 13*(13), 51-63.

Moscovici, S. (2003). Des représentations collectives aux représentations sociales : éléments pour une histoire. Dans J. Denise (Éd.), *Les représentations sociales* (pp. 79-103). Paris: PUF.

Moscovici, S. (2010, Novembre 09). *Comment voit-on le monde ? Représentations sociales et réalité.* Consulté le Janvier 12, 2013, sur www.scienceshumaines.com: http://www.scienceshumaines.com/comment-voit-on-le-monde-representations-sociales-et-realite_fr_11718.html

Munera, J. (2011). Sans représentation, pas d'optimisation de l'action. Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. (. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 125-135). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

OCDE. (2015, Juillet 15). *OECD Digital Economy Outlook 2015.* Consulté le Novembre 10, 2015, sur OCDE.org: http://www.keepeek.com/Digital-Asset-

Management/oecd/science-and-technology/oecd-digital-economy-outlook-2015_9789264232440-en#page1

Oliva, J. M. (2003). The structural coherence of students' conceptions in mechanics and conceptual change. *International Journal of Science Education*, 539-561.

Orange, C., & Oranche, D. (2013, Octobre). Le concept de représentation en didactique des sciences : sa nécessaire composante épistémologique et ses conséquences. *Recherches en Education*, 46-61.

Paba, J.-F., Ginestié, J., & Agostini, M. (2013). Enseigner le concept de milieu : exemple de processus d'aide à la prise en compte des conceptions initiales des élèves. *Recherches en didactiques des sciences et des technologies*, 139-160.

Pacherie, E. (2003). Cognitivisme. Dans O. Houdé, D. Kayser, O. Koenig, J. Proust, & F. Rastier (Éds.), *Vocabulaire de sciences cognitives* (pp. 93-94). Paris: PUF.

Palfrey, J., & Gasser, U. (2011). Reclaming an Awkward Term : What We Might Learn from "Digital Natives". Dans M. Thomas (Éd.), *Deconstructing Digital Natives. Young People, Technology and the New Literacies* (pp. 186-204). New York: Taylor & Francis.

Pastré, P. (1994). Variations sur le développement des adultes et leurs représentations. *Education permanente*, 33-64.

Pastré, P. (2007). Champs conceptuels et champs professionnels. Dans M. Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Verganud* (pp. 79-86). Toulouse: Presse Universitaires du Mirail.

Pearson, D., & Vossler, A. (2016, Juin). Methodological issues in focus group research: The example of investigating counsellors' experiences of working with same-sex couples. *Counselling Psychology Review, 31*, 8-16.

Pensky, M. (2001, October). Digital Natives, Digital Immigrants. *On the Horizon (NCB University Press), 9*(5), 6. Récupéré sur http://www.hw.ac.uk/library/old-website/emerald.html

Perriault, J. (2002). *Education et nouvelles technologies. Théorie et pratiques* . Paris: Nathan Université.

Perriault, J. (2015, février 4). *Retour sur la logique de l'usage.* Consulté le mai 12, 2016, sur Revue française des sciences de l'information et de la communication : https://rfsic-revues-org.frodon.univ-paris5.fr/1221

Piaget, J. ([1947] 2012). *La représentation du monde chez l'enfant.* Paris: PUF.

Pérez, W.-G., Lebeaume, J. (2015). Exploration des connaissances spontanées des collégiens à propos du fonctionnement des écrans tactiles : perspectives pour l'éducation scientifique et technologique. Dans J. Lebeaume, & A. Hasni (Éds.), *Éducation technologique et sciences de l'ingénieur* (pp. 57-78). Lille: Presses Universitaires du Septentrion.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change . *Science Education* , 211-227.

Potvin, P. (2002). *Regard épistémique sur une évolution conceptuelle en physique au secondaire.* Montréal: Université de Montréal.

Potvin, P., & Thouin, M. (2003). Étude qualitative d'évolutions conceptuelles en contexte d'explorations libres en physique-mécanique au secondaire. *Revue des sciences de l'éducation*, 525-544.

Poucet, B., & Cressant, A. (1999). La cognition spatiale chez l'anial: aspects comportementaux et neuronaux. Dans J. Gervet, & M. Pratte (Éds.), *Eléments d'éthologie cognitive: du déterminisme biologique au fonctionnement cognitif* (pp. 205-219). Paris: Hermes Science Publication.

Poucet, B., & Save, E. (2004). La représentation de l'espace chez l'animal. Dans J. Vauclair, & M. Kreutzer (Éds.), *L'éthologie cognitive* (pp. 101-116). Paris: Ophyris.

Putois, B. (2011). L'utilisation des représentations dans l'étude des relations spatiales visuelles : naissance d'ambiguïté . Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 59-67). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Rabardel, P. (1993). Représentations dans des situations d'Activités Instrumentées. Dans A. Weill-Fassina, & P. Rabardel (Éds.), *Représentations pur l'action* (pp. 97-113). Toulouse: Octares.

Rabardel, P. (1995*a*). *Les hommes et les technologies.* Paris: Armand Colin.

Rabardel, P. (1995*b*). Qu'est-ce qu'un instrument ? *Les dossiers de l'Ingénierie éducative*, 61-65.

Reiner, M., Slotta, J., Chi, M., & Resnick, L. (2000). Naive physics reasoning : A Commitment to Substance-Based Conception. *Cognition and Instruction, 18*, 1-34.

Reuter, Y. (Éd.). (2007). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques.* Bruxelles: de boeck.

Richard, J. F. (2004). *Les représentations mentales : de l'interprétation de l'information à l'action* . Paris: Armand Colin.

Rinaud, J. L., & Poyet, F. (2009). Des recherches sur les environnements numériques . Dans J. L. Rinaud, & F. (. Poyet (Éds.), *Environnements numériques en milieu scolaire. Quels usages et quelles pratiques ?* (pp. 9-19). Lyon: INRP.

Robardet, G., & Guillaud, J.-C. (1997). *Éléments de didactique des sciences physiques.* Paris: PUF.

Rodrigues, J., Corsini, M.-M., & N'koua, B. (2011). Représentation et intelligence artificielle: un point de vue évolutionniste. . Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. C. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 81-91). De Boeck Supérieur.

Rogalski, J. (2015). Psychologie de la programmation, didactique de l'informatique. Déjà une histoire… Dans G.-L. Baron, É. Bruillard, & B. Drot-Delange (Éds.), *Informatique en éducation : perspectives curriculaires et didactiques* (pp. 281-304). Clermont-Ferrand: Presses univrsitaires Blaise Pacal.

Rosenthal, M. (2016). Qualitative research methods: Why, when, and how to conduct interviews and focus groups in pharmacy research. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning, 8*, 509-516.

Roth, W.-M. (2008). The nature of scientific conceptions: A discursive psychological perspective . *Educational Research Review*, 30–50.

Roy, J.-M. (2011). Conclusions générales. Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 211- 216). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Roy, J.-M., Putois, B., Maionchi-Pino, N., Pénicaud, F.-X., Bault, N., & Chambon, V. (2011). Présentation . Dans J.-M. Roy, B. Putois, N. Maionchi-Pino, F.-X. Pénicaud, N. Bault, & V. Chambon (Éds.), *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 139-139). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Rubinstein, S. L. (1963). *El ser y la conciencia.* Mexico D.F.: Grijalbo.

Rubinstein, S. L. (2007). L'activité. Dans V. Nosulenko, & P. (. Rabardel, *La question de l'activité dans la psychologie russe* (pp. 141-174). Toulouse: Octares.

Saidel, E. (2009). Attributing mental représentations to animals. Dans R. W. Lurz (Éd.), *The philosophy of animal minds* (pp. 35-51). Cambrige: Cambrige University Press.

Sallaberry, J.-C. (2004). *Dinamique des représentations et constructions des concepts scientifiques. Perspectives pour la didactique des sciences physiques.* Paris: L'Harmattan.

Sensevy, G. (2007). Vergnaud, un pragmatiste? Dans M. Merry (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Vergnaud* (pp. 41-48). Toulouse: Presses Universitaires du Mirail.

Sharken, S. J. (1999). How to Conduct Focus Groups Here's a practical, effective way to connect with the people your organization serves. *Nonprofit World, 17*(5), 40-43.

Sinatra, G. M. (2005). The "Warming Trend" in Conceptual Change Research: The Legacy of Paul R. Pintrich . *Educational Psycologist, 40*, 107–115.

Sullivan, F. R. (2008). Robotics and Science Literacy: Thinking Skills, Science Process Skills and Systems Understanding . 373–394.

Sutton, S. G., & Arnold, V. (2013, Juin). Focus group methods: Using interactive and nominal groups to explore emerging technology-driven phenomena in accounting and information systems. *International Journal of Accounting Information Systems, 14*(2), 81-88.

Svensson, M., & Ingerman, A. (2010). Discerning technological systems related to everyday objects: mapping the variation in pupils' experience. *International Journal of Technology and Design Education*, 255-275.

Takahashi, T. (2011). Japanese Youth And Mobile Media. Dans M. Thomas (Éd.), *Deconstructing digital natives : Young People, Technologies and the New Literacies* (pp. 67-82). London: Routledge.

Tassinari, R. (2006). *Pratique de l'anlyse fonctionnelle.* Paris: Dunod.

Tassinari, R. (2012). *Analyse fonctionnelle.* Saint-Denis La Plaine : AFNOR.

Tiberghien, A. (2003, Novembre 25). *Des connaissances naïves au savoir scientifique* . Consulté le Mai 12, 2015, sur Centre pour la Communication Scientifique Directe: https://edutice.archives-ouvertes.fr/edutice-00000285

Toussaint, J. (1990). Vous avez dit informatique et didactique ? *ASTER*, 3-10.

Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Les réseaux neuronaux dédiés au langage chez l'adulte. Dans O. Etard, & N. Tzourio-Mazoyer (Éds.), *Cerveau et langage* (pp. 67-101). Paris: Lavoisier.

Vergnaud, G. (1981). *L'enfant, la mathématique et la réalité.* Berne: P. Lang.

Vergnaud, G. (1985). Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française, 30*, 245-252.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs Conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques, 10*, 133-170.

Vergnaud, G. (1995). Le raisonnement en mathématiques et en physique. Dans J.-F. Le Ny, & M.-D. Gineste (Éds.), *La psychologie* (pp. 516-524). Paris: Larousse.

Vergnaud, G. (2002, Avril 15). *La conceptualisation, clef de voûte des rapports entre pratique et théorie.* Consulté le Janvier 29, 2012, sur éduscol: http://lnk.fr/wricb=oa

Vergnaud, G. (2007a). Héritages. Dans M. Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Verganud* (pp. 27-37). Toulouse: Presse Universitaires du Mirail.

Vergnaud, G. (2007b). Représentation et activité : deux concepts étroitement associés. *Recherches en Education*, 9-22.

Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human Development , 52*, 83–94.

Viciana, H. (2011). À quoi bon les représentations chez l'animal ? . Dans *Peut-on se passer de représentations en sciences cognitives ?* (pp. 141-151). Bruxelles: De Boeck Supérieur.

Vidal, G. (2012). Présentation. Dans G. Vidal (Éd.), *La sociologie des usages : continuités et transformations* (pp. 15-22). Cachan: Lavoisier.

Vincent, H. (2013, Octobre). Les implications d'un mot d'ordre. *Recherches en Education* , 3-14.

Vosniadou, S. (2013a). Conceptual Change Research : An Introduction. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 1-7). New York: Routledge.

Vosniadou, S. (2013b). Conceptual Change in Learnig and Instruction : The Framework Theory Approach. Dans S. Vosniadou (Éd.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 11-30). New York: Routledge.

Vygotski, L. S. ([1937] 1998). *Pensée et langage* . Paris: La Dispute.

Vygotski, L. S. ([1931] 2014). *Histoire du développement des fonctions psychiques supérieures.* Paris: La Dispute.

Wallon, H. (1963). Psychologie et matérialisme dialectique. *Enfance, 16*(1), 31-34 .

Weil-Barais, A. (2005). Approches psycho-didactiques. Dans M. Goffard, & A. Weil-Barais (Éds.), *Enseigner et apprendre les sciences recherches et pratiques* (pp. 133-171). Paris: Armand Colin.

Weil-Barais, A. (2007). Préface. Dans M. Merri (Éd.), *Activité humaine et conceptualisation : questions à Gérard Verganud* (pp. 19-25). Toulouse: Presse Universitaires du Mirail.

Wells, G. (2008). Learning to use scientific concepts. *Cultural Studies of Science Education*, 329–350.

Zirbel, E. (2004). Framework for conceptual change. *Astronomy Educational Review, 3*(1), 62-76.

Annexes 1. Les réponses des collégiens en situation d'entretien

Élèves de 6e

Entretien n° 1 (élèves de 6e)

CONTEXTE : *je dépose les trois artefacts tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils, je manipule leurs écrans tactiles et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élève 1 : à l'intérieur il y a des boutons
3. Élève 2 : non, c'est un détecteur de ***chaleur*** et quand ce n'est pas la chaleur il y a un stylet avec
4. Élève 3 : un détecteur de toucher ?
5. **MOI : qu'est-ce qu'il détecte ?**
6. Elève 2 : la **chaleur**
7. Elève 1 : le **mouvement**
8. **MOI : Commençons par ces idées. La chaleur : si l'écran réagit à la chaleur il doit donc fonctionner avec tout ce qui est « chaud », n'est-ce pas ?**
9. *Élèves : Oui, oui…*
10. **Moi : dans ce cas, si l'on « chauffe » ce stylo et puis l'on touche l'écran il doit réagir ?**
11. Elève 2 : non mais ça ne détecte que la peau humaine, ça ne détecte que les trucs de l'humain.
12. Elève 3 : ah je sais !!! C'est l'empreinte, c'est l'empreinte !
13. Élève 2 : non, normalement c'est le doigt, *c'est avec la chaleur humaine.*
14. **MOI : donc ce n'est pas n'importe quelle « chaleur » il faut que ce soit… [je laisse les élèves compléter]**
15. Elèves 1 et 2 : humaine, c'est la chaleur humaine
16. **MOI : dans ce cas il faudra donc que l'appareil distingue entre la chaleur du doigt (humaine) et la chaleur de ce morceau de plastique. Comment cela est-il possible ?**
17. Elève 3 : déjà, les mains sont toujours un peu plus chaudes [plus chaudes que quoi ? Il ne dit pas] et… les empreintes aussi un peu [*les mains ont des empreintes, pas les objets*]

18. Elève 2 : la main elle est molle aussi. La main dégage la chaleur et eux [il parle des objets] ils vont la garder pendant un temps.
19. Elèves 1 et 2 : après le détecteur il détecte et il envoi à la batterie.
20. ***CONTEXTE :*** *J'insiste sur l'impossibilité d'attribuer « une chaleur » à un objet en particulier. Notamment sur le fait que si l'on dit que l'écran est sensible à la chaleur, alors il doit réagir avec tout ce qu'est « chaud ».*
21. Élève 2 : donc, ce n'est pas la chaleur ?
22. **MOI : non, les appareils qu'on a ici ne réagissent pas à la chaleur.**
23. Élève 3 : c'est l'empreinte.
24. Élève 2 : c'est le touché, qui ne soit pas trop dur.
25. **MOI : pas trop dur ? Tu veux dire que le touché ne doit pas être fait avec quelque chose de rigide ?**
26. Elève 2 : oui, voilà [*il touche au même temps avec son doit pour montrer qu'il s'aplatit facilement*].
27. Elève 1 : oui mais regarde : je touche comme ça, c'est dur et ça marche ! [Cet élève vient de plier son doigt pour toucher l'écran avec l'os qui ressort de la jointure des doigts]
28. **MOI : il paraît que ce n'est pas non plus la « dureté ».**
29. Elève 1 : c'est un truc de la peau humaine.
30. Élève 2 : c'est le ***sang*** ! le sang il bouge et le détecteur de mouvement il va détecter la circulation.
31. Élève 1 : c'est forcément dans la peau, c'est quelque chose qu'on a dans la peau.
32. Élève 3 : c'est les poils
33. Élève 2 : c'est la proportionnalité du doigt [il veut dire ses dimensions]
34. **MOI : mais ça marche avec les doigts de toutes les tailles.**
35. ***EXPERIENCE :*** *un des élèves (2) se demande si ça marche avec l'ongle. Il fait l'expérience : l'écran ne réagit pas.*
36. Élève 2 : donc, voilà, c'est dans la peau !
37. Élève 3 : c'est la chair,
38. Elève 1 : c'est les gènes, c'est l'ADN
39. ***CONTEXTE :*** *l'élève 2, après avoir touché la table avec son doit, constate que sous la pression la peau qui en contact avec la table expérimente un mouvement cisaillement, un mouvement de va et vient.*
40. Elève 2 : ah ! C'est parce que l**a peau bouge** ! Quand on pose le doigt ça bouge.

41. CONTEXTE : *j'ai fait un commentaire sans lien avec l'expérience et dans une des phrases j'emploie prononce le vocable « son ». L'élève auquel je parlais (élève1) rebondit immédiatement …*

42. Élève 1 : ah oui, c'est le ***son*** ! ! C'est à dire que quand on touche on fait obligatoirement du bruit et il y a un capteur qui entend.
43. Elève 3 : oui, mais quand tu touches avec un truc dur ça fait du bruit aussi [cet élève veut souligner qu'il n'y a pas que le doigt qui fait du bruit]
44. Elève 1 : les scorpions, ils ont des poils et ils peuvent entendre des scarabées comme si c'était des éléphants. C'est ce que j'ai vu dans un documentaire.

45. MOI : il a raison : c'est possible que ce soit la détection du « bruit » …

46. Elève 3 : mais si l'on met [touche] avec un truc dur ça ne va pas marcher et ça sera du bruit quand-même [*il complète sa remarque précédente*]

47. MOI : Donc, ce n'est pas le bruit non plus. Qu'est-ce que ça peut-être ?

48. Élève 3 : c'est dans la peau.
49. Elève 2 : bon, je ne sais pas.
50. Élève 3 : les os ?
51. Elève 2 : les pigments ?

52. MOI : et pourquoi ça marche quand on touche [le doigt avec] avec le sac plastique ?

53. Elève 1 : c'est peut-être parce que le sac est bridé… l'empreinte est bridé.
54. Elève 3 : non, ce n'est pas que ce soit bridé ?
55. Elève 1 : peut-être parce que le sac plastique il n'est pas tout droit, pas comme s'il soit un vêtement repassé, donc quand on touche il y a toujours de pliures quelque part.
56. Elève 3 : non, non : regarde (il déploie bien le sac sur son doigt de manière à éliminer tous les plies), il n'y a plus de pliures là, on est d'accord.
57. Elève 1 : ah oui, donc c'est autre chose.
58. Elève 2 : l'eau ! L'eau qu'on a dans les doigts
59. Elève 3 : je ne crois pas parce que même si tu mouille ça (le stylo) ça marchera pas.
60. Elève 1 : et le truc blanc ? Peut-être dans les doigts parce que quand on appuie le doigt devient blanc.

61. **CONTEXTE :** *Ils cherchent la réponse dans ses doigts comme si la réponse s'y trouverait…*

62. MOI : c'est bien, merci.

Entretien n° 2 (élèves de 6e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils, je manipule leurs écrans tactiles et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Elève 1 : c'est tactile.
3. Elève 2 : *parce que* nous… la peau elle est humide ; si l'on fait ça avec un coton mouillé ça marche aussi, un coton avec de l'eau dessus : *j'ai fait ça* avec mon IPad.
4. Elève 1 : si l'on fait ça *par exemple* avec un stylo ou un style de DS ça ne marche pas.
5. **MOI : et pourquoi ça ne marche pas.**
6. Elève 2 : *parce qu'il* y a une reconnaissance !
7. **MOI : une reconnaissance de quoi ?**
8. Elève 2 : de l'humidité
9. Elève 1 : de l'eau qu'on a dans notre corps.
10. Elève 2 : mais d'un côté ce n'est pas ça... *parce que* j'ai un stylet pour iPad qui n'est pas mouillé et ça marche [*elle rejette sa propre hypothèse*]
11. Elève 1 : il faut *peut-être* que ce soit rond.
12. Elève 2 : il faut que ce soit malléable, la peau elle n'est pas comme ça, dur [elle prend un objet plastique] : la peau elle est élastique.
13. Elève 1 : mais si je fais comme ça ne marche pas [l'élève prend une gomme à effacer et la frotte sur l'écran. L'idée étant de « tirer » avec la gomme sur l'écran].
14. Elève 2 : mais avec la gomme je ne pense pas que tu puisses tirer autant qu'avec la peau.
15. **MOI : est-ce qu'il marchera avec le nez ?**
16. Elèves (toutes) : oui, oui, oui !
17. Elève 2 : c'est la matière de la peau !
18. Elève 1 : quand ça a été créé, ça a été créé expressément pour une peau humaine, pas pour autre chose.
19. **MOI : mais comment expliquer alors que ça marche avec un coton humide ? La peau ne touche pas l'écran dans ce cas-là. En plus, regardez :**
20. **EXPERIENCE :** *j'interpose une feuille de papier entre le doigt et l'écran, je touche l'écran : l'écran réagit normalement.*
21. **MOI : vous voyez, ce n'est pas la peau.**
22. Elève 1 : ça fait comme… ça fait comme un aimant ! Comme si…

23. Elève 2 : ah c'est *parce qu'*il y a quelque chose qui passe.
24. Elève 3 : la feuille elle est fine. C'est la pression
25. Elève 2 : non *parce que* ça aussi, et ça aussi… [*elle signale les objets qui ne font pas réagir l'écran : elle veut souligner qu'avec ces objets on peut aussi exercer une pression sur l'écran*]
26. Elève 3 : ah c'est *parce que* c'est rond au bout !
27. MOI : et si je touche seulement avec la feuille, ça va marcher ?
28. Elèves : non, non…
29. CONTEXTE : *je leur demande de séparer les objets qu'ils ont déjà manipulés en deux groupes, ceux qui font réagir et ceux qui ne font pas réagir l'écran tactile. Ensuite il faudra identifier le matériau qui les constitue…*
30. MOI : voyons : d'un côté ça ne marche pas avec le plastique, ni avec la gomme, ni le papier… etc. Toutefois, de l'autre côté ça marche avec l'aluminium, le fer…
31. Elève 1 : c'est conducteur ! ça c'est parce que c'est conducteur ! *[Cet élève comprend tout de suite la distinction à faire entre les deux familles de matériaux*]
32. **CONTEXTE :** *les autres – deux – élèves ne percutent pas sur la remarque.*
33. MOI : Donc, l'écran ne réagit qu'au contact des conducteurs électriques. La question est donc : pourquoi ça marche aussi avec mon doigt ?
34. Elève 3 : en fait dans notre doigt il y a du métal.
35. Elève 2 : on a du fer dans notre corps.
36. MOI : qu'est-ce qui peut nous arriver si l'on met un doigt dans une prise électrique
37. Elève 2 : on s'électrocute
38. Elève 1 : ah ! C'est parce que la peau aussi elle est conductrice !
39. MOI : En effet. Les écrans tactiles comme ceux qu'on a sur la table ne réagissent qu'au conducteurs électriques. Merci.

Entretien n° 3 (élèves de 6e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Elève 1 : c'est le touché
3. Elève 2 : on fait une pression
4. **MOI : et si l'on fait pression avec l'ongle, est-ce que ça marchera**
5. Elève 2 : non, ça ne marche pas [il venait de faire l'expérience].
6. Elève 1 : ah il y a des capteurs ! Des capteurs de peau.
7. ***CONTEXTE :*** *pendant que nous discutions, l'élève 3 touchait l'un des écrans tactiles avec les différents objets qui sont sur la table. Il constate que...*
8. Elève 3 : ah oui ça marche avec ça ! [Il venait de toucher l'écran avec un objet métallique]
9. **MOI : et ça marche aussi avec le doigt. La question c'est donc : quel est le lien entre le métal et notre doigt ?**
10. Elève 2 : le métal c'est un porteur de …
11. Elève 1 : ah ! Ce n'est pas un isolant ! C'est conducteur ! [on voit ici le caractère opératoire du concept]
12. **MOI : et le plastique, il est quoi ?**
13. Elève 2 : c'est isolant !
14. **MOI : donc, l'écran ne réagit qu'aux conducteurs électriques…**
15. Elève 1 : et nous on est conducteurs aussi !
16. Elève 2 : en fait, ça marche *parce qu'il* y a une chose qui permet de recevoir tout avec la force, avec le truc des conducteurs [cet élève ne maitrise pas le concept de conducteur électrique]
17. Elève 3 : par contre la gomme n'est pas un conductrice, donc ça ne marche pas.
18. **MOI : c'est très bien, merci**

Entretien n° 4 (élèves de 6e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Elève 1 : il y a des boutons derrière l'écran et quand tu touches ça appuie sur le bouton et il se déclenche ; et il y a plein de boutons
3. Elève 2 : il y a un bouton pour aller au menu, un bouton pour appeler
4. **MOI : et ils sont où ces boutons ?**
5. Elève 2 et 1 : en dessous de l'écran ; c'est tactile ; ça actionne de trucs
6. Elève 1 : il y a des millions de boutons.
7. Elève 2 : il y en a partout dans l'écran.
8. **MOI : et ils servent à quoi ces boutons ?**
9. Elèves 2 : c'est des détecteurs
10. Elève 1 : oui, c'est ça.
11. **MOI : et qu'est-ce qu'ils détectent ces boutons**
12. Elève 1 : ils captent quand on touche
13. Elève 2 : le doigt il est, il est… ils transmet de l'électricité
14. Elève 1 : *en fait* le doigt il est chaud et quand on touche ça se sent, ça dégage la chaleur et avec la chaleur il arrive à savoir où est-ce qu'on touche. C'est pour ça qu'avec un stylet ça ne marche pas parce qu'il est froid.
15. **MOI : on a deux idées : pour toi c'est la chaleur ; et pour toi c'est l'électricité des doigts [je suis interrompu par l'élève 1]**
16. Elève 1 : il y a de la vie aussi : par exemple si l'on chauffe ça (un morceau de plastique) ça ne va pas marcher sur l'écran.
17. **MOI : donc ce n'est pas la chaleur ?**
18. Elève 1 : non, non, ce n'est pas la chaleur. Il y a de la vie dans nos doigts.
19. Elève 2 : ça doit sentir quand on appuie « comme ça » (il presse l'écran avec son doigt]
20. **MOI : et pourquoi il ne sent quand j'appuie avec cette gomme ?**
21. Elève 2 : *parce qu'il* faut aussi la chaleur et l'électricité… et puis il y a la matière aussi : ça dépend de la matière qui touche.
22. **MOI : mais on avait déjà dit que ce n'est pas lié à la chaleur.**

23. Elève 2 : il y des matières particulières : le doigt ça marche ; *il faut que* ce soit collant !

24. MOI : collant ?!

25. Elève 2 : oui le doigt ne glisse pas bien.

26. MOI : mais la gomme non plus, et ça ne marche pas.

27. Elève 1 : c'est l'électricité : c'est conducteur

28. MOI : pourquoi tu penses que c'est lié à cela ?

29. Elève 1 : je ne sais pas ! Il y a de l'électricité dedans, donc c'est pour ça.

30. MOI : donc ?

31. Elève 1 : il a des fils qui dépassent et quand on appuie sur les deux fils au même temps, comme c'est conducteur, ça va faire quelque chose.

32. MOI : et qu'est-ce qui est conducteur ?

33. Elève 2 : le doigt

34. Elève 1 : oui, oui

35. MOI : donc ça doit marcher aussi avec un métal, car il est conducteur.

36. Elève 2 : non, non, je ne pense pas.

37. Elève 1 : [ne se prononce pas]

38. CONTEXTE : on fait l'expérience : ça marche.

39. Elèves : ça marche avec les conducteurs alors.

40. MOI : c'est bien ça, merci.

<u>Entretien n° 5 (élèves de 6e)</u>

CONTEXTE : je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :

MOI : comment ça marche un écran tactile

1. Elève 1 : il y des capteurs qui captent. Et ça ne marche qu'avec la matière des doigts : si l'on fait avec la gomme ça ne marche pas
2. Elève 2 : si l'on met des gants en hiver ça ne marche pas
3. Elève 1 : mais il y a des gants spéciaux
4. **MOI : ce n'est qu'avec les doigts ? Est-ce qu'il marche avec le coude, par exemple ?**
5. Elève 1 : oui !
6. Elève 2 : [pas d'avis, il reste en silence]
7. **CONTEXTE : je touche l'écran avec mon coude : il réagit.**
8. Elève 2 : c'est avec la peau.
9. **MOI : et pourquoi pas avec le gomme ?**
10. Elève 2 : parce qu'il n'a pas été fait pour marcher avec la gomme.
11. **CONTEXTE :** *je touche l'écran avec un objet en plastique et avec du papier, : l'écran ne réagit pas. Ensuite j'interpose une feuille entre le doigt et l'écran : je touche l'écran et il réagit normalement.*
12. **MOI : avec le papier tout seul ça ne marche pas mais si l'on pose le doigt sur le papier et touche l'écran, alors ça marche…**
13. Elève 1 : c'est *peut-être* l'électricité ; pas l'électricité qui fait la lumière mais une sorte d'électricité qui peut faire marcher
14. Elève 2 : et que vous pouvez transmettre à travers le papier [l'idée que ça passe]
15. **EXPERIENCE :** *je prends des objets métalliques et je leur montre que « ça marche » aussi avec les objets métalliques…*
16. **MOI : ça marche aussi avec les métaux : quel lien peut avoir entre les métaux et le doigt ?**
17. Elève 2 : qu'il y a la même substance
18. Elève 1 : je ne sais pas.
19. **CONTEXTE :** *les élèves restent comme bloqués, ils ne disent plus rien…*
20. **MOI : très bien, merci.**

Entretien n°6 (élèves de 6e)

CONTEXTE : je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :

MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?

1. Élève 2 : dedans *il y a* de petits puces qui reconnaissent quand on touche et quand on appuie dessus ; ça nous amène sur la page où on a appuyé.
2. Élève 1 : ça fait *comme* le clavier de l'ordinateur [*analogie*].
3. Élève 2 : en dessous *il y a* des petits trucs électroniques que quand on appui dessus ça active quelque chose.
4. **MOI : est-ce que ces écrans réagissent face à n'importe quel objet ?**
5. Elève 3 : non, seulement avec les doigts
6. **MOI : et comment l'écran fait pour reconnaître le toucher des doigts et pas celui de cet objet (une gomme à effacer), par exemple ?**
7. Élève 2 (F) : c'est *à cause des* empreintes digitales… *en fait* ça ne prend que les doigts *parce que* tous les doigts ont des **empreintes digitales** et que c'est plus **lisse**.
8. Elève 1 : dedans il y a une espèce de truc que quand on pose un doigt ça active, *c'est comme* un code sonore que quand on met ses doigts… au touché ! [**Analogie**]
9. **MOI : mais pourquoi si je touche avec la gomme rien ne se passe …**
10. Elève 2 : *parce que* ça (**la gomme) c'est un objet**… alors que **nous on peut bouger** tout seuls et ça c'est nous qui devons le faire bouger.
11. **MOI : et pourquoi ça ne marche pas avec ces objets (stylo, gomme, trousse, cahier, crayon à mine) ?**
12. Elève 2 : il y a une puce qui ne reconnaît que les doigts.
13. ***EXPERIENCE : je montre aux enfants qu'en posant le doigt sur une feuille de papier l'écran réagit normalement.***
14. **MOI : vous voyez, il ne faut pas que le doigt touche directement l'écran.**
15. Elève 2 : *parce que l*e doigt est sur le papier et le papier n'est pas très épais et sa passe.
16. **MOI : qu'est-ce qui passe ?**
17. Elève 1 : ah je sais ! En fait cette machine a été conçue pour mettre nous doigts dessus [Pour cet élève il s'agit d'une découverte].
18. **MOI : certes, et comment ils arrivent à faire cela ?**
19. Elève 1 : c'est comme les ordinateurs.

20. Élève 2 : c'est l'écran l'endroit qui est fait pour le toucher des doigts. Ça marche avec le papier *parce que* le doigt a touché le papier.

21. **EXPERIENCE :** *un des enfants touche l'écran avec l'ongle : il ne réagit pas.*

22. Elève 1 : ça ne marche même pas avec l'ongle ! [Son étonnement vient peut-être du fait bien que, faisant partie du doigt, l'ongle ne fait pas réagir l'écran]
23. Elève 2 : C'est un truc avec la peau, ça ne reconnait que la peau.
24. Elève 1 : l'ADN, ça reconnait l'ADN ! [Association]
25. **MOI : mais rappelez-vous de l'expérience avec le papier : on a vu que l'écran réagit même si la peau n'est pas en contact direct avec l'écran.**
26. Élève 2 : oui mais avec le papier tout seul ça ne marche pas ; *alors que* si l'on met le doigt ça marche.
27. **MOI : c'est vrai, et qu'est-ce que cela veut dire pour toi ?**
28. Élève 1 : ah, chaque toucher de la main avec quelque chose peut marcher…
29. Élève 2 : *parce ce que* c'est tellement fin que ça passe...
30. **MOI : « ça passe » ? Qu'est ce qui passe ?**
31. Élève 2 : les fibres… enfin la matière du papier.
32. Élève 1 : les microparticules électriques qu'on a dans notre corps ! [Cet élève avait proposé antérieurement tout en tas d'hypothèses, d'idées qui lui venaient à la tête, parfois non pertinentes et très disparates, et là il exprime une très bonne idée].
33. **MOI : voilà une bonne idée ! Qu'est-ce que c'est ces « microparticules » ?**
34. Élève1 : ***On a appris ça* en sciences** : on a des bouts de tissu… on a des mini-particules électriques c'est pour ça que dès fois quand on touche le gens on passe de l'électricité.
35. 2 : et ça active de milliers de puces … enfin pas de puces : quelque chose qui est dedans et qui reconnaît la partie électrique [Cet élève a besoin du terme « capteur »].
36. **MOI : c'est très bien. Merci**

Élèves de 3e

Entretien n°7. (Élèves de 3e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élève 1 : parce que en dessus il y a des capteurs sensoriels ...
3. Élève 2 : oui, il y a des capteurs : c'est comme dans mon portable [*il me montre son téléphone BlackBerry avec de touches*], en dessus des touches il y des contacts, comme dans l'ordinateur...
4. Élève 3 : oui, mais ce n'est ne pas pareil, ça ne marche pas avec tout, j'ai déjà essaie avec tout mais ça marche qu'avec le doigt.
5. Élève 4 : c'est parce que l'écran il est plus dur [*comme pour les 6e, pour l'élève 4 c'est une question de « dureté » : le doigt est mou, l'écran est dur*]
6. Élève 2 : en fait, les portables qui ne marchent pas avec le stylet c'est parce que ça doit être réglé pour que ça marche qu'avec *la chaleur corporelle*.
7. **MOI : D'accord, mais si l'on chauffe le stylo, ça marchera alors ?**
8. Élève 2 : oui, ça marchera
9. Élève 1 : bah non ! Ça ne marchera pas. Ça ne marque qu'avec le doigt !
10. Élève 3 : en plus, on n'a pas tous la même chaleur corporelle, et on peut tous allumer un portable.
11. Élève 2 : si, justement, 37-38...
12. Élève 3 : d'accord mais quelqu'un qui a de la fièvre il n'aura plus de mal à allumer un portable qu'un autre qui n'est pas malade...
13. Élève 2 : non, mais ce que je veux dire c'est que le téléphone doit être ajusté entre 35 et 40°...
14. Élève 3 : mais quel est l'intérêt de faire ça ?
15. Élève 2 : bah, par exemple : si tu as ton portable dans ta poche et tu as d'autres objets dedans qui peuvent déverrouiller ton portable, il ne s'allumera qu'avec ton doigt. Comme ça tu es sûr que c'est toi qui l'allumeras...
16. Élève 1 : non, non, si c'est un portable tactile, ce qu'il a dit ce n'est pas juste parce que si tu as le portable dans ta poche souvent il s'allume tout seul.
17. **MOI : Alors, on avait parlé des capteurs, mais sur l'écran tactile il n'y a pas des touches, cependant il répond également, comment est-il possible cela ?**

18. CONTEXTE : les élèves commencent à toucher l'écran tactile avec les objets qui sont sur la table : stylo Bic, gomme, règle, crayon etc.

19. Élève 2 : mais ça ce n'est pas un stylo adapté [*il signale le stylo Bic*]

20. Élève 3 : non, ce parce qu'il a raison. C'est la chaleur ! [*Cet élève était initialement contre cette idée : maintenant il la défend*]

21. Élève 1 : oui, parce quand tu touches à peine ça marche également [*il suffit d'effleurer l'écran pour qu'il réagisse* : ça doit donc être la chaleur].

22. Élève 3 : bah le capteur il est fait pour repérer un doigt.

23. MOI : Pour repérer un doigt... comment ?

24. Élève 3 : enfin, pour repérer la peau du doigt... [l'élève 3 *généralise à la peau*]

25. Élève 1 : non, non. En fait, les savants l'ont programmé pour recevoir uniquement les doigts [*c'est fait pour ; pour l'élève 1 il n'y a pas de généralisation à la peau*].

26. MOI : Ah bon, essaie avec ton nez pour voir...

27. Élève 1 : ah oui, ça marche ! [*Sa surprise vient du fait que cet élève n'avait pas fait de généralisation à la peau]*

28. Élève 2 : essaie avec tes cheveux.

29. Élève 3 : bah non, avec les cheveux ça ne va pas marcher.

30. Élève 4 : non *parce que* les cheveux ne sont pas assez durs, assez rigides... [cette élève propose les mêmes arguments donnés par les enfants de classes de 6e]

31. Élève 3 et 2 : non, ça ne marche pas parce que c'est la chaleur, c'est la chaleur !

32. CONTEXTE : Ils s'accordent tous sur le fait que c'est la chaleur.

33. MOI : Ok, très bien. Mais comment peut-on être sûr de cette hypothèse ? Est-ce que cette idée peut ne pas être réfutée ?

34. ***CONTEXTE :*** *les élèves restent pensifs : pas d'idées.*

35. MOI : et si l'on touche l'écran tactile avec des gants, est-ce qu'il réagira ?

36. EXPERIENCE : l'élève 2 touche l'écran à travers son pull : l'écran ne réagit pas [le pull est en laine et il est très épais].

37. Élève 2 : Non, avec ça, ça ne marche pas.

38. Élève 3 : mais non, il ne marche pas parce que ça *[le pull]* isole *la chaleur* !

39. MOI : Donc, ça voudrait dire que ça marchera si le pull atteint la même température du doigt, non ?

40. Élève 3 : Exact !

41. ***EXPERIENCE :*** *l'élève 3 prend son pull (en coton et fin), elle cache le doigt dedans et touche l'écran tactile : l'écran réagit.*

42. Elève 3 : Voilà, ça marche !
43. Élève 2 : oui, ça marche *parce que* ton pull est tout fin...
44. Élève 3 : mais peu importe qu'il soit fin ou pas... **avec le tient il faudra juste atteindre plus de temps** pour qu'il soit chaud. **C'est la chaleur** !
45. EXPERIENCE : je prends la règle et je la frotte vigoureusement sur mon jean avec l'idée de la chauffer ; une fois « chaude », je touche l'écran tactile : l'écran ne réagit pas.
46. **MOI : Alors, et pourquoi quand je chauffe cet objet et je touche l'écran ça ne marche pas ? Si c'est la chaleur ça doit fonctionner avec tout ce qui est chaud, n'est-ce pas ?**
47. Élève 2 : oui : ce n'est pas la chaleur alors.
48. Élève 1 : **c'est l'électricité statique ?**
49. **MOI : peut-être : comment le prouver ?**
50. **EXPERIENCE :** *l'élève 1 prend la même règle et commence à la frotter contre son jeans ; il touche l'écran plusieurs fois de suite et en faisant de plus en plus d'attention à son geste mais l'écran ne réagit pas.*
51. Élève 1 : et non, ça ne marche pas non plus.
52. Élève 3 : oui mais c'est parce que tu l'as fait avec ton jeans... essaie avec quelque chose en laine, comme ton pull [cet élève suppose que la règle n'a pas été suffisamment « électrifié » : le transfert de charges est fonction du matériau].
53. **EXPERIENCE :** *ils répètent plusieurs fois l'expérience avec le pull en laine mais l'écran ne réagit toujours pas.*
54. Élève 1 : non plus ! [*Il est déçu : son hypothèse n'est pas vérifiée*]
55. Élève 2 : bah c'est parce que ça dépend de la charge et peut-être tu n'as pas mis assez.
56. CONTEXTE : les débattent sur la quantité de charges qu'il faudra à la règle pour faire réagir l'écran. Ils concluent que c'est une question de « quantité de charge ».
57. **MOI : Merci.**

Entretien n°8 (élèves de 3e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élève 1 : je crois qu'il y a deux plaques de verre et entre les verres il y a une espèce de, de… je ne sais pas comme on dit.
3. Elève 3 : de détecteurs
4. Élève 2 (f) : moi je pense que c'est des fibres…
5. Elève 1 et 2 : des fibres ? [Ils sont surpris par cette idée]
6. MOI : des fibres ?
7. Elève 3 (f) : un truc comme dans la pub de Numéricâble... j'ai l'impression que quand on appui il y truc des lumières qui se pointent... je ne sais pas comment expliquer, j'ai l'image dans la tête mais c'est dur à expliquer.
8. **MOI : pour toi le téléphone il émet de la lumière ?**
9. Élève 2 : non, non. L'idée c'est qu'il y a un truc tactile et il est programmé et quand on touche il y a des infos qui se réunissent et ils reconnaissent cette information.
10. **MOI : et comment il sait qu'on a touché ?**
11. Élève 2 : parce qu'il est programmé.
12. **MOI : d'accord : et pourquoi il ne reconnaît pas cet objet, par exemple ?**
13. **CONTEXTE :** *je prends le stylo Bic et je touche l'écran tactile.*
14. **MOI : qu'est-ce qu'il reconnaît ?**
15. Élève 3 : la chaleur
16. Élève 2 : de ***pression.***
17. Élève 1 : non, pas de ***pression*** de …
18. **MOI : voilà des idées qu'il faudra tester.**
19. Élève 3 (f) : c'est le truc qu'on les policiers, comment ça s'appelle ?
20. Élèves : les empreintes !
21. Élève 3 (f) : voilà, c'est ça, ***l'empreinte*** quoi [*nous verrons par la suite que les arguments de l'élève3 sont proches de ceux donnés par les CM2*].
22. Élèves 2 et 1 : bah non, parce que ça veut dire qu'il faut d'abord prélever ton empreinte, et en plus ça marche avec n'importe quelle empreinte.

23. Élève 3 : mais ils reconnaissent n'importe quelle empreinte parce qu'ils le font avec l'empreinte de base [*il est évident que cet élève ne maitrise pas le concept d' « empreinte digitale »]*.
24. **MOI : donc, si je « cache » mon empreinte l'écran ne doit pas réagir, n'est-ce pas ?**
25. ***EXPERIENCE :*** *je touche l'écran à travers un sac plastique : l'écran réagit.*
26. Élèves : bon, ce n'est pas l'empreinte
27. Élève 2 : peut-être c'est le ***mouvement***, le ***frottement*** [argument de CM2 et de 6e]
28. Élève 1 : *bah non*, regarde, ça marche même si l'on ne déplace pas le doigt.
29. Élève 3 : c'est la ***bioénergie… je ne sais pas :*** l***à on sort tout ce qu'on a dans la tête*** !
30. Élève 2 :
31. Élèves 1 : c'est la ***chaleur***, ***l'humidité*** !
32. **MOI : donc, si c'est vraiment l'humidité, dans l'expérience avec le sac plastique l'écran n'aurais pas dû avoir réagi et cependant il a fonctionné.**
33. Élève 1 : c'est avec la ***chaleur*** alors...
34. Élève 2 : non parce qu'il y des gants qui sont faits pour pouvoir toucher le téléphone sans avoir à les enlever. Ils sont une espèce de gel au bout.
35. **MOI : Très bien, mais pourquoi avec d'autres gants ça ne marche pas ?**
36. Élève 1 : ça doit être la texture, il faut que ça colle un peu
37. **MOI : Et pourquoi les téléphones tactiles ne marchent pas avec tout ce qui est chaud ?**
38. Élève 3 : ça ne doit pas être la chaleur...
39. Élève 4 : ça doit être magnétique alors. Je sais que s'i l'on rapproche un aimant au téléphone ça peut le dérégler
40. Élève 1 : mais si l'on touche l'écran avec un aimant ça ne va pas marcher
41. Élève 4 : alors je ne sais pas.
42. *Élèves : ils restent en silence*
43. Élève 1 : c'est par impulsion électrique alors
44. Élève 3 : c'est l'électricité statique
45. **MOI : très bien, merci.**

Entretien n°9 (élèves de 3e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élèves 1 : il détecte la ***chaleur*** des doigts [cet élève proposera la plupart des idées et des remarques pertinentes : il explicite l'étape de détection et le phénomène à détecter]
3. Élève 2 : il y a de ***détecteurs*** à l'intérieur
4. **MOI : Donc il y a de détecteurs thermiques sous l'écran. Il détecte la chaleur ?**
5. Élève 1 : oui parce que tout le monde est chaud
6. Élève 3 : mais ***pas pour les morts*** parce qu'ils sont *froids*...
7. **MOI : vous voulez dire que si l'on chauffe un mort ? Le téléphone va fonctionner dans ce cas ?**
8. Élève 1 : et oui, je crois
9. Élève 4 : bah ***non***, *il n'y a pas que la chaleur* parce que si l'on chauffe une casserole et puis on appui avec elle ça ne va pas réagir ...
10. Élève 2 : non parce que c'est la ***circulation sanguine***
11. Élève 3 : c'est la ***force*** qu'on fait.
12. Élève 4 : à travers les vêtements c'est chaud mais ça ne marche pas... donc il doit avoir autre chose ... peut-être la ***matière de la peau***.
13. **MOI : Si l'on croit à cette possibilité – la matière de la peau – le téléphone ne doit pas réagir si l'on interpose quelque chose entre le doigt et l'écran, n'est-ce pas ?**
14. ***EXPERIENCE :*** *j'interpose un morceau de sac plastiquée entre le doigt et l'écran. Je touche l'écran et il réagit normalement.*
15. ***MOI : donc, ça marche également. Et il n'y a pourtant pas contact avec la peau.***
16. Élève 3 : c'est la ***force***...
17. Élève 1 : ***non***, ce n'est pas la force parce si l'on appui très doucement, comme ça *[elle effleure l'écran]* ça marche également...
18. Élève 2 : Donc ça veut dire qu'il y a quelque chose en plus de la chaleur, quelque chose avec la ***matière***...
19. Élève 1 : c'est parce que ***ça traverse…***
20. Élève 4 : et comment est-ce que ça fonctionne aussi avec le sac plastique ???
21. **MOI : mais pourquoi dites-vous que ça fonctionne avec le sac plastique ?**

22. Élève 4 : parce que regardez, ça marche avec le sac plastique [elle refait l'expérience : elle touche l'écran tactile avec le sac plastique interposé entre le doigt et l'écran.]
23. **MOI : Oui, mais il n'y a pas que le sac : regardez …**
24. ***EXPERIENCE :*** *j'ai fait un nœud dans une des extrémités du sac plastique, puis j'ai mis le nœud en contact avec l'écran tactile du Smartphone : l'écran n'a pas réagi.*
25. **MOI : Et alors ?**
26. Élève 4 : non, ça ne marche pas… [les élèves sont déçus]
27. Élève 3 : c'est parce que ce n'est pas chaud !
28. **MOI : on le chauffe dans ce cas ...**
29. ***EXPERIENCE :*** *j'ai pris le nœud, je l'ai frotté énergiquement contre mon pantalon ; j'ai touché l'écran avec mais pas de réaction…*
30. **MOI : Et alors ?**
31. Élève 3 : ça marche pas... ce n'est pas ça alors [ce n'est pas la chaleur]
32. Élève 2 : c'est parce qu'il n'y a pas de ***contact avec le corps humain...***
33. Élève 1 : c'est quelque chose avec la ***chair***...
34. Élève 3 : c'est un truc ***électrique***...
35. Élève 4 : déjà je sais que dans le corps humain il y des ondes magnétiques... mais je ne sais pas...
36. *Élèves : elles restent en silence...*
37. **MOI : tout à l'heure vous avez exprimé l'idée (c'est l'élève 1 qui l'avait dit) que c'est parce que ça laisse passer : qu'est ce qui passe ?**
38. Élève 1 : bah je sais que le sac plastique il est assez fin donc, forcement ça laisse passer quelques chose (elle ne dit pas quoi)
39. **MOI : mais qu'est-ce qui passe ?**
40. Élève 1 : bah... la chaleur [*elle reprend une idée déjà invalidée*]
41. Élève 3 : non, c'est comme de ***l'électricité*** quoi... parfois ça arrive qu'il y a des courants entre certaines personnes, ça peut-être *en rapport avec ça*...
42. Élève 2 : oui, c'est peut-être de l'***électricité statique***...
43. Élève 4 : bah oui, c'est l'électricité statique
44. Élève 2 : donc, si ça arrive entre les personnes c'est forcément parce que les gens dégagent un minimum d'électricité...
45. Élève 1 : oui, par exemple : si tu as une écharpe en laine ou quelque chose comme ça, ça fait toujours... (elle est interrompue)

46. Élève 2 : non, pas forcément : parfois tu fais la bise à des gens et tu te prends un coup... donc ce n'est pas par rapport à l'écharpe en laine : c'est quelque chose que dégage le corps humain et voilà...
47. Élève 1 : ***mais non***, le corps humain ***conduit l'électricité*** mais il ne peut l'en ***produire*** : dès que tu es rempli d'électricité statique tu la conduis à quelqu'un d'autre et c'est comme ça que tu as le « coup-de-jus » ...
48. Élève 2 : donc, ce n'est pas l'électricité mais c'est forcément quelque chose
49. Élève 4 : c'est une force...
50. Élève 1 : une force ? là tu parts très loin ...
51. ***CONTEXTE :*** *l'une des élèves prend l'iPod et commence à voir si ça marche avec d'autres parties du doigt : elle plie sont doigt et elle touche avec la jointure : ça marche ! Je lui suggère en suite d'essayer avec le nez : ça marche ! S'exclame-t-elle.*
52. Élève 4 : mais par exemple avec les gants ça ne marche pas. Il y des gants spéciaux pour ça. Ça doit être fait d'une ***matière spéciale*** pour que ça marche alors qu'il n'y a pas contact avec le doigt ou le corps...
53. Élève 1 : ceci dit, ils doivent avoir quelque chose qui ressemble à la matière de la peau...
54. Élève 4 : oui, voilà...
55. Élève 2 : c'est alors la matière...
56. **… Sonnerie. Fin de l'entretien**

Entretien n° 10 (élèves de 3e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élève 1 : il y a des capteurs sous l'écran qui analysent les ***mouvements*** qu'on fait et l'endroit où l'on touche
3. Élève 2 : ça détecte les ***empreintes humaines***
4. Élève 3 : c'est parce qu'on émet de ***l'énergie***
5. Élève 1 : dans le mouvement il y de l'énergie
6. Élève 2 : dans les empreintes il y aussi de ***l'énergie thermique***
7. **MOI : Ok, on a donc que le fonctionnement du système tactile peut être lié au mouvement, aux empreintes, à l'énergie thermique, etc. Et comment valider ces hypothèses ?**
8. Élève 1 : bah l'énergie thermique est dans notre corps parce qu'on est à 37°C
9. **MOI : : C'est juste : donc, si l'on chauffe n'importe quel objet jusqu'à 37°C il doit être capable d'actionner le téléphone, n'est pas ?**
10. Élèves : oui ...
11. **EXPERIENCE :** *je tiens dans ma main pendant quelques secondes une gomme à effacer et puis je touche l'écran : l'écran ne réagit pas.*
12. Élèves : non, ça ne marche pas.
13. Élève 4 : donc, ce n'est pas l'énergie thermique ...
14. Élève 2 : c'est l'empreinte alors...
15. Élève 3 : ça doit être ça parce que si l'on touche avec des gants ou avec un tissu ça ne répond pas...
16. **MOI : Et ça veut dire quoi que le fait que le téléphone ne répond pas dans ce genre de situations ?**
17. Élève 1 : ça veut dire qu'il faut que la peau soit en contact avec le téléphone
18. **MOI : D'accord, et est-ce qu'il faut que ça soit spécifiquement avec le doigt ?**
19. Élève 2 : non, ça peut être avec une autre partie du corps, regardez (il touche avec le coude et il me montre) ...
20. **MOI : Je lui montre que même avec le nez ça marche...**
21. Élève 1 : c'est parce que c'est humide, c'est l'humidité !

22. **MOI : D'accord, donc, si cette idée est bonne il suffit juste d'humidifier cette gomme et de la rapprocher à l'écran du téléphone, il doit marcher...**
23. Élève 1 : hum... Oui, je crois.
24. **CONTEXTE :** *Ils restent silencieux. J'essaie de leur introduire dans une démarche générale dans laquelle ils puissent en déduire que dans la nature il y a des phénomènes auxquels on est plus au moins sensibles grâce aux divers « capteurs » intégrés dans notre corps, etc...*
25. **MOI : En plus de la chaleur, de l'humidité, des empreintes, à quoi d'autre peut être sensible le téléphone ?**
26. Élève 2 : ah oui ! C'est visuel (il veut dire optique). Il y a des petites cameras... des émetteurs de lumière qui savent s'il y a quelque chose qui obstrue son passage à un endroit précis.
27. **MOI : Tu veux dire que c'est un système optique ?**
28. Élève 2 : oui c'est ça, un système ***optique***.
29. **MOI : Et tu peux préciser un peu comme il fonctionne ce système ?**
30. Élève 2 : c'est un système qui sait qu'on est sur l'écran quand on y met quelque chose...
31. **MOI : Mais dans ce cas, ce système doit être capable de reconnaître tout ce qui se positionne sur l'écran, et non pas uniquement le corps humain. Non ?**
32. Élève 2 : oui
33. MOI : et pourquoi alors il ne réagit pas avec cette gomme, ou avec ce stylo par exemple ?
34. Élève 4 : alors, ce n'est pas optique non plus
35. Élève 3 : moi je n'ai aucune idée de ce qui peut être...
36. **CONTEXTE : silence.**
37. **MOI : Merci**

Entretien n°11 (élèves 3e)

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élève 1 : je pense que c'est une sorte de couche qui est tactile et en dessous il y a des réseaux qui permettent d'aller n'importe où... je ne sais pas.
3. **MOI : Prenez ces différents objets (différents matériaux) et vérifiez si l'un de ces trois appareils répond au touché de n'importe lequel de ces objets.**
4. Élèves : non, ça ne marche qu'avec le doigt...
5. **MOI : Essayons d'expliquer ce résultat...**
6. Élève 2 : peut-être c'est parce qu'il y a « un truc » de ***reconnaissance digitale*** ou quelque chose comme ça, qui est programmé en fonction de ce qui touche l'écran : si ce qui touche l'écran n'est pas un doigt il ne le reconnaît pas et il ne fonctionne pas.
7. Élève 1 : c'est peut-être la texture du doigt qui est spécial
8. ***CONTEXTE :*** *Nous avons réalisé l'expérience avec le sac plastique et avec le papier interposé entre l'écran et le doigt...*
9. Élèves : ah ! ça marche.
10. Élève 3 : apparemment il n'est pas nécessaire de le toucher directement avec le doigt. Ça doit être alors la ***pression*** qu'on exerce sur l'écran.
11. **MOI : Oui, c'est une possibilité. Mais on a vu que si l'on exerce pression avec n'importe quel objet parmi ceux qui sont sur la table l'écran ne marche pas pour autant. Donc, ce n'est pas la pression non plus. Qu'est-ce que cela peut-être.**
12. Élève 4 : c'est la chaleur humaine ?
13. **MOI : Donc, dans ce cas la téléphone doit marcher avec tout ce qui est chaud, n'est-ce pas ?**
14. **Élèves : oui**
15. EXPERIENCE : *je frotte énergiquement un des côtés du stylo Bic en platique. Je leur demande de toucher et de constater que ça température a bien augmentée. Je frotte à nouveau l'objet et je touche immédiatement l'écran tactile : pas de réaction de la part de ce dernier.*
16. Élèves : non, ça ne marche pas...
17. **MOI : on peut donc affirmer que ce n'est pas la chaleur.**
18. ***CONTEXTE :*** *les élèves restent pensifs mais ne disent plus rien… FIN*

<u>Entretien n° 12 (élèves de 3e)</u>

CONTEXTE : *je dépose les trois systèmes tactiles sur la table (iPod, téléphone tactile et iPod Nano). Une fois déverrouillés les trois appareils je manipule leurs écrans et je demande aux élèves :*

1. **MOI : à votre avis, comment ça marche un écran tactile ?**
2. Élève 1 : je crois que c'est un système avec plusieurs capteurs et quand on exerce *une pression* sur un de ses capteurs il envoi l'information au microprocesseur qui fait apparaître la fonction
3. Élève 2 : moi je pense pareil, ce sont des capteurs et quand on touche il détecte où l'on a posé notre doit
4. Élève 3 : c'est un programme
5. **MOI : D'accord. Vous avez surtout parlé du logiciel, de ce qui est programmé. Mais si l'on se concentre juste sur le *comment* ce logiciel « sait » que l'on vient de toucher.**
6. Élève 2 : c'est la pression
7. Élève 4 : c'est parce qu'il y a des frottements
8. Élève 3 : c'est la chaleur
9. Élève 1 : oui, sauf que le téléphone *ne marche pas avec tout*
10. **MOI : Qu'est-ce que vous voulez dire ?**
11. Élève 1 : je crois en fait que c'est à partir de la peau humaine. Parce que ces téléphones marchent qu'avec la peau et pas avec un stylet, par exemple.
12. Élève 3 : ou quand on a des gants...
13. ***CONTEXTE : on vient de faire quelques expériences : chauffer un objet ; frotter avec un objet ; presser avec divers objets, etc.***
14. Élèves : non, ça ne marche pas.
15. Élève 1 : surement c'est parce qu'il doit prendre plusieurs facteurs en compte.
16. Élève 2 : c'est parce que nos doigts ils accrochent, la peau elle a des imperfections [même idée que chez les 6e]
17. Élève 4 : les empreintes ?
18. ***EXPERIENCE :*** *afin d'invalider l'hypothèse des empreintes, j'interpose une feuille de cahier et un morceau de sac plastique entre le doigt et l'écran tactile : ce dernier réagit toujours.*
19. **MOI : vous voyez donc qu'il n'est pas nécessaire de toucher l'écran directement…**

20. Élève 3 : non, ce n'est pas l'empreinte.
21. Élève 1 : mais ça a à avoir avec l'humain.
22. Élève 2 : non, pas forcement, avec un animal aussi. Il y a des vidéos sur « You tube » avec des chats et des IPads et ça marche aussi !
23. **MOI : Alors, dans ce cas on peut dire que ça marche avec les animaux …**
24. Élève 1 : c'est dans les *molécules*. Tout est vivant dans les animaux. On n'est pas des objets matériels.
25. Élève 2 : il y a quelque chose dans la peau
26. Élève 4 : c'est à cause de l'humidité de la peau
27. Élève 3 : non, ce n'est pas l'humidité parce que avec le plastique et le papier ils sont secs.
28. Élève 4 : ça n'a pas à voir avec l'électricité ?
29. Élève 2 : ah oui, l'*électricité statique* !