



**HAL**  
open science

Mise en œuvre de la RA dans le processus  
d'enseignement-apprentissage en STI2D : Étude de son  
efficacité dans l'analyse fonctionnelle d'un système  
technique.

Luc Antonelli

► To cite this version:

Luc Antonelli. Mise en œuvre de la RA dans le processus d'enseignement-apprentissage en STI2D : Étude de son efficacité dans l'analyse fonctionnelle d'un système technique.. Technologies Émergentes [cs.ET]. Aix-Marseille Université (AMU), 2020. Français. NNT : . tel-03599114

**HAL Id: tel-03599114**

**<https://hal.science/tel-03599114>**

Submitted on 6 Mar 2022

**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 D'AIX-MARSEILLE  
ÉCOLE DOCTORALE 356  
COGNITION, LANGAGE, ÉDUCATION

UFR LABORATOIRE ADEF

Thèse présentée pour obtenir le grade universitaire de docteur

Discipline : Sciences de l'Éducation

**Luc ANTONELLI**

**Mise en œuvre de la RA dans le processus d'enseignement-  
apprentissage en STI2D : Etude de son efficacité dans  
l'analyse fonctionnelle d'un système technique.**

Sous la direction de  
Marjolaine Chatoney et Patrice Laisney

Soutenue le 02 Décembre 2020, devant le jury :

Jacques GINESTIE, Université d'Aix-Marseille, (Président du jury)  
Marjolaine CHATONEY, Université d'Aix-Marseille, (Directeur)  
Patrice LAISNEY, Université d'Aix-Marseille, (Co-directeur)  
Mario COTTRON, Université de Poitiers, (Rapporteur du jury)  
Konstantinos RAVANIS, University of Patras, (Rapporteur du jury)  
Pascal LEROUX, Université du Mans, (Membre du jury)

# Résumé

Les systèmes techniques contemporains sont, de par leur dimension pluri technologique, de plus en plus complexes. Leurs analyses occupent désormais une position centrale dans les différents niveaux et les différentes matières scientifiques qui jalonnent le parcours des étudiants.

L'éducation technologique requiert désormais l'utilisation de méthodes diverses et variées. Prenons, par exemple, le cas des filières STI2D propre aux lycées technologiques. Suite à la réforme du lycée appliquée en 2011, le bac STI est remplacé par le bac STI2D afin de mieux préparer les élèves vers la vie active et les nouveaux besoins de l'industrie. Ce nouveau bac a pour vocation de permettre aux élèves d'aborder les notions technologiques et du développement durable. Pour cela, l'utilisation d'outils adaptés à la mise en place d'une pédagogie inductive mobilisant divers systèmes techniques, doit être pensée en amont par le professeur. Il s'agit là d'une alternative aux enseignements plus théoriques de la voie générale. Les outils sont donc des éléments incontournables constituant la base de ces enseignements technologiques. Si nous nous focalisons sur les outils numériques, différentes instrumentalisation sont associées à cette pédagogie.

Ces outils numériques sont issus pour la plupart du monde industriel et sont couramment utilisés par de nombreux opérateurs, techniciens et ingénieurs. Tel est le cas des animations Flash, des QR Code, des réalités augmentée et/ou virtuelle... Ils peuvent ainsi s'apparenter à des ressources à part entière ou à des aides visant à améliorer la compréhension d'une situation ou d'une représentation. Dès le collège, les professeurs en font des artefacts censés apporter aux élèves une meilleure approche systémique en vue de mener à bien l'analyse des différents fonctionnements d'objets techniques plus ou moins complexes. Toutefois, la mise en place de ces techniques numériques issues du monde industriel révèle deux problèmes : Un problème de transposition de ces outils industriels vers le monde de l'éducation technologique. Un

problème d'appropriation et de transformation de ces outils en artefacts à des fins d'apprentissage.

L'utilisation de ces outils numériques rajoute des compétences à acquérir pour l'élève. Quels sont les différents artefacts que le professeur devra choisir pour que l'élève puisse acquérir un savoir-faire dans ce contexte technologique ? Comment s'effectue la transmission des savoirs à l'élève ? L'observation des réactions des élèves dans leurs apprentissages des gestes techniques (configuration, maintenance, réglage) devrait apporter des éléments de compréhension, étayant ainsi notre recherche.

Cette recherche doctorale concerne l'apport que la réalité augmentée pourrait engendrer dans le cadre d'enseignements – apprentissages en technologie. Plus précisément, si l'analyse des systèmes techniques est meilleure lorsque la réalité augmentée est sollicitée. La question de recherche traite des différentes stratégies d'utilisation de la réalité augmentée dans les conditions que connaissent les enseignants et les élèves au lycée technologique.

La transposition de ces outils issus de l'industrie pose également des problèmes d'adaptations. Pour tenter de répondre à ces questions, le cadre théorique et méthodologique comporte différentes composantes éducatives, cognitives et systémiques. Cet élargissement permet d'intégrer les différents processus étudiés dans cette problématisation éducative, que nous voulons situer dans une vision globale et généraliste. Notre méthodologie a été élaborée de manière quantitative au plus près des professeurs et des élèves. Le but est d'appréhender comment les élèves instrumentalisent la réalité augmentée.

Mots clés : Outils numériques, réalité augmentée, systèmes techniques, analyses, enseignement, apprentissage, industrie, didactique, technologie, éducation.

# Abstract

Contemporary technical systems are, by their multi-technological dimension, more and more complex. These analyzes now occupy a central position in the different levels and different scientific subjects that mark the course of the students.

Technological education now requires the use of diverse and varied methods. Take, for example, the case of STI2D courses specific to technological high schools. Following the high school reform applied in 2011, the STI bac is replaced by the STI2D bac in order to better prepare students for working life and the new needs of the industry. The purpose of this new bac is to allow students to approach technological concepts and sustainable development. For this, the use of tools adapted to the implementation of an inductive pedagogy mobilizing various technical systems, must be thought upstream by the professor. This is an alternative to the more theoretical lessons of the general route. Tools are therefore essential elements constituting the basis of these technological lessons. If we focus on digital tools, different instrumentalizations are associated with this pedagogy.

These digital tools are mostly from the industrial world and are commonly used by many operators, technicians and engineers. This is the case of Flash animations, QR Code, augmented and / or virtual realities... They can thus be compared to full-fledged resources or aid aimed at improving the understanding of a situation or representation. . From middle school, teachers made them into artifacts that were supposed to provide students with a better systemic approach with a view to carrying out an analysis of the different functions of more or less complex technical objects. However, the implementation of these digital techniques from the industrial world reveals two problems: Transposition's problem of these industrial tools to the world of technological education. Appropriating and transforming's problems of these tools into artifacts for learning purposes.

The use of these digital tools adds skills to acquire for the student. What are the different artefacts that the teacher will have to choose for the student to acquire know-how in this technological context? How is knowledge passed on to the student? Observing the reactions of students in their learning of technical gestures (configuration, maintenance, and adjustment) should provide elements of understanding, thus supporting our research.

This doctoral research concerns the contribution that augmented reality could generate within the framework of teaching - learning in technology. More precisely, if technical systems's analyse is better when augmented reality is requested. The research question deals with the different strategies for using augmented reality in the conditions experienced by teachers and students in technological high school.

The transposition of these tools from the industry also poses adaptation problems. In an attempt to answer these questions, the theoretical and methodological framework includes different educational, cognitive and systemic components. This enlargement makes it possible to integrate the different processes studied in this educational problematization, which we want to situate in a global and generalist vision. Our methodology was developed quantitatively as closely as possible to teachers and students. The goal is to understand how students use augmented reality.

Keywords : igital tools, augmented reality, technical systems, analyzes, teaching, learning, industry, didactics, technology, education.

# Remerciements

Je remercie à travers ces quelques lignes, tous les acteurs qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je ne remercierai jamais assez Marjolaine CHATONEY sans qui rien n'aurait été possible. Ses précieux conseils et son empathie m'ont permis de ne jamais renoncer dans les moments difficiles. Merci mille fois pour m'avoir permis de me développer, à mon rythme, à travers ce challenge. Je suis fier d'avoir pu travailler à ses côtés et ainsi bénéficier de son immense expérience.

Merci à Patrice LAISNEY qui m'a souvent rassuré dans mes avancées et encouragé lors des communications et cela tout au long des années doctorales. Ses réflexions et son parcours ont toujours été un exemple à suivre à mes yeux. Merci à Jean-François HEROLD qui a aiguisé mon regard sur la didactique des sciences technologiques et ses nombreuses références. Je tiens aussi à remercier les membres de l'équipe EAST du laboratoire ADEF pour leur accueil, leur écoute et leur aide. Plus particulièrement Maria Antonietta IMPEDOVO et Jérémy CASTERA pour leurs suggestions et brillants conseils sur les points exigeants. Merci à Pascale BRANDT-POMARES, Konstantinos RAVANIS, Jean-Marie BOILEVIN pour leurs encouragements lors de ma première communication au colloque SIEST 2019 de Patras. Ils m'ont ainsi permis de me dépasser sur ce type d'exercice. Je remercie également John WILLIAMS que je n'ai rencontré que quelques heures au commencement de cette thèse et qui a pourtant contribué, par son soutien et ses conseils, à mieux me faire prendre conscience des enjeux internationaux portés par les sciences de l'éducation en technologie. Je tiens aussi à remercier mes collègues de formations et en particulier Yakoub NDYAYE avec qui nous avons partagé nos doutes et nos joies tout au long de ces années de travail. Merci à Monsieur Sylvain LADENT puis Monsieur Charles MONGRAND, proviseurs du Lycée du Rempart à Marseille, qui m'ont chacun, toujours soutenu dans cette recherche. Merci aux élèves de premières STI2D du lycée du Rempart qui ont participé aux expérimentations.

Merci à ma famille. Ma femme Catherine BOUCHU pour sa patience inégalée et son soutien sans faille. Elle qui a toujours su me recentrer au sein du « cocon familial » et des enfants Malo et Thomas que je remercie aussi tellement pour leurs encouragements. Merci à mère Michèle DIEBOLT, qui a toujours cru en moi et m'a soutenu dans les moments difficiles. Merci à ma grand-mère Lucienne DIEBOLT qui, avec ses 95 ans, m'a toujours encouragé à finir ce travail « dans les temps » ...



Enfin, je dédie cette thèse à mon père, Jacques ANTONELLI, qui n'a malheureusement pas pu vivre assez longtemps pour assister à sa finalisation. Je le remercie pour m'avoir appris à ne jamais cesser de se battre, même quand tout s'effondre autour de soi...

*A dopu babu « Balenzoni ».*

# Table des matières

<b>RESUME .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>4</b>
<b>REMERCIEMENTS.....</b>	<b>6</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES.....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>12</b>
<b>1. LA TECHNOLOGIE RA : DE L'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNOLOGIE A L'OUTIL .....</b>	<b>14</b>
1.1. APPROCHES PHILOSOPHIQUES ET SOCIETALES DE LA TECHNOLOGIE.....	14
1.1.1. <i>Technologie et transmission des valeurs de la république.....</i>	<i>14</i>
1.1.2. <i>Les défis et objectifs sociaux de la technologie.....</i>	<i>17</i>
1.2. LES PRECEPTES ET OUTILS DE LA TECHNOLOGIE.....	20
1.2.1. <i>Définition de la réalité augmentée (RA).....</i>	<i>21</i>
1.2.2. <i>Historique de la Réalité Augmentée .....</i>	<i>24</i>
1.3. L'ENSEIGNEMENT DES SCIENCES INDUSTRIELLES .....	29
1.3.1. <i>Un enseignement par la démarche de projet.....</i>	<i>29</i>
1.3.2. <i>L'étude de systèmes au centre de l'enseignement.....</i>	<i>30</i>
1.3.3. <i>L'analyse fonctionnelle dans la démarche de projet technologique .....</i>	<i>36</i>
<b>2. ENSEIGNEMENT-APPRENTISSAGE EN TECHNOLOGIE .....</b>	<b>40</b>
2.1. UN PROCESSUS COMPLEXE D'INTERACTIONS.....	40
2.1.1. <i>Typologie des taches.....</i>	<i>42</i>
2.2. L'ELABORATION ET LA CONSTITUTION DES CADRES THEORIQUES .....	44
2.2.1. <i>Apprentissage par l'approche instrumentale dans une activité de démarche de projet. ....</i>	<i>44</i>
2.2.2. <i>Le rôle des outils mis à disposition des élèves.....</i>	<i>47</i>
2.2.3. <i>La question de l'efficacité en contexte scolaire et impact en conditions réelles.....</i>	<i>48</i>
2.3. DIAGNOSTIC DE TERRAIN .....	51
2.3.1. <i>L'IDE Flash comme outil numérique.....</i>	<i>52</i>
2.3.2. <i>La réalité augmentée comme outil numérique.....</i>	<i>52</i>
2.3.3. <i>Les outils numériques dans la démarche de projets .....</i>	<i>53</i>
2.3.4. <i>Analyse des résultats .....</i>	<i>54</i>
2.3.5. <i>Discussions.....</i>	<i>58</i>

2.3.6.	<i>Conclusion</i> .....	60
2.4.	SYNTHESE, QUESTIONS ET HYPOTHESES .....	62
<b>3.</b>	<b>PLAN EXPERIMENTAL .....</b>	<b>65</b>
3.1.	REFORMULATION DE LA QUESTION DE RECHERCHE ET HYPOTHESES .....	65
3.2.	CHAMPS D'INVESTIGATION ET CONTEXTE DE L'EXPERIMENTATION .....	66
3.3.	METHODOLOGIE ET OPERATIONNALISATION D'H1 – FOCUS SUR ANALYSE DE SYSTEME .....	66
3.3.1.	<i>Déroulement de la séquence proposée aux élèves</i> .....	67
3.3.2.	<i>La tâche</i> .....	68
3.3.3.	<i>Analyse a priori de la tâche</i> .....	69
3.3.4.	<i>Condition de réalisation de la tâche</i> .....	69
3.3.5.	<i>Collecte des données pour H1 et grille d'analyse</i> .....	72
3.4.	METHODOLOGIE ET OPERATIONNALISATION D'H2 - FOCUS SUR LA MISE EN SERVICE DU SYSTEME	
	CARTE RASPBERRY PI/ BORNE ARCADE .....	73
3.4.1.	<i>Déroulement de la séquence proposée aux élèves</i> .....	74
3.4.2.	<i>La tâche</i> .....	75
3.4.3.	<i>Analyse a priori de la tâche</i> .....	76
3.4.4.	<i>Condition de réalisation de la tâche</i> .....	76
3.4.5.	<i>Collecte des données pour H2 et grille d'analyse</i> .....	77
<b>4.</b>	<b>EFFICACITE DE LA RA DANS L'ANALYSE DE SYSTEME.....</b>	<b>79</b>
4.1.	ANALYSE DES ANALYSES DE SYSTEMES PRODUITES PAR LES ELEVES .....	79
4.1.1.	<i>Intérêt des élèves par rapport à l'instrument RA pour analyser un système</i> .....	79
4.1.2.	<i>Le texte comme mode de description le plus utilisé par les élèves</i> .....	80
4.1.3.	<i>Trois blocs fonctionnels identifiés par les élèves</i> .....	80
4.1.4.	<i>Les composants identifiés par les élèves</i> .....	83
4.2.	CATEGORISATION QUALITATIVE DES ANALYSES DE SYSTEME PAR RAPPORT AU CONTENU .....	86
4.2.1.	<i>Catégories correspondantes aux productions du groupe RA</i> .....	87
4.2.2.	<i>Catégories des productions du groupe T</i> .....	89
4.2.3.	<i>Analyse des écarts entre les productions du groupe RA et T</i> .....	90
4.2.4.	<i>Synthèse sur les productions réalisées par les élèves</i> .....	94
4.2.5.	<i>Conclusion</i> .....	96
4.3.	RAPPORTS ENTRE LE NIVEAU SCOLAIRE DES ELEVES, LA QUALITE DES ANALYSES DE SYSTEME	
	PRODUITES ET RA.....	97
4.3.1.	<i>Analyse de la qualité des productions par rapport aux bons élèves RA</i> .....	97
4.3.2.	<i>Analyse de la qualité des productions par rapport aux bons élèves T</i> .....	99
4.3.3.	<i>Constat sur l'ensemble des bons élèves et rôle de la RA</i> .....	101
4.3.4.	<i>Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves moyens RA</i> .....	102

4.3.5.	<i>Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves moyens T</i> .....	103
4.3.6.	<i>Constat sur l'ensemble des élèves moyens et rôle de la RA</i> .....	104
4.3.7.	<i>Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves faibles RA</i> .....	105
4.3.8.	<i>Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves faibles T</i> .....	106
4.4.	SYNTHESE ET CONCLUSION SUR L'EFFICACITE DE LA RA EN ANALYSE DE SYSTEME .....	108
<b>5.</b>	<b>FONCTIONS PRAGMATIQUES ATTRIBUEES A LA RA PAR LES ELEVES</b> .....	<b>115</b>
5.1.	ANALYSE DES PROCEDURES DE MISE EN ŒUVRE DU SYSTEME, PRODUITES PAR LES ELEVES .....	115
5.1.1.	<i>Nombre de procédures fonctionnelles (ou pas) produites</i> .....	115
5.1.2.	<i>Analyse des erreurs commises par les élèves dans les procédures non fonctionnelles</i> .....	116
5.1.3.	<i>Nombre d'erreurs par opération et par groupe</i> .....	117
5.1.4.	<i>Ecart type</i> .....	120
5.1.5.	<i>Cas des opérations D et E</i> .....	122
5.1.6.	<i>Conclusion de l'étude des traces des élèves</i> .....	127
5.2.	ANALYSE DES INTERACTIONS ELEVE/TACHE/OUTIL DE 6 BINOMES .....	128
5.2.1.	<i>Réussite dans la réalisation de la tâche</i> .....	129
5.2.2.	<i>Régulations des interactions Élève/Tâche/Outil par la RA</i> .....	131
<b>6.</b>	<b>LA RA, UN INSTRUMENT UTILE POUR APPRENDRE LES SYSTEMES EN TECHNOLOGIE</b> .....	<b>148</b>
6.1.	LIMITES DE LA RECHERCHE .....	149
6.2.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	152
	<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>155</b>
	<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>164</b>
	<b>LISTE DES GRAPHIQUES</b> .....	<b>164</b>
	<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>164</b>
	<b>ANNEXES</b> .....	<b>164</b>

# Introduction

Le point de départ de cette recherche est à l'origine issu d'une première approche effectuée dans le cadre du mémoire de Master 2 MEEF. Ce premier contact avec le monde de la recherche a su aiguïser ma curiosité de sorte que le thème de cette thèse se veut être un approfondissement de la réflexion portant sur l'intérêt que pourrait apporter la réalité augmentée (RA) dans l'enseignement technologique et plus précisément dans l'analyse des systèmes techniques. L'ordre dans lequel sont cités les différents axes de cette étude n'impose aucun jugement de valeur. De plus, dans le cadre des apprentissages, le fruit d'observations issues du terrain ont permis de percevoir certains problèmes liés à la bonne représentation des systèmes techniques. Celles-ci ne semblent pas toujours efficaces et ne sont pas toujours adaptées au profil de chaque apprenant. De façon générale, nous pouvons observer dans la vie quotidienne les réactions hétérogènes des individus lorsque ceux-ci se retrouvent en autonomie face à un système technique. Ces réactions peuvent surprendre et déjouer nos certitudes. Enervements, perte de confiance, désir d'abandon sont « monnaie courante » alors qu'un ou des outils adaptés à l'analyse de système technique, pourrait faciliter leur appropriation par les élèves. Dans un monde où le numérique et les nouvelles technologies sont toujours plus présentes dans notre quotidien, le dispositif connu sous le terme de RA pour réalité augmentée, s'impose peu à peu comme une interface riche et polyvalente. Après avoir été largement utilisé dans les domaines technologiques de pointe telle que l'aéronautique militaire, le monde de l'éducation s'est à son tour intéressé à ce dispositif dans le but de l'adapter au contexte d'apprentissage. De nombreux articles détaillent les recherches menées sur l'utilisation de la réalité augmentée dans le cadre scolaire. La réalité augmentée est alors directement intégrée dans des dispositifs de types « serious game ». Les potentiels multimédias des livres numériques sont autant d'axes de développement adaptés à la technologie de la réalité augmentée. En résumé, si nous pensons qu'une interface entre l'apprenant et le système technique peut être réalisé au moyen de la réalité augmentée, alors il est possible de considérer cette technologie comme un outil pédagogique innovant, permettant d'appréhender les prérequis et dont l'ergonomie s'avèrera adaptée aux différents

objectifs visés par les enseignements des sciences technologiques. Malgré quelques réserves d'ordre technique ou sociologique, tous les indicateurs pointent vers les potentialités de la réalité augmentée dans un contexte d'apprentissage grâce à ses qualités d'adaptabilité, de contextualisation, d'immédiateté.

Le document de thèse s'organise en six chapitres :

- **le premier chapitre présente la RA. Cette nouvelle technologie est mise à disposition dans les entreprises et dans le système éducatif, dans le cadre de l'enseignement de la technologie. Nous étudierons ses aspects théoriques, historiques, épistémologiques et son rapport aux nouvelles technologies,**
- **le deuxième chapitre porte sur l'enseignement et l'apprentissage en technologie et en particulier dans le cadre des Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable (STI2D),**
- **le chapitre 3 pose les postulats de notre recherche. Après avoir établi les bases de nos cadres théoriques, nous avançons les hypothèses qui ont orientées nos travaux. Nous présentons la méthodologie et décrivons de façon précise le mode opératoire mis en place dans cette recherche,**
- **le chapitre 4 présente les résultats sur l'efficacité de la RA en étude de système,**
- **Le chapitre 5 présente les résultats sur les fonctions régulatrices de la RA dans l'usage des élèves,**
- **le sixième et dernier chapitre conclut ce travail en croisant notamment les résultats des chapitres précédents puis en ouvrant sur une discussion et dans les perspectives de développement de ces travaux.**

# **1. La technologie RA : de l'enseignement de la technologie à l'outil**

Cette première partie fait un état de l'art à propos de la Réalité Augmentée dans une perspective éducative. En préambule, nous décrivons le contexte général dans lequel se situent nos travaux.

## **1.1. Approches philosophiques et sociétales de la technologie**

### **1.1.1. Technologie et transmission des valeurs de la république**

Lors de sa conférence du 09 mars 2016 au salon Educatec (Paris, Porte de Versailles), Michel Rage, inspecteur général de l'éducation nationale et doyen du groupe Sciences et Techniques Industrielles caractérise la technologie de la façon suivante : « *La technologie, une discipline d'enseignement ouverte sur les autres* ».

En effet, par son ouverture sur le monde contemporain et la prise en compte de son environnement, la technologie complète et prolonge les sciences fondamentales, tout autant qu'elle les précède. Elle possède ses propres connaissances et démarches, contribuant ainsi depuis toujours à l'avancement des sciences et au progrès de la société moderne. La technologie ne se réduit donc pas seulement aux applications des principes physiques qui régissent les phénomènes mis en jeu dans les objets techniques, mais elle exige l'identification et la prise en charge des différentes contraintes qui interviennent dans « la vie de ces produits ». Les notions de cycles de vie sont donc abordées, prenant

en compte les phases allant de la conception à la destruction et donc au recyclage, en passant par la réalisation et l'exploitation.

L'enseignement de la technologie développe ainsi chez les élèves des aptitudes pour appréhender les objets techniques selon différents points de vue (Deforge, 1985 ; Simondon, 2012) visant prioritairement le développement des aptitudes citoyennes en abordant les objets techniques dans leurs dimensions humaines. C'est à dire en permettant aux élèves de développer des compétences comportementales indispensables pour s'intégrer dans la vie active (travail en équipe, prise de décisions multicritères, approche itérative dans la détermination d'une solution qui n'est jamais unique...). C'est dans cette optique que la notion de projet technologique (Hérolde & Ginestier, 2009) est fortement plébiscitée dans cette matière car mener à bien un projet dans sa globalité fait appel au développement de la culture de l'engagement telle que définie dans le bulletin officiel (BOEN n°30 du 26 juillet 2018). C'est-à-dire, une culture qui nécessite de la part des élèves un engagement construit autour de l'implication, la responsabilité et le rapport à l'avenir. La mise en œuvre de projet mobilise la collaboration et ses apports pour l'apprentissage. Heutte (2003, p. 49) propose dans ses réflexions sur l'apprentissage collaboratif, la définition suivante : « *Dans le cas d'un travail collaboratif, il n'y a pas de répartition a priori des rôles : les individus se subsument progressivement en un groupe qui devient une entité à part entière. La responsabilité est globale et collective. Tous les membres du groupe restent en contact régulier, chacun apporte au groupe dans l'action, chacun peut concourir à l'action tout autre membre du groupe pour en augmenter la performance, les interactions sont permanentes...* ». La dimension environnementale est tout aussi cruciale car elle permet de prolonger la sensibilisation débutée à l'école, sur le développement durable, lors des cycles 1, 2, 3. La dimension socio-économique est abordée, car un produit technique, quelles que soient sa complexité, sa « beauté » et la qualité des solutions technologiques qu'il regroupe ou des services qu'il peut rendre, n'a de sens que s'il trouve des utilisateurs et des acquéreurs. La dimension systémique, nécessaire pour appréhender les produits techniques dans leur globalité et leur complexité, en intégrant la multiplicité des contraintes, pour dégager des compromis et les relativiser. La dimension créative est aussi abordée, afin de répondre (ou devancer) les nouveaux besoins exprimés par



l'Homme et ainsi s'adapter à de futurs besoins, aux nouveaux procédés, aux nouveaux matériaux et aux nouveaux comportements sociaux. Enfin, la dimension historique, permet de replacer les solutions technologiques dans un contexte temporel qui prend en compte l'évolution des procédés et des techniques, et des besoins de l'Homme.

La technologie étant la science des systèmes artificiels (Simon, 1991) créés par l'homme pour répondre à ses besoins, elle étudie les relations complexes entre les résultats scientifiques, les contraintes socio-économiques, environnementales et les techniques qui permettent de créer des produits acceptables économiquement et socialement. Les relations entre la technologie, les sciences et la culture évoluent, elles sont désormais de plus en plus intégrées (Raynaud, 2016). Les sciences et la technologie se complètent mutuellement et ne peuvent plus être étudiées de façon indépendante. Il en est de même de l'évolution des modes de vie qui sont intimement liés à l'innovation technologique et aux progrès scientifiques. Son enseignement doit donc permettre de doter chaque citoyen d'une culture faisant de lui un acteur éclairé et responsable de l'usage des technologies et des enjeux éthiques associés. C'est dans ce contexte que l'enseignement de la technologie se positionne aujourd'hui comme un enseignement de plus en plus général et culturel visant l'acquisition de compétences partagées et spécifiques pour concevoir et réaliser les systèmes de demain. Il participe de façon déterminante à l'approche de la complexité et de l'environnement social du réel technique. Il permet ainsi l'acquisition de comportements essentiels pour la réussite personnelle et la formation du citoyen, comme le travail d'équipe, le respect d'un contrat, l'approche progressive et itérative d'une solution qui n'est jamais unique, la prise de décisions multicritères sur la base de compromis acceptables, l'utilisation de démarches de créativité.

Enfin, les liaisons toujours plus croissantes de l'école avec le monde de l'entreprise, le sens des responsabilités et le développement du « savoir-être » constituent un apprentissage fondamental qui prolonge l'éducation familiale pour donner aux jeunes les codes sociaux et professionnels nécessaires à l'insertion dans la société.

### 1.1.2. Les défis et objectifs sociaux de la technologie

Suite aux différentes vidéos diffusées par la société Boston Dynamics (Morgane Tual, « *Le nouveau robot humanoïde qui tombe, se relève, et ouvre les portes* » sur lemonde.fr, 24 février 2016) montrant les capacités de ses robots humanoïdes, beaucoup s'inquiètent de voir ces systèmes de plus en plus intelligents et craignent qu'ils puissent un jour remplacer les humains dans certaines tâches. « *There's excitement from the tech press, but we're also starting to see some negative threads about it being terrifying, ready to take humans' jobs* » écrivait Courtney Hohne, la directrice communication de Google (Hern, 2016). Dans un même temps, leur robot « Handle » marque une nouvelle avancée technologique qualifiée d'impressionnante et très prometteuse par la presse spécialisée. Nous pouvons donc résumer par cet exemple contemporain que la technologie de demain, aussi pointue soit elle, est à la fois synonyme de craintes et d'espoirs. Quoi qu'il en soit l'humanité évolue, va de l'avant, progresse. La tendance est clairement orientée vers un accroissement des compétences et des connaissances de tout un chacun. Dans cet environnement, la meilleure manière d'obtenir un cerveau augmenté est de lui proposer, sans cesse, de nouveaux axes d'apprentissage (Bohler, 2013). Pour lui, si nous déléguons cette mémoire à des systèmes techniques ou des technologies externes, la créativité en pâtira. Seule la mémoire intégrée peut générer de la créativité. Nous faisons donc apparaître ici les relations qui coexistent entre la volonté d'accroissement des connaissances et le progrès technologique. Le danger est que cette accessibilité universelle s'apparente à un frein à la compréhension et ne permette plus d'appréhender les systèmes technologiques qui nous entourent. Pour s'affranchir de cette ambiguïté, la technologie peut être vue comme un outil de la pensée complexe. C'est avec cette réflexion que nous pouvons comprendre les systèmes techniques et les objets qui nous entourent. Ces systèmes sont de plus en plus présents dans notre quotidien, ils sont devenus une part indissociable de notre évolution. Les analyses de Simondon (2012) et celles de Leroi-Gourhan (2014) abondent dans ce sens. C'est dans cette continuité que s'inscrit l'objectif principal de l'éducation technologique à travers les différents programmes du ministère de l'éducation nationale (MEN, 2008). Toutefois, la bonne compréhension d'un système technique n'est pas forcément évidente, la différence entre son étude et son interprétation peut aboutir à une incompréhension et

devenir sans intérêt pour l'élève. Pour contourner cet écueil, certains dispositifs peuvent être utilisés dans le système éducatif. Si, dans l'enseignement de la technologie au collège notamment (Ginestié, 1999), les systèmes ou objets techniques sont étudiés ou développés de manière séquentielle, voire linéaire, en respectant par exemple le déroulement des démarches de projet, les enjeux de cette éducation ne doivent pas nécessairement rester linéaires. Les études contemporaines sur la conception, l'analyse décisionnelle, l'intelligence artificielle ou l'étude des rapports de l'éducation technologique avec l'intelligence, sont autant d'axes pour tenter d'associer les systèmes techniques et leurs compréhensions. Nous pouvons éventuellement nous demander quels sont les enjeux directement liés à la bonne compréhension d'un système. La plus-value éducationnelle de la compréhension doit pouvoir trouver des prolongements sur le plan sociétal. Nos travaux sont donc étroitement liés à l'importance que prend l'éducation technologique. Nous étudions donc les différentes stratégies propres à la technologie qui ont pour objectif de mieux comprendre le fonctionnement d'un système.

Dans le domaine des sciences de l'éducation, il est commun de penser que l'analyse de ces systèmes est un des moyens d'activer cette compréhension (Musial & Tricot, 2008 ; Musial, Pradère & Tricot, 2012). En fonction des systèmes techniques étudiés, l'analyse peut être perçue comme une procédure aisée. Il n'en est rien. En effet, il se pose le problème de la perception que l'on a de l'objet lui-même. A ce titre Simondon (2012) souligne qu'un système simple par sa forme et sa matière peut se révéler être complexe à fabriquer. Cet objet peut toujours être perçu comme complexe, on ne peut s'arrêter à une analyse qui se baserait sur une perception subjective simple ou non de l'objet. Afin d'explorer un peu plus cette réflexion sur la complexité, les problèmes rencontrés par la description d'un objet technique constitué de plusieurs composants, sont rapidement mis en avant. La description d'un système pluri technique tel qu'une automobile peut rapidement s'avérer être un exercice délicat car il correspond selon Akrich (1987) à « *la mise en forme d'un ensemble de relations entre des éléments tout à fait hétérogènes* ». Même si l'objet technique fait apparaître des relations entre différents constituants, de nombreux problèmes liés principalement à la description apparaissent. Cette description peut prendre de multiples formes telles que les représentations graphiques,

schématiques, interactives soit autant de solutions possibles pouvant être utilisées en fonction du besoin.

Concernant les représentations, Simondon (2012) a insisté sur la dimension universelle de la description graphique sous ses différentes formes, telles que les images, les schémas, vis-à-vis des descriptions purement verbales. Toutefois, en ingénierie et en fonction de la spécialité technique étudiée, les systèmes technologiques à analyser peuvent être de natures diverses. Leurs représentations peuvent faire apparaître des rapports d'échelles, des vues cachées, voire même des relations avec d'autres systèmes externes. Les ressources numériques doivent donc être adaptées pour rendre possible la visualisation d'éléments nécessaires à la bonne compréhension du fonctionnement du système. Les vues éclatées, les représentations en trois dimensions, les plans de câblages dynamiques peuvent, par exemple, s'avérer être des compléments d'informations déterminant pour mieux comprendre les diverses interactions d'un objet technique complexe. Il peut s'agir d'une simple représentation thermique, ou bien d'une représentation faisant apparaître les contraintes physiques liées à une pièce soumise à des efforts mécaniques sévères, ou encore aux cheminements de diverses informations numériques circulant au travers de circuits électroniques. L'objectif de ces représentations converge toujours vers un seul et même but : proposer une information complémentaire se substituant au réel. L'information complémentaire n'est pas nécessairement une information « de plus », elle peut être aussi une sélection sur une information particulière à laquelle on accède en simplifiant le réel.

Pour obtenir un complément d'information efficace, il faut savoir prendre en compte divers facteurs. Quel que soit le mode de représentation, vues éclatées, plan de câblage, plan de masse ou simple schéma, chacun possède ses propres spécificités et ses propres codes élaborés suivant des processus bien spécifiques. Ces processus nécessitent des qualités incontournables à développer et à maîtriser afin d'optimiser la transmission d'information. Pour cela, une hiérarchisation des informations est nécessaire. Certaines d'entre elles seront prioritaires et joueront un rôle essentiel sur le système à décrire. Dans le monde de l'éducation, l'apprenant sera confronté à des contraintes d'ordre pédagogiques et didactiques qu'il devra affronter pour mieux les surmonter. La comparaison avec des contraintes de langage peut se relier à des problèmes de capacité

à utiliser des symboles. C'est ce que Duval (2007) a pu relever notamment dans le cadre des mathématiques où les contraintes principales se situent au niveau du passage de l'objet au concept. Il utilise l'exemple de Kosuth « une et trois chaises ». Cet exemple consiste à représenter une œuvre à partir d'une chaise vue sous 3 versions différentes : une photo, une définition, et une chaise réelle. Il explique qu'il est tout à fait envisageable d'apporter à cet exemple d'autres types de représentations pour mieux comprendre cet objet. Il insiste également sur l'importance de pouvoir passer d'une représentation à une autre en les juxtaposant avec l'objet quand celui-ci est accessible. Dans le cadre de cette thèse, nous envisageons la possibilité d'utiliser la vue augmentée. Nous poursuivons la comparaison entre une transmission d'information complémentaire et un langage en restant dans un point de vue technique. C'est dans cette perspective que s'inscrivent nos travaux. N'est-il pas possible de résoudre des problèmes en les augmentant ? C'est-à-dire à les enrichissant d'informations complémentaires relayées par la réalité augmentée.

## **1.2. Les préceptes et outils de la technologie**

L'étymologie du mot « technologie » nous apprend qu'il vient du grec *technología* (*τεχνολογία*) *téchnē* (*τέχνη*), « art », « compétence », ou « artisanat » et *-logía* (*-λογία*), l'étude d'une branche de la connaissance, d'une discipline. Dans le dictionnaire (Petit Robert) indique que le mot est emprunté en 1656 au grec tardif *tekhologia* « traité ou dissertation sur un art, exposé des règles d'un art », de *tekhnê* et *logos*. La notion a ensuite été utilisée en 1772 par un physicien allemand Johann Beckmann. Le terme s'applique soit généralement, soit à des domaines spécifiques, par exemple : « technologie de construction », « technologie médicale ». En comparaison avec d'autres disciplines telles que la physique ou les mathématiques, la technologie jouie d'une certaine proximité temporelle avec notre époque. En effet, les révolutions industrielles successives et les avancées techniques qui en ont découlées confèrent à cette discipline une image jeune, en renouvellement perpétuel. Toutefois, sous son aspect novateur, il ne faut pas occulter la complexité qui apparaît lors des différentes phases d'études qui s'y rapportent. Grison (1996) qui cite Hassenfratz explique que ce dernier aurait été, aux alentours du XVII<sup>ème</sup> siècle, l'un des premiers à employer le terme « technologie » dans

les programmes d'enseignement. Il se basait sur les sciences pour enseigner des notions de technologies. Grison parle alors de « sciences des arts industriels » ou encore de « traité général des arts ». Grison propose donc bien une vision scientifique de la technologie. Il décrit que la technologie ne peut pas être considérée comme une simple adaptation de ce qui est « praxis » au sens d'activité pratique et « techné », au sens de savoir-faire. Ce n'est qu'au début du XX<sup>ème</sup> siècle que les premiers travaux de recherches sur les origines de la technologie seront menés. Espinas (1897) étudie le côté sociologique de la technologie. La complexité liée à cette discipline ne peut être appréhendée qu'au travers d'échanges d'informations spécifiques et s'appuie sur des outils de transmissions de savoir technologiques.

Différentes actions font partie de ce que fait la technologie. Notamment, ces actions se retrouvent dans les différents référentiels et bulletins officiels de l'éducation nationale, voire même dans les projets de refonte des programmes. Il suffit de se pencher sur les compétences à acquérir, préconisée dans les textes officiels (Arrêté du 9-11-2015 - J.O. du 24-11-2015 (NOR : MENE1526483A)) : Concevoir, Créer, Réaliser, Décrire un système, Etablir des relations de cause à effet. Ces ensembles d'actions, liés à la technologie, la rendent complexe. Que ce soit dans le domaine industriel ou de l'enseignement, il est devenu nécessaire de s'aider d'outils appropriés pour pouvoir étudier les différentes interactions technologiques propre à un système technique.

La réalité augmentée est l'un de ces outils que nous allons détailler. Elle va permettre d'approcher un système technique sous un angle différent. Comme nous le verrons plus loin, cet outil repose sur plusieurs méthodes. Son utilisation est préconisée dans les phases de conception (Baldisser, 2016) mais aussi lors des phases de maintenance où des interventions techniques spécifiques sont nécessaires. Enfin, nous précisons que la réalité augmentée introduite ici, se rapporte uniquement au monde des sciences industrielles et plus précisément à l'enseignement apprentissage de la technologie.

### **1.2.1. Définition de la réalité augmentée (RA)**

Définir la réalité augmentée (RA) n'est pas simple. En effet, il s'agit là d'un domaine transverse qui utilise de nombreuses technologies différentes. Le terme même de

« réalité augmentée », qui est apparu en référence à celui de « réalité virtuelle », est de plus en plus remis en questions. C'est assez compréhensible puisque ce n'est pas la « réalité » qui est augmentée mais bien notre propre perception.

Nous proposons ici un cadre permettant de définir la RA et ce que nous en retiendrons pour notre étude. Tout d'abord, pour Azuma (1997), la réalité augmentée peut être considérée comme une interface entre des données numériques, que l'on qualifiera abusivement de « virtuelles », et le monde réel. Sur cette base, nous retiendrons qu'elle doit avoir les trois caractéristiques suivantes :

- **Combiner le monde réel et des données numériques en temps réel ;**
- **Être interactif en temps réel avec l'utilisateur et le monde réel : Une modification dans le monde réel entraîne un ajustement de la couche numérique ;**
- **Utiliser un environnement en trois dimensions (parce nous percevons le monde en 3D).**

Prenons, à titre d'exemple l'application de RA la plus populaire de l'été 2016 : « Pokémon Go ». Celle-ci ne présente pas d'interaction avec l'environnement réel autre que la récupération des données du gyroscope et de la boussole du smartphone. Nous pouvons dire qu'il s'agit là du degré « 0 » de la réalité augmentée. La RA permet de contextualiser des données, c'est à dire de la placer au bon endroit et au bon moment. Bien que de nombreux exemples soient liés à la vision, la RA peut « augmenter » n'importe lequel des cinq sens. Nous verrons des exemples par la suite.

Les scènes réelles sont capturées par un système et interprétées par une unité de calcul (ordinateur, smartphone). Une grande partie du traitement va consister à « caler » et à « suivre » le lien entre réel et numérique. Pour faire apparaître des lunettes sur votre visage par exemple, il faut savoir bien caler la position de vos yeux, de votre nez. Le tout, bien sûr, en temps réel.

Une autre définition de la RA datant 1994 servira également de base à notre recherche. En effet Paul Milgram et Fumio Kishino propose à la suite de leurs travaux le nom de Continuum de Réalité-Virtuelle de Milgram. Précisons qu'ici le continuum est vu comme un ensemble d'éléments tels, qu'il serait possible de passer de l'un à l'autre de façon continue. Ce dernier relie le réel à l'environnement purement virtuel en ne les

considérant pas comme opposés mais complémentaires. Cela introduit le terme de réalité mixte (Fuchs & Chrétien, 2018) et les deux notions de RA (plus près de l'environnement réel) et de virtualité augmentée (plus près de l'environnement virtuel). (Cf. Figure 1)

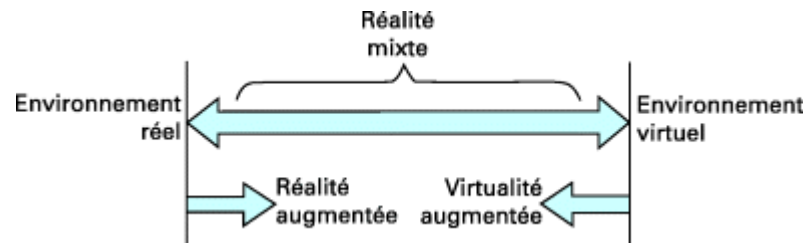


Figure 1 : Le continuum " Réel-Virtuel " (adapté de (Milgram et al., 1994))

Toutefois, sans remettre en cause l'intérêt de ces distinctions, il ne nous semble pas pertinent d'ajouter de nouveaux termes pour la compréhension du domaine. En effet, dans cette représentation, la distinction entre RA et virtualité augmentée est très floue. L'introduction de la « Virtualité Augmentée » n'apporte rien et par la suite nous n'utiliserons plus ce terme.

Le concept de RA vise donc à compléter notre perception du monde réel, en y ajoutant des éléments fictifs, non perceptibles naturellement. Ce concept est rendu possible par un système capable de faire coexister spatialement et temporellement un monde virtuel avec l'environnement réel. Cette coexistence a pour objectif l'enrichissement de la perception de l'utilisateur de son environnement réel par des augmentations visuelles, sonores ou haptiques – néanmoins la superposition d'images virtuelles aux images réelles reste actuellement le domaine le plus répandu.

La RA est interdisciplinaire et s'appuie sur le traitement du signal, la vision artificielle, la synthèse d'images, les interfaces homme-application et les technologies nomades. Ses applications sont multiples et touchent de plus en plus de domaines, qui seront détaillés dans la suite après un bref historique.



## 1.2.2. Historique de la Réalité Augmentée

L'histoire de la RA est intimement liée aux différentes innovations hardware telles que l'écran cathodique, la caméra, le microprocesseur, puis softwares telles que les outils de traitement graphique puis d'image. À ceci viennent se rajouter les études d'universitaires plus théoriques, d'abord pour le compte de l'armée. Ces études se révéleront essentielles par la suite dans les aspects de perception de son environnement. Tout s'accélère au cours de cette dernière décennie après le lancement du projet Google glasses véritable starter à de nombreux projets dans lesquels les entreprises se sont lancées.

De manière générale, le concept de la RA a été imaginée en 1901, il y a plus d'un siècle, par un auteur bien connu, L. Frank Baum « Le magicien d'Oz ». Ce visionnaire qui s'ignore fit une véritable description des fonctionnalités des lunettes lancées 110 ans plus tard : les Google Glass. Dans son œuvre, « The Master Key », Baum (2020, p. 94) décrivait un système basé sur des lunettes qui permettaient au porteur de voir apparaître, sur le front des personnes rencontrées, une lettre correspondant un son caractère : « *give you the Character Marker. It consists of this pair of spectacles. While you wear them every one you meet will be marked upon the forehead with a letter indicating his or her character. The good will bear the letter 'G,' the evil the letter 'E.' The wise will be marked with a W... Thus you may determine by a single look the true natures of all those you encounter.* ». Plus concrètement, c'est en 1950 que l'US Air Force commence à s'intéresser au sujet et aux apports de cette technologie pour assister les combattants sur le terrain. Le travail avec des psychologues aboutira à une meilleure compréhension des comportements en fonction des flux d'informations visuels.

En 1960, Morton Heilig, invente un appareil de cinéma « immersif », le Sensorama, dans lequel le spectateur est noyé dans un environnement visuel, olfactif, sonore associé à des vibrations. Une « augmentation » de la réalité par surimposition, non pas d'objets, mais d'effets sensorielles en parfaite synchronisation avec l'image. Une année plus tard, un casque/masque de visualisation immersive est créé. Il intégrait une caméra qui captait et rediffusait en circuit fermé la vidéo. Ce système fut développé pour des opérations de sécurité et de surveillance et décrit par C. Comeau and J. Bryan (1961)

dans leur ouvrage « *Headsight television systems provides remote surveillance* ». (Bryan, 1961, p. 86-90)

Il y a 50 ans, dans les années 68, avec l'apparition du microprocesseur intégré Intel, Ivan Sutherland et deux de ses étudiants (Danny Cohen, Bob Sproull) de l'université d'Harvard mettent au point d'un logiciel de retraitement d'images qui sera véritablement la première application de RA. Il inventa aussi le premier casque de visualisation qu'il surnommera l'épée de Damoclès car il était suspendu au plafond au-dessus de la tête de l'opérateur compte tenu de son poids et de sa connectique. Outre l'affichage d'images devant chaque œil, le système prend en compte les mouvements de tête. Certes de façon rudimentaire mais on est bien là devant les prémices d'un casque de RA avec toutes l'interactivité qu'il se doit.

En 1972, Myron Krueger est l'auteur d'une autre innovation majeure, le VIDEOPLACE, son brevet va permettre de véritables interactions avec des objets virtuels. Des personnages sont filmés chacun dans une pièce, les images sont collectées et projetées sur l'écran dans chaque pièce et permettent à chacun d'interagir avec les mouvements des autres. Des objets virtuels, eux, sont inclus à cette projection et interagissent avec l'environnement. Puis en 1978, soit trois décennies avant les Google glasses, Mann Steve crée son propre œil électronique de RA qu'il nommera son « digital eye glass ». Il s'agit d'une caméra couplée à un écran associé à un algorithme élaboré de combinaison d'images dont il est aussi à l'origine.

Or c'est également l'époque où on voit apparaître les premiers ordinateurs portables (il a d'ailleurs également largement participé à cette avancée). Ceci lui permit de rendre portable son « œil de verre » en se détachant de la filerie vers l'ordinateur. L'ensemble du système de réalité RA devient enfin entièrement portable. Pour expérimenter lui-même cette portabilité, il porta presque quotidiennement son œil de verre pendant 2 ans et dit « *As we get older, whether we become reliant on the technology through loss of natural function or merely grow further acclimated to it from many years of use, it becomes a part of our own selves in mind, body, and spirit.* » (Mann, 2014, p. 1).

Les besoins en traitement graphique de la RA ont longtemps souffert du manque de puissance calcul des ordinateurs de l'époque. L'arrivé sur le marché du microprocesseur

Motorola 32 bits avec son célèbre 68000, la participation à cet avènement de Sun Microsoft, l'arrivée de UNIX, puis des processeurs RISC et des stations de travail SGI sont venus compléter la liste des outils qui manquaient aux développeurs.

Steve Feiner présente en 1997 la Touring Machine, le premier système itinérant de RA combinant un affichage sur les lunettes à la vue réelle. Le système intègre un GPS et un accès internet par ondes radio.

Puis en 1999, Hirokazu Kato met à disposition ARToolkit, la première librairie open source et multiplateformes dédiée à la création d'interfaces de RA. C'est ce que Bruce H. Thomas développe en 2002. Le jeu ARQuake, le premier de son genre basé sur la RA était né, permettant de jouer à Quake dans un univers réel grâce à la combinaison de caméras, capteurs et GPS.

En 2009, le lancement de Wikitude Drive est réalisé. Il s'agit du premier système de navigation utilisant sur la RA pour plateformes Android, basé sur NyARToolkit. Il s'agit là de la première application nomade de RA disponible pour le grand public. Peu après, des applications similaires furent mises à disposition sur l'iPhone d'Apple.

La date du 6 juillet 2016 restera une référence dans la phase de démocratisation de la RA. En effet, avant ce fameux 6 juillet, il était compliqué d'expliquer ce qu'était la RA. Le concept demeurait difficile à appréhender et semblait être réservé à une poignée d'initiés jusqu'à ce que l'application « Pokémon Go » soit lancée sur le marché. Cette application, qui a été le jeu vidéo tube de l'été 2016, a soudain fait découvrir la RA au grand public. Le terme s'est banalisé. Et chacun a pu constater qu'il ne fallait ni matériel coûteux et sophistiqué (un simple smartphone suffit) ni être un expert pour naviguer dans cette nouvelle dimension. Que Pokémon Go soit un phénomène éphémère ou une plateforme durable n'a pas d'importance. Ce qui compte, c'est qu'il a fait entrer la RA dans la vie quotidienne. Elle a franchi le cap de la reconnaissance par le grand public. Reconnaissance qui est désormais un préalable indispensable à l'adoption de la technologie dans un contexte professionnel, comme on a pu le constater avec les smartphones, les tablettes et les applications mobiles.

En novembre 2016, le secteur de la téléphonie mobile est d'ores et déjà prêt à lancer sur le marché toute une flotte de Smartphone exploitant la RA. Le chinois Lenovo a en effet été le premier à proposer un téléphone équipé d'un système de vision 3D développé par Google pour son système d'exploitation Android, sous le nom de « Project Tango ». Depuis, il a été rejoint par le ZenFone AR, signé Asus et présenté au CES de Las Vegas en début d'année 2017. Pour les deux marques, qui sont encore des acteurs secondaires de l'industrie, il s'agissait sans doute d'une action commerciale basée sur leur savoir-faire technologique, car Tango souffre encore à ce jour de dysfonctionnements mineurs et les applications pour tirer profit de cette nouvelle fonctionnalité restent très peu nombreuses.

Mais, les observateurs en sont convaincus, ce n'est qu'un début. « Le vrai lancement, ce sera Apple, avec, comme d'habitude, un écosystème fermé mais très bien fini », estime Jérôme Ramel, analyste chez Exane BNP Paribas, dans son interview dans le journal les échos du 16 mars 2017. En effet, les constructeurs de Smartphones ont de plus en plus de mal à se différencier et leurs ventes patinent. L'iPhone a même enregistré sa première baisse en 2016. L'arrivée de la RA serait un catalyseur bienvenu pour relancer une industrie en manque criant d'innovations. D'autant que, comme le pointe Dorian Terral, analyste chez Bryan, Garnier & Co<sup>1</sup>, dans son interview du 16 mars 2017 dans le journal les échos, « *l'adoption de la RA est beaucoup plus simple que celle de la réalité virtuelle, puisqu'elle ne coupe pas l'utilisateur du monde.* »

L'intérêt de cette technologie est particulièrement flagrant dans le secteur de la distribution. Or l'inclusion du digital dans le réel ouvre précisément de formidables perspectives dans ce domaine. Désormais, la taille du point de vente n'est plus un obstacle. En effet, s'il n'est pas possible pour une enseigne de présenter toute sa gamme de produits de manière physique dans son magasin, la RA prend le relais. Une simple tablette permet aux clients de visualiser l'ensemble des produits dans toutes les déclinaisons possibles (tailles, coloris...). La RA offre également aux clients la possibilité de visualiser en 3D ce que donnera un produit chez eux, ou ailleurs, avant même de l'avoir acheté. Il est dorénavant possible, lors de l'achat d'un canapé par exemple, de voir

---

<sup>1</sup> Bryan, Garnier & Co une banque d'investissement spécialisée dans le développement des compagnies européennes sur les marchés des nouvelles technologies et de la santé.

à l'avance l'allure qu'il aura à l'endroit précis où nous désirons l'installer, de le déplacer virtuellement et de tester quelle couleur ira le mieux dans notre intérieur. Voilà qui facilite considérablement l'achat et limite les risques d'avoir à retourner en magasin. Au-delà de mode qu'elle suscitera encore longtemps, la RA est d'ores et déjà un puissant levier additionnel de création de valeur. Citons par exemple ce fabricant de sodas qui a augmenté de 20% la diffusion de ses armoires réfrigérées chez ses distributeurs grâce à une application permettant de les pré-visualiser dans le point de vente.

Dans le sillage de Pokémon Go, il est probable que de nombreuses applications tourneront d'abord autour du principe de quête commerciale mais, au fil de la courbe d'apprentissage, émergeront de nouvelles idées et des bonnes pratiques. Les marques vont créer des applications correspondant à leurs cibles, à leur univers, à leur stratégie, que ce soit sous forme de services à valeur ajoutée, de campagnes marketing ou d'outils d'aide à la vente. Il y aura sans doute des échecs et des déceptions, mais ceux qui avaient anticipé l'avènement de la RA, seront les mieux placés pour encaisser les dividendes de leur investissement précoce. La vitesse avec laquelle certains ont rebondi sur le phénomène de la RA prouve d'ailleurs que beaucoup de projets se préparaient et ne demandaient qu'à être réalisés. Avec ces prémices d'emballement, les barrières qui freinaient l'essor massif de la RA ont sauté, et c'est un nouveau monde qui s'ouvre devant nous.

## **1.3. L'enseignement des sciences industrielles**

### **1.3.1. Un enseignement par la démarche de projet**

De façon générale, les réformes du baccalauréat technologique mettent en avant la démarche de projet. En effet, l'objectif visé est avant tout de donner du sens aux enseignements dispensés aux élèves. Les savoirs mis en jeu nécessitent d'être connectés avec leurs usages. Ainsi, ils doivent éviter d'être présenté comme une succession de disciplines. Nous pouvons donc nous demander comment les professeurs de sciences industrielles peuvent créer du lien entre ces disciplines et ainsi donner du sens à l'enseignement technologique. En liant les savoirs de ces disciplines, il devient envisageable de concevoir des systèmes techniques complets.

La pédagogie de projet technologique trouve son terreau dans les travaux du philosophe américain John Dewey (1916). Il étudiait les effets d'actions organisées convergeant vers un objectif déterminé. Dans son approche, faire et penser sont inséparables. C'est ainsi que le « *learning by doing* » plébiscite une activité créatrice et inductive face à une diffusion d'information uniquement déductive. Le concept éducatif visé par Dewey place donc les besoins et les intérêts des élèves au centre des actions pédagogiques conçues par le professeur. En parallèle, Cousinet (1959) et Freinet (1964) abondent dans le sens où la pédagogie doit permettre d'apporter une réponse aux besoins des élèves tout en favorisant l'acte de dévolution. Leurs travaux avaient démontré que les enseignements théoriques engendraient peu de résultats s'ils n'étaient pas agrémentés d'expérimentations. Autrement dit, comment permettre aux élèves de visualiser les savoirs mis en jeu.

Les travaux de Piaget rejoignent ce concept constructiviste et ont révélés l'importance de l'activité dans l'apport de connaissance. Dès 1973, les référentiels de l'éducation nationale ont permis de démocratiser la pédagogie de projet auprès des bacheliers en leur proposant de travailler sur des projets pluridisciplinaires, à hauteur

de 10% de leur temps de travail. Le projet technologique est mis en œuvre pour permettre à l'élève de s'approprier une situation constituant un défi (Abdallah, 2009). Aujourd'hui nous pouvons concevoir le projet technologique comme étant une succession de phases, tel que cela se fait en entreprise. Il est initié à partir d'une thématique concrète de la vie (Lebrun, 2007). Les élèves s'impliquent de façon contractuelle à l'élaboration de leurs savoirs. Ces activités nécessitent une évaluation continue, souvent appelée revue de projet, en fonction de l'avancement chronologique dans les différentes phases du projet. Le projet technologique doit s'orienter vers une production concrète et évaluable (Perrenoud, 2002 ; Proulx, 2004). Une des caractéristiques essentielles des projets technologiques est leur durée. En effet le temps monopolisé pour mener à bien un projet est relativement grand si nous devons le comparer aux activités que nous pouvons retrouver dans les matières générales. Par exemple, depuis la réforme du baccalauréat technologique de 2011, le temps du projet de spécialité est de 70 heures. Cette durée nécessite une coordination des actions et des réflexions mais aussi un suivi planifié de l'activité. Pour les élèves, les projets technologiques représentent la possibilité de développer des méta-compétences telles que leur autonomie ou leurs compétences organisationnelles. Les professeurs ne sont pas en reste et voient leurs interactions, avec les élèves, évoluer tout au long du projet technologique. Les activités qu'ils doivent concevoir et les outils mobilisés sont transformés par ce type de pédagogie. L'enseignant a un rôle de guide et de médiateur. L'apprenant est actif et responsable dans l'apprentissage (Raby, Beaudry, & Viola, 2007 ; Proulx, 2004 ; Dumas, 2002).

### **1.3.2. L'étude de systèmes au centre de l'enseignement**

Dans le monde industriel, la réalisation de projets est une méthode de travail de plus en plus commune car elle semble adaptée aux contraintes induites par l'industrie 4.0. Les métiers, les services, sont décroissés, et la démarche projet est une solution qui permet d'être plus efficace et plus rapide pour produire un système technique. Concrètement, un projet se présente comme une équipe de personnes rassemblées pour plusieurs mois qui vont devoir travailler ensemble pour atteindre les objectifs assignés. De façon générale, un projet né d'une volonté de création ou d'amélioration. Comme le

dit Herniaux (2001), il est avant tout, une résolution de problèmes complexes qui nécessite : un travail collectif, un défi, un cadre, un pilotage pour respecter les objectifs fixés.

Que ce soit pour l'ingénieur dans l'entreprise ou l'enseignant dans l'éducation nationale, il est nécessaire de piloter le projet. Pour cela, La première compétence à maîtriser, est d'exprimer au mieux le besoin ou le service à rendre à l'utilisateur, sans a priori de solution. C'est ce que nous retrouvons communément sous le nom : « approche fonctionnelle ». Le projet doit être conçu en termes d'objectifs à atteindre recensés dans : « le cahier des charges ». Ensuite, la seconde compétence est d'organiser le suivi des activités. Quelles phases de recherche ? Quel temps pour chacune d'elles ? Quelle planification ? C'est ce que l'on nomme habituellement : « la gestion du projet ». Dans la conception de son projet technologique, le professeur doit quitter sa casquette de professeur pour devenir maître d'œuvre et manager. Le tableau 1 ci-après liste les différentes phases de la gestion d'un projet vue par le professeur. La préparation fait appel aux techniques de management afin de gérer les activités du projet avec des outils appropriés.

<b>Phases</b>	<b>Activités</b>	<b>Outils</b>
Analyse du besoin	Cahier des charges	Diagramme SysML « Requierement »
Segmentation du projet	Phasage	
Répartition des tâches entre acteurs	Fiches de lot	Contrats élèves sous format type « word »
Maîtrise des délais	Planification	Diagramme GANTT
Gestion budgétaire	Achats et maîtrise des coûts	Devis et analyses comparatives chez les fournisseurs
Suivi de projet	Revue de projet	Evaluation des productions écrites et questionnement par contrat élève
Communication	Présentations et soutenances	Présentation type « Power Point »

*Tableau 1 : Gestion de projet vue par le professeur.*

Dans le projet technologique, la séparation des responsabilités entre la commande et la production est essentielle. Les notions de maître d'œuvre et maître d'ouvrage jouent



ce rôle et répartissent les responsabilités de chacun par des objectifs clairement identifiés :

- **Le commanditaire est responsable de la pertinence du projet, de sa définition et de sa réception finale ;**
- **Le chef de projet : Il a la responsabilité de l'atteinte des objectifs. Il manage l'équipe du projet. Il rend compte des avancements production, coûts, délais ;**
- **L'équipe projet : Elle conçoit le système technique. Chaque groupe est constitué en moyenne de 4 élèves (maximum 5 selon les préconisations de l'éducation nationale) qui traite chacun, un contrat qui lui est propre. La notion de communication entre les contrats d'un même projet est ici primordiale.**

L'industriel à l'origine de la demande est le commanditaire, le professeur le chef de projet, et le groupe d'étudiants l'équipe de projet. Un des étudiants du groupe peut être chef de projet adjoint pour seconder le professeur. Ce rôle peut être tenu alternativement par chacun d'eux pour développer des compétences de gestion de projet. Ce qui est vrai pour une organisation industrielle l'est également pour une organisation pédagogique. Nous ne pouvons pas demander à l'élève d'être à la fois le demandeur qui exprime le besoin et le concepteur-réalisateur de la solution. Cela relèverait d'une gymnastique intellectuelle et d'un degré d'abstraction tels que la démarche de projet en perdrait une grande part de sa rigueur et que l'apprentissage visé serait faussé. Notons toutefois que bien souvent le commanditaire extérieur est encore trop peu présent dans les projets technologiques en STI2D. Il faut donc que le professeur compense cela en créant un contexte artificiel dans lequel au moins deux partenaires, aux statuts et rôles différents, existent :

- **Le professeur : responsable du groupe classe sera le demandeur qui pose le problème et exprime le besoin ;**
- **Le groupe d'élèves : l'équipe projet chargée de sa réalisation.**

Il restera au professeur à faire jouer le rôle de chef de projet successivement à chaque élève. Le professeur doit pouvoir développer ses compétences d'ubiquité pour être commanditaire et maître d'œuvre. Pour éviter cela, un deuxième enseignant, n'intervenant pas a priori dans le projet, peut potentiellement jouer le rôle de commanditaire afin de distinguer les différents acteurs du projet.

Afin d'appréhender un projet technologique clairement, il est nécessaire d'affecter des tâches précises à chaque élève, il faut décomposer le projet en « contrat » de nature homogène. À partir de cette décomposition exhaustive du projet, le professeur affecte chaque contrat à un groupe d'élève. Pour rendre contractuelle cette mission, chaque tâche fait l'objet d'une consigne donnée sous forme de fiche descriptive détaillée, rédigée par le chef de projet. Ensuite, la phase de planification a pour but de lui fournir toutes les informations de dates, de tâches, de durées, de moyens... La planification n'est pas destinée qu'au chef de projet, elle sert aussi de moyen de communication entre les différents acteurs du projet technologique. L'outil communément utilisé dans cette phase est l'outil le diagramme de Gantt. Ce diagramme permet de visualiser la succession des tâches à réaliser avec des segments situés sur l'axe du temps. Ce planning montre bien ce qu'il faut faire et quand il faut le faire. Son caractère visuel lui permet d'être aussi un outil de suivi dynamique. Enfin, les revues de projet sont des moments de travail permettant de réaliser des entretiens d'avancement entre tous les acteurs du projet technologique. Elles assurent le passage d'une phase à la suivante avec soit un accord, soit un accord soumis à des réserves ou des demandes de corrections. Les revues de projet constituent une étape importante dans le processus de la démarche de projet. Mais au-delà de cet aspect décisionnel, les revues permettent de :

- **Faire un état des lieux sur l'avancement du projet ;**
- **Contrôler les productions et discuter des choix et solutions ;**
- **Diffuser les informations homogènes à tous les élèves d'une même équipe ;**
- **Soutenir une coopération efficace entre les membres de l'équipe ;**
- **Mobiliser tous les élèves dans la poursuite du projet.**

En STI2D, l'initiation à la démarche de projet commence dès la classe de première avec la mise en œuvre de mini-projets permettant de vivre plusieurs étapes du projet pour résoudre un problème technique limité. Ces problématiques s'articulent autour de la conception appliquée à des situations concrètes liées aux enjeux du développement durable ainsi qu'à de la compétitivité des produits.

Comme le décrit Taillard (2012), les activités proposées à travers le projet technologique sont conçues de façon à immerger les élèves dans un processus d'enseignement apprentissage basé sur la réflexion et la création collective. Ainsi, le

projet technologique permet aux élèves d'acquérir une démarche structurée et collective d'analyse, de proposition, de choix, de réalisation, de test et de communication. L'objectif de réalisation d'un prototype, fixé par le projet, ne vaut que par l'obligation de valider une conception. Cette phase de validation est essentielle, car elle permet aux élèves d'apprécier les performances de la solution conçue au vu des objectifs fixés dans le cahier des charges. Cette phase de réalisation nécessite que les solutions technologiques soient compatibles avec les moyens de prototypage, mais n'implique pas qu'elles soient optimisées du point de vue de l'industrialisation.

Habituellement, les projets technologiques sont basés sur la modification, l'amélioration, d'un système déjà disponible dans le laboratoire (ou dans l'environnement proche de l'élève). Ce système technique doit être analysable par les élèves. Chaque élève doit être en mesure de pouvoir réaliser une analyse fonctionnelle du système technique proposé. L'analyse structurelle doit rester relativement simple. Ce contexte permet de limiter l'ampleur de la tâche liée à la création d'un nouveau système technique. En fonction de chaque spécialité du cursus STI2D, le domaine technologique et les compétences visés sont ceux définis par le référentiel STI2D de 2011. Pour la spécialité EE<sup>2</sup>, l'objectif du projet est régulièrement basé sur l'amélioration de l'efficacité énergétique dans le cadre de l'évolution d'un système existant et répondant à une problématique réelle, associée à un cahier des charges. La tâche peut être de répondre à un nouveau besoin (autonomie, énergie renouvelable...), d'améliorer les performances d'une chaîne d'énergie (structure, rendement...) ou encore d'optimiser la gestion de l'énergie (régulation...). Toutefois, des projets pluriethniques mixant les problématiques de conception dans plusieurs spécialités peuvent être réalisés de façon coordonnée entre plusieurs groupes d'élèves de spécialités différentes. Pour reprendre le cas de l'efficacité énergétique en EE, la partie modification du pilotage et de la régulation peut être affectée à un groupe de spécialité SIN<sup>3</sup>. Ce sera alors la gestion de projet qui permettra de coordonner les différents contrats des groupes de spécialités. La même problématique peut être envisagée sur un sujet d'efficacité énergétique dans le bâtiment avec un couplage EE et AC<sup>4</sup> ou SIN et AC. Le domaine de la mécatronique offre les mêmes

---

<sup>2</sup> Energie et Environnement.

<sup>3</sup> Systèmes Informatiques Numériques.

<sup>4</sup> Architecture et Construction.

possibilités entre ITEC<sup>5</sup> et SIN. Concernant les quatre spécialités, les activités relatives au projet technologique concernent :

- **L'analyse du besoin ;**
- **La conception ;**
- **La réalisation ;**
- **La validation ;**
- **Auxquelles s'ajoute de manière transversale la communication.**

Ces activités correspondent aux phases de développement d'un projet technologique. Elles précisent les grandes étapes du projet ainsi que les attendus de chaque phase. Cette organisation, à adapter à chaque projet, va engendrer toute l'organisation des activités (planning, répartition des tâches collectives et individuelles, revues de projet...). L'élaboration du cahier des charges résulte d'un travail collectif d'analyse du besoin après expérimentations et tests du système dans sa version initiale, le cadre de l'étude étant clairement défini par le professeur au lancement du projet. La conception se décline en recherche d'idées, suivi d'une conception préliminaire puis détaillée, d'une activité de simulation pour estimer le comportement prévisionnel de la solution conçue.

La numérisation des données, la présence des outils numériques mobiles, les solutions de simulation et les machines de prototypage peuvent envisager de faire des validations partielles du système technique. Néanmoins, il existe toujours une limite temporelle où l'équipe d'élèves doit passer à l'étape suivante afin de respecter le planning prévisionnel (Gantt) et ainsi finaliser chaque phase dans le temps imparti. La réalisation de prototypes n'est pas un objectif en soi. Cette phase ne doit pas supplanter les analyses fonctionnelles et structurelles ainsi que la réflexion. Elle permet d'appuyer l'étape essentielle de validation de la conception. Le prototype permet de mesurer des performances obtenues pour valider les fonctions d'un système complet. Les prototypes peuvent être réalisés à l'échelle ou à échelle réduite si cela s'impose.

---

<sup>5</sup> Innovation Technologique et Eco Conception

### 1.3.3. L'analyse fonctionnelle dans la démarche de projet technologique

Dans ses travaux de recherche Gunther (2016) étudie l'efficacité de l'analyse fonctionnelle au collège. Son approche nous intéresse dans le sens où cet outil peut permettre à certains collégiens de mieux appréhender le fonctionnement d'un système technique. En étudiant les référentiels de l'éducation nationale, nous constatons les différentes façons d'aborder l'analyse fonctionnelle dans la démarche de projet technologique. Gunther va dans le sens de Johsua et Dupin et dit que « *Les choix pédagogiques et l'environnement épistémologique sont des indicateurs de la manière dont les connaissances sont transmises* » (Gunther, 2016, p. 28). L'analyse fonctionnelle d'un système technique peut être appréhendée de deux manières différentes. L'une de ces approches consiste à mettre en avant les principaux concepts tels que les interdépendances du système technique ou encore le rapport entre l'homme et ce même système. Dans un projet technologique, la phase de conception nécessite une part de discernement incontournable pour les élèves de STI2D. Leur principale difficulté réside dans le fait de savoir sélectionner les informations pertinentes. Nous nous rapprochons ainsi des analyses de Chatoney (2003) dans ce domaine. Une seconde approche plus pragmatique, proposée par Lebahar (2007) mets en avant un concept plus utilitaire et à destination des élèves. Cette approche prône l'enseignement des outils à partir de la description du système technique. De cette façon, l'élève est confronté à une représentation qui peut l'aider à mieux s'approprier la phase de conception. Les référentiels de STI2D insistent sur la dimension économique dans la démarche de projet technologique. Les activités relatives à cette dimension nécessitent l'étude comparative des couts du système ou d'une partie de celui-ci, ou encore des matériaux qui le constituent. Cette première analyse intervient en amont de l'analyse fonctionnelle qui en dépend étroitement. Jouineau (1982) précise cela. En effet, c'est en réalisant une analyse fonctionnelle pertinente que les aspects économiques inhérents à la conception puis à la production du système technique pourront être rationalisés.

Analyser de façon fonctionnelle un système n'est pas nouveau. Cette activité apparait dès les années 60, lors de l'apparition de la technologie dans les référentiels de

l'éducation nationale. C'est par l'observation des systèmes techniques, associés aux représentations graphiques, que sont abordées les connaissances liées à l'analyse fonctionnelle (Lebeaume & Martinand, 1998). En effet, les langages graphiques se sont imposés comme étant les outils de représentations indispensables pour faciliter la compréhension du monde technologique qui nous entoure. Ainsi, depuis les années 74<sup>6</sup>, les schémas et dessins techniques permettent d'étudier avec précision les structures internes et externes des systèmes techniques, principalement mécaniques. Les réformes successives ayant vu naître les EMT<sup>7</sup>, ont clairement définies l'analyse fonctionnelle comme étant indispensable à l'enseignement technologique. Dans les faits, et comme le relève Perry, Dockett & Harley (2012) dans leurs travaux, cette période semble avoir plébiscité les activités manuelles au détriment d'une réflexion réellement technologique. Ce n'est que depuis les années 85, date où la technologie fut réellement appréhendée comme une discipline à part entière, que les référentiels de l'éducation nationale ont inclus la démarche de projet technologique. Dès lors, l'analyse fonctionnelle complète les savoirs acquis dans les cursus de collèges où les représentations graphiques des chaînes d'énergie et chaînes d'information permettent de modéliser un système technique. Depuis la réforme du baccalauréat technologique de 2011, le système technique est au centre des référentiels de spécialités. Les termes « Analyse », « Fonction », « fonctionnement » sont récurrents. L'analyse fonctionnelle est donc bien présente en STI2D et constitue une connaissance à part entière à acquérir dans le cadre de la démarche de projet technologique. L'étude d'un système technique, connu ou non, est étroitement liée à sa fonction principale ainsi que de son fonctionnement. Spaulding, Bridge & Skitmore (2005) ont montré que malgré les normes en vigueur, l'analyse fonctionnelle reste sous exploitée dans le monde industriel, et cela au niveau international. Le manque de compétence en serait la principale explication. L'investigation au sujet de sa présence dans les systèmes éducatifs internationaux nécessiterait une étude détaillée.

La transposition de l'analyse fonctionnelle issue du monde industriel dans le les cursus STI2D ne s'est pas faite sans difficulté et ce, malgré les volontés politiques

---

<sup>6</sup> Voir référentiel de l'éducation nationale de 1974.

<sup>7</sup> Education Manuelle et Technologique.

(Olivier, 2014). Les objectifs industriels n'ont pas vocation à prioriser l'acquisition des savoirs mais plutôt à accroître l'efficacité en matière de production. Toutefois Ginestié (2008) fait référence à un modèle d'apprentissage organisé autour de l'acquisition de compétences. Nous pensons que ces compétences peuvent être mesurées grâce à des comportements caractéristiques et identifiables à ce qui se pratique dans le monde industriel. Ainsi elles peuvent nécessiter de s'appuyer sur les connaissances relatives à l'analyse fonctionnelle. La problématique engendrée nécessite des facultés d'adaptation et d'utilisation de ces outils en instruments pour enseigner. De plus les systèmes techniques actuels, toujours plus complexes, engendrent des analyses fonctionnelles elles aussi plus complexes. Le développement des outils numériques peut en ce sens œuvrer pour apporter une nouvelle approche des systèmes techniques et ainsi faciliter leur analyse fonctionnelle.

La recherche qui suit va tenter de nous éclairer sur le rôle éventuel que peut jouer la RA dans l'analyse fonctionnelle en STI2D. Ainsi nous pourrions tenter de mesurer son impact dans la démarche de projet technologique. Ce domaine de recherche centré sur l'utilisation de l'analyse fonctionnelle par les enseignants a été observé par Chatoney (2003) au niveau de l'école primaire et Gunther (2016) au niveau collège. Les expérimentations menées par Chatoney (2010) indiquent que l'analyse fonctionnelle est avant tout, un instrument structurant. Pour les élèves de STI2D, l'analyse fonctionnelle donne du sens aux activités de conception. Comme déjà évoqué dans les lignes précédentes ainsi que par Graube et al. (2003), la mise en œuvre de l'analyse fonctionnelle engendre deux écueils :

- **Une problématique liée au transfert des outils industriels vers le cursus STI2D ;**
- **Une problématique de transformation en instrument pour enseigner.**

Le défi est donc d'identifier les connaissances devant être transmises dans la démarche de projet. Le monde numérique dans lequel évoluent les élèves de STI2D les confronte sans cesse à des systèmes pluri techniques et par conséquent pluri disciplinaires. L'utilisation des nouveaux outils numériques tels que la RA, peuvent aider ces élèves à appréhender l'utilisation de l'analyse fonctionnelle. Dans ce cas, l'analyse fonctionnelle, potentiellement appuyée par la RA, serait susceptible de tisser le lien

entre les élèves, les systèmes techniques et les interdépendances entre les solutions techniques et les fonctions tel que défini par Simondon (1958).



## 2. Enseignement-Apprentissage en technologie

### 2.1. Un processus complexe d'interactions

L'ouvrage collectif sous la direction de Chatoney, Impedovo (2020) fait apparaître l'interdépendance des éléments constituant le processus d'enseignement apprentissage. Ces éléments peuvent se retrouver à travers les élèves, les professeurs mais aussi les activités, les instruments de médiation et les savoirs. D'autres auteurs vont également dans ce sens (Tricot, 2004 ; Sensevy, 2011). Différents modèles permettent de présenter ces éléments et les travaux à paraître de Chatoney, Herold & Laisney (2020) abordent l'une de ces modélisations. Cette approche nous intéresse tout particulièrement car les auteurs s'appuient sur des outils d'analyse relevant de l'approche systémique. Une telle modélisation permet de décrypter le système par niveaux de description de l'activité. Ces niveaux commencent par une approche macroscopique qui s'affine progressivement dans les niveaux inférieurs. L'avantage de cet outil est de permettre l'identification des flux informationnels (professeur, élève, savoir et milieu), interprétables et exploitables sans dénaturer la complexité du système. Les travaux de Ginestié & Tricot (2013) sur la didactique ont permis de mieux appréhender le processus d'enseignement apprentissage. Du point de vue de l'enseignant, ils abordent ce processus par le côté didactique et social tandis que du point de vue de l'élève, ils s'intéressent principalement à la phase d'apprentissage et à sa dimension psychologique. Ainsi le processus d'enseignement apprentissage devient évolutif. Pour le comprendre, il est nécessaire de réaliser des analyses basées sur l'enseignement, mais aussi sur l'apprentissage, sans oublier les interactions qui lient ces deux processus bien distincts. Les auteurs citent notamment : « *Les systèmes didactiques complexes renvoient à des niveaux d'interactions imbriqués dans des réseaux tout aussi complexes. C'est ce qui rend difficile toute forme de modélisation de l'activité de l'enseignement dans une perspective de*

*généralisation.... Ces influences réciproques organisent le déroulement de l'enseignement et, in fine, conditionnent les apprentissages des élèves*». En STI2D, le processus d'enseignement apprentissage véhicule donc un savoir transmis par le professeur d'ETT ou d'enseignement de spécialité à destination de plusieurs élèves dans un contexte de classe particulier : le laboratoire. A cela s'ajoute une logistique ainsi qu'un moyen de communication entre les élèves et le professeur. Dans ce contexte, le travail du professeur se rapproche de celui du manager qui accompagne et guide les élèves. D'autres compétences sont attendues de la part du professeur qui dans ce contexte, décrit par Sensevy comme étant une action conjointe, peuvent nécessiter un rapprochement entre le professeur et l'élève. En effet l'acte de dévolution, tel que décrit par Chatoney (2003), va imposer au professeur de sortir de son rôle de guidage. Il passe donc de manager à concepteur dans la mesure où il prend la responsabilité du bon déroulement de la séance, dès son élaboration jusqu'à sa synthèse. Dès lors, le professeur concepteur de sa séance doit prendre en compte la dimension temporelle de son projet didactique. Cette dimension supplémentaire s'implémente donc au processus d'enseignement apprentissage. Ainsi, les problématiques engendrées par la réalisation de la tâche sont maîtrisées par cette temporalité. Nous pouvons noter ici que ces problématiques ne sont pas uniquement issues de la transposition didactique mais bien du processus d'enseignement apprentissage. Ce processus est donc bien au centre d'actions conjointes et dépendantes les unes des autres, et véhiculées par les aspects cognitifs, sociaux, psychologiques ou encore didactiques. Cette liste d'aspects, non exhaustive, est relative aussi bien au professeur qu'à l'élève. Ils nous permettent d'entrevoir les liens étroits qu'ils peuvent entretenir aussi bien chez les professeurs qu'avec les élèves. Ainsi se pose la question du choix des outils envisagés pour l'observation des phénomènes générés par nos expérimentations. Le travail de recherche qui suit tente d'apporter une réponse à cela. Ainsi, l'objectif principal vise synthétiser le rôle que joue l'un de ces outils dans le processus d'enseignement apprentissage. Plus précisément, cette synthèse contribue à présenter comment la RA peut faciliter l'apprentissage dans une perspective socio-constructiviste, faisant écho de celle présentée par Williams, Nguyen & Mangan (2017) dans leurs travaux sur les apprentissages avec les TIC. L'intérêt porté par ce type d'outil en termes de ressources

pour enseigner, apprendre et interagir est donc abordé car il laisse une liberté conséquente dans le choix des méthodes d'organisation de l'apprentissage.

### **2.1.1. Typologie des tâches**

Une tâche est définie comme étant le but à atteindre dans des conditions spécifiques (Leontiev, 1981). Ainsi, la tâche est associée à la transformation d'un objet visant un objectif clairement défini (Rogalski, 2008). La tâche peut être divisée en sous-tâches garantissant ainsi un degré de détail plus ou moins pertinent. De ce fait, les objectifs à atteindre peuvent être réalisés par l'intermédiaire de termes procéduraux. Trois axes de développement peuvent être utilisés en fonction des contraintes rencontrées :

- **Si les contraintes rencontrées sont liées à une succession d'états différents (suggérant de passer d'un état initial jusqu'à un état final), alors les tâches se traduiront par un découpage chronologique et une décomposition de ces états ;**
- **Si les contraintes sont liées à des opérations indispensables pour progresser dans la succession des différents états, alors les tâches se présentent sous forme de règles élémentaires. Leplat & Hoc (1983) qualifient cela en termes de « dispositif associé à la tâche » ;**
- **Si les contraintes sont liées à la procédure de mise en œuvre, alors les tâches sont basées sur la combinaison des opérations citées précédemment. Le dispositif relatif à la tâche nécessite une opérationnalisation spécifique, respectant une certaine chronologie dans sa réalisation.**

De façon générale, Rogalski (2008), pense que les tâches sont le fruit de celui qui commande leur exécution. Cela peut être l'élève ou le prescripteur extérieur comme le professeur. Les tâches se situent en amont de l'activité qu'elles ciblent. Elles permettent ainsi de les déterminer (Leplat & Hoc, 1983). Le degré de détail étant variable, une tâche dont la description s'avère complète engendre chez l'élève une activité purement exécutive. A contrario, une tâche dont la description s'avère incomplète engendre chez l'élève, une activité conceptuelle de la procédure à réaliser. Toutefois, il est possible qu'une description semble complète pour un élève et incomplète pour un autre. Cette différence est donc dépendante de la manière qu'à l'élève à conceptualiser les

procédures). Cette perception nous ramène directement à Leplat & Hoc (1983) qui dans ces travaux, distingue deux types de tâches caractéristiques :

- **La tâche prescrite. Cette tâche correspond à ce qui est présenté à l'élève ;**
- **La tâche effective. Cette tâche renvoie à la représentation que l'élève s'en fait. Elle correspond à une conceptualisation de l'activité qui se valide chronologiquement et par comparaison avec des traces observables de l'activité.**

Quelle soit effective ou prescrite, la tâche est donc dépendante des objectifs qui lui sont attribués et cela, dans certaines conditions (Leplat, 2004). Dans le cas d'une tâche prescrite, l'élève recevra ces conditions directement de l'extérieur alors que dans le cas d'une tâche effective, l'élève doit lui-même prendre en compte les conditions qu'il s'est assigné pour atteindre les objectifs qu'il compte atteindre. Dans ces travaux, Savoyant (2006), regarde dans la tâche, de quelle façon les conditions vont influencer dans l'activité. Pour Engenström (2001), les conditions liées aux règles, aux répartitions du travail, appartiennent au système d'activité faisant ainsi écho au concept de tâche effective.

Dans ce travail de recherche, l'observation des effets engendrés par l'introduction de l'outil de RA en tant que modification de la condition de la tâche d'analyse fonctionnelle, sera analysée. Il s'agit d'étudier comment les élèves de STI2D ont développé leur action en fonction de la condition de la tâche : L'utilisation de la RA. Pour cela, nous nous appuyons sur les travaux de Savoyant (2006) concernant le modèle de formation des actions de travail. L'auteur propose que de parler d'objectif à atteindre revient à parler de l'activité en terme d'actions. Ainsi, Savoyant émet l'hypothèse que dans l'identification des tâches et des actions correspondantes, il est envisageable d'identifier et d'analyser les actions dites performantes. Il pense que ce niveau d'analyse est identique lorsque les tâches et les actions sont décomposées en tâches et en actions plus élémentaires. Les procédures qui en découlent sont plus ou moins détaillées et sont orientées sur l'exécution de l'action transformant ainsi la situation. Savoyant considère que ces analyses restent insuffisantes pour mesurer l'activité, mais elles restent toutefois un élément de base intéressant pour évaluer l'activité. La performance étant considérée par Savoyant comme étant un indicateur de réussite de l'action. De plus, en vue d'analyser l'activité, Savoyant pense que l'étude de conditions inhérentes aux tâches

soumises aux élèves est nécessaire. Le but étant de comprendre le fondement des procédures prescrites en fonction des propriétés des objets. Il s'agit là d' « *un système ramifié de représentation de l'action et de son produit, des propriétés du matériel de départ et de ses transformations successives, plus toutes les informations dont se sert pratiquement le sujet pour exécuter l'action* » (Galpérine, 1966). La tâche est ainsi construite dans une action composée de plusieurs tâches.

## **2.2. L'élaboration et la constitution des cadres théoriques**

Pour construire nos cadres théoriques, nous nous basons sur plusieurs théories de l'activité et cognitiviste et les apports des didacticiens.

### **2.2.1. Apprentissage par l'approche instrumentale dans une activité de démarche de projet.**

Les enseignants de STI2D mobilisent dans leurs séquences des artefacts qu'ils empruntent bien souvent au monde industriel. La RA en est un exemple. L'objectif principal de ces enseignants est de transmettre un savoir aux élèves. Pour cela ils s'emploient à instrumentaliser les outils dont ils disposent. De même, les élèves de STI2D doivent, dans un premier temps, prendre en main l'outil donné, puis l'instrumentaliser, pour tenter de réaliser la tâche prescrite. Ainsi, pour articuler ces deux approches instrumentales, (enseignantes puis élèves), la production de ressources pédagogiques s'avère nécessaire pour faciliter le processus d'appropriation de la tâche par les élèves. Trouche (2007) emploie le terme d'orchestration instrumentale pour qualifier les phénomènes produits par cette articulation. En ce qui nous concerne, l'utilisation de la RA comme outil dans un contexte d'enseignement technologique permet d'étudier les processus d'appropriations des savoirs visés par l'analyse fonctionnelle des systèmes techniques. Que les outils soient matériels (Ordinateurs,

Smartphone, tablette...) ou immatériels (Logiciels, applications...) l'important est de prendre en compte les artefacts relatifs à l'instrument. Ainsi, la façon et la matière à enseigner passent par des gestes et des techniques mobilisés par l'enseignant. Comme le dit Chatoney (2013), Faire « faire quelque chose » aux élèves n'est pas difficile. En revanche leur permettre de donner du sens à ce que l'enseignant leur demande de faire n'est pas si aisé ». Du point de vue du processus d'apprentissage, nous voyons tout l'intérêt de la mise en œuvre des activités d'analyses fonctionnelles de systèmes techniques. L'étude de la conception d'artefact conduit chaque élève à questionner les fonctions et donc le fonctionnement de l'objet. Dans la démarche de projet, chaque élève est amené à décrire les éléments qui devront assurer la fonctionnalité de l'objet. C'est dans ces articulations que s'élabore le sens comme l'indique les travaux de Lebahar, (1983), Ginestié (2003). Ainsi, les processus d'enseignement apprentissage s'organisent en fonction des différentes situations impliquant la mise en activité des élèves. A ce titre, Vergnaud (1990) fait ressortir dans ses travaux cet état de fait et note que ce phénomène permet de mieux comprendre les phénomènes d'évolution dans les compétences et leurs apprentissages. En faisant le parallèle avec la RA utilisée comme support à l'analyse fonctionnelle et dans un contexte de démarche de projet, la compréhension du système technique va induire la connaissance de différents concepts. Nous faisons référence ici à la théorie des champs conceptuels décrit par Bessot (2015) reprenant les travaux de Vergnaud (1990) et Brun (1993). Bessot s'appuie sur différentes situations d'apprentissage conçues de façon à donner du sens au concept. Le rôle porté par l'artéfact se révèle comme étant essentiel dans l'enseignement technologique, car basé sur l'activité.

Comme nous l'avons vu précédemment, le cursus de STI2D fait référence à des savoirs voisins de ceux issus du monde industriel et plus précisément de celui de l'ingénierie liée au cycle de vie des systèmes techniques. Ce monde véhicule des courants de pensées bien déterminés permettant, pour certains d'entre eux, d'enrichir le concept de l'activité. Nous mobiliserons ici la réflexion proposée par la théorie de l'activité (Vygotski, 1934/1985), et en particulier le concept de « système d'activité » (Leontiev, 1978 ; Rabardel, 1995 ; Engeström, 2001).

Les travaux de Vygotski, basés sur des activités de nature individuelle constituent la base de cette théorie de l'activité. Ensuite, Léontiev a étayé ces recherches en observant la dimension collective de l'activité. Plus récemment, avec les travaux d'Engeström en Finlande ou Rabardel en France, le concept d'activité s'est élargi par l'étude des actions collectives dans un cadre organisationnel. Engeström (1987), propose essentiellement de formaliser l'activité collective, en partant de la représentation évoquée par Vygotski. Toutefois, il introduit des formes de médiation différentes qui caractérisent le contexte de travail, jouant ainsi sur l'évolution de cette activité. Quant à lui, Rabardel (1995) détaille les types de médiation mobilisées et montre que les artefacts permettent la transformation de l'objet, mais aussi sa connaissance. De plus, ils facilitent l'atteinte de buts communs.

De façon respectueuse, Rabardel nomme ces médiations :

- **Médiation pragmatique ;**
- **Médiation épistémique ;**
- **Médiation collaborative.**

La spécificité d'Engeström réside dans l'intérêt qu'il porte au travail se développant à l'intersection de plusieurs types d'activités. De plus, il inclut plusieurs médiations dans l'activité, telles que celles relevées par Vygotski et Leontiev puis reprises par Rabardel, entre l'élève et le système technique, par l'intermédiaire des instruments.

Comme le dit Engeström (2001, p. 137), « *When an activity system adopts a new element from the outside (for example, a new technology or a new object), it often leads to an aggravated secondary contradiction where some old element (for example, the rules or the division of labor) collides with the new one. Such contradictions generate disturbances and conflicts, but also innovative attempts to change the activity systems.* » Ainsi, pour Engeström, l'apprentissage s'opère dès lors que des artefacts se produisent entre différents éléments d'une activité.

Pastré (2006), identifie les interactions qui existent entre l'activité la didactique et l'ergonomie. Les travaux qui en découlent nous apportent des précisions sur les types de liens pouvant être perçus. Par exemple, l'activité de conception réalisée dans l'action œuvre pour le développement de compétences. C'est ce qu'il nomme comme étant la

dimension de psychologie ergonomique de l'activité. Lorsqu'il scinde la connaissance en deux formes bien distinctes ; la forme prédictive et la forme opératoire ; Pastré parle de psychologie du développement. La forme opératoire étant celle qui permet d'agir en situation.

Les apports théoriques que nous venons de traiter représentent le terreau de notre plan méthodologie. A cela, il est intéressant de mentionner les travaux de Tricot (2004) sur la psychologie cognitive mettant en avant les effets induits par la décroissance du guidage dans l'activité. Plus précisément, comment l'élève doit restreindre sa relation au guidage pour favoriser son apprentissage. Nous pouvons aussi faire référence aux travaux de Viau (2009) sur l'engagement des élèves dans la tâche. De façon générale, dans le cursus STI2D, la finalité de l'activité est définie par un système technique. Cependant, différents éléments s'organisent autour de cette activité permettant de mobiliser plusieurs apprentissages. Dans la suite de ce travail de recherche, nous allons nous intéresser plus précisément

Comme nous l'avons présenté précédemment en décrivant la RA, les outils numériques véhiculées par l'analyse fonctionnelle dans la démarche de projet, peuvent s'apparenter à des instruments technologiques dédiés à l'interfaçage homme machine.

### **2.2.2. Le rôle des outils mis à disposition des élèves**

Parce qu'ils permettent un apprentissage reposant sur l'expérimentation, les enseignements technologiques incluent dans leurs pratiques, l'utilisation d'outils. Ces outils sont au service de la pédagogie inductive. Cette démarche prône, à l'inverse de la pédagogie déductive, un apprentissage par l'expérimentation. Ainsi, les phases d'expérimentations reposent sur les interactions créées entre les apprenants entre eux, le professeur, et les outils proposés. Ainsi, nous rejoignons Brandt-Pomares (2012, p. 67) : « *Le choix des supports est intimement lié à ce qu'ils (les professeurs) vont en faire avec les élèves notamment du point de vue de l'importance qu'ils accordent au questionnement qu'ils veulent susciter chez les élèves* ». De ces interactions naissent les explications des résultats obtenus dans les phases expérimentales. Les outils mis à disposition des élèves participent ainsi à l'élaboration d'une pédagogie active. Toutefois, ces outils ne sont pas



une finalité en soit. Par exemple, l'attrait véhiculé par les outils basés sur de nouvelles technologies ne doit pas être prioritaire face aux objectifs pédagogiques initiés par le professeur. Les outils mis à disposition des élèves doivent, avant tout, s'inscrire dans une démarche pédagogique active. Par leur utilisation, les élèves favorisent la construction de leurs savoirs. C'est en utilisant ces outils dans leurs expérimentations que les élèves deviennent acteurs de leurs apprentissages et favorise la coopération. Par exemple, des travaux de groupes et interactifs deviennent possibles avec l'utilisation d'outils numériques. Le rôle des outils mis à disposition dans l'enseignement technologique favorise les apprentissages co-construits des savoirs. Toutefois, les outils envisagés pour assister les élèves dans leurs expérimentations, peuvent présenter des inconvénients. L'instrumentalisation de l'outil lui-même peut être considérablement différente en fonction du profil des élèves. De ce fait, les outils mis à disposition pour une expérimentation, nécessitent une anticipation de la part du professeur. Les contraintes temporelles et parfois spatiales nécessaires à leurs appropriations par les élèves, ne doivent pas interférer avec les objectifs pédagogiques visés dans l'activité. La problématique est identique dans les phases post-expérimentales qui peuvent s'avérer chronophages d'un point de vu logistique. Le temps de synthèse de l'expérimentation ne devant pas en pâtir. Enfin, L'outil mis à disposition des élèves dans l'enseignement technologique doit favoriser la pédagogie centrée sur l'apprenant (Meirieu, 2001). Durant l'expérimentation, le rôle de l'outil doit être d'accompagner l'élève dans la tâche qu'il doit réaliser tout en favorisant les échanges. Sans monopoliser le déroulement de l'expérimentation, il doit permettre de réguler l'élève dans sa progression.

### **2.2.3. La question de l'efficacité en contexte scolaire et impact en conditions réelles**

Si l'efficacité de certains outils dans l'apprentissage peut être considérée comme raisonnablement étayée par la recherche (Morge & Buty, 2014). Toutefois, de nombreuses incertitudes subsistent. Les recherches se sont, le plus souvent, centrées sur l'efficacité par rapport aux résultats produit par les élèves et moins sur la compréhension de ce qu'ils apportent dans le travail demandé aux élèves (Millar, 2014).

A travers cette recherche, la grandeur physique électrique est abordée en fonction d'une variété importante de situation. L'objectif est ici d'observer le ou les effets de ces situations sur l'apprentissage des élèves. Plus précisément, nous regardons si la présence de la RA favorise les apprentissages des élèves et dans quelle mesure la RA contribue à rendre un enseignement plus efficace.

Les recherches sur l'efficacité dans le monde de l'éducation ont mis en avant un système de classification connu sous le nom de leur concepteur : « La classification d'Ellis et Fouts ». Ce système, élaboré dès 1993 a été repris dans les travaux de Bissonnette (2005) qui l'utilisait pour regrouper, sur trois niveaux distinctifs, ses données sur l'efficacité en éducation. En détaillant son approche, Bissonnette attribue au niveau 1 les descriptions issues des phénomènes, les observations et corrélations existantes entre deux variables ou la présentation théoriques. Il s'agit ici de regrouper les recherches basiques en éducation articulées autour de la notion de description. Elles peuvent s'apparenter à des enquêtes ou des études de cas sur le terrain ou en laboratoire. Le degré supérieur de cette classification, le niveau 2, est centré sur les expérimentations qui impliquent la mise en œuvre d'une hypothèse ou d'une théorie induite par les résultats provenant des données de différents groupes (témoins et expérimentaux) et récoltées au niveau 1. Le troisième est dernier niveau permet d'évaluer les phénomènes engendrés par le deuxième niveau. Il observe, à large échelle, la variable étudiée. Dans la suite de ce travail de recherche, il est admis d'attribuer au premier niveau de cette classification, l'ensemble des recherches confirmant l'intérêt des systèmes techniques dans l'enseignement technologique. Nous nous rapprochons ainsi des travaux de Boyer & Givry (2017) qui mettaient en œuvre des systèmes énergétiques à travers leurs expériences. En ce qui nous concerne, nous souhaitons quantifier l'efficacité de la RA sur les apprentissages des élèves. Ce travail de recherche s'inscrit donc dans une classification de niveau 2. Pour cela, la littérature anglaise (Creemers & Kyriakides, 2007) nous apporte des éléments de réponse par l'intermédiaire des travaux de l'EER<sup>8</sup>. Ces travaux nous renseignent sur les différents résultats obtenus par les élèves en fonctions de leurs origines scolaires, leurs capacités et leur environnement socioculturel. Ces travaux de grande ampleur, ont abouti sur

---

<sup>8</sup> Educational Effectiveness Research

l'élaboration de modèle d'efficacité basés sur différents niveaux intégrant eux-mêmes les éléments déclencheurs d'un impact sur la performance d'un élève.

L'efficacité dans le contexte scolaire semble trop souvent abordée par l'observation de situations et ne prennent que trop rarement en compte les processus d'apprentissage individuel de chaque élève ni ce qui est mis en œuvre dans la classe. Bart (2015) en témoigne et met en avant le fait que l'efficacité n'est observée par la recherche que par la compréhension de ce qui soutient ou non l'élève dans son apprentissage.

De façon générale, l'évaluation de l'efficacité des élèves se base sur la mesure des performances de ces derniers en fonction de l'atteinte de leurs objectifs. Le travail de recherche mené dans cette thèse se réfère à l'efficacité telle qu'elle est décrite par Kyriakides, Creemers & Charalambous (2018) dans leur ouvrage « *Equity and Quality Dimension in Educational Effectiveness* ». Ils mettent en avant la différence que l'on peut trouver entre la capacité à produire l'effet demandé et la capacité à produire la quantité d'effets demandés. Cette différence se traduit par l'emploi de termes anglais appropriés. Nous employons donc dans la suite de cette étude, les termes « Effectiveness » pour traduire la production de l'effet et « efficacy » pour la production de la quantité d'effets escomptés. Dans notre étude, l'efficacité de l'utilisation de la RA pour réaliser l'analyse fonctionnelle des systèmes techniques étudiés, se rapproche de la notion d' « efficacy ». Comme nous l'avons vu, le cursus STI2D est proche du milieu industriel et de ses enjeux. Ce cursus nécessite de la part des élèves qui le suivent, d'acquérir une culture technologique transversale suffisante pour pouvoir aborder de multiples objets techniques. Plus précisément, l'éducation technologique forme les élèves à analyser le fonctionnement des systèmes techniques pour ensuite pouvoir concevoir, améliorer, maintenir. Ainsi, en multipliant les systèmes techniques, nous multiplions leurs analyses fonctionnelles. Ici, il ne s'agit pas simplement de mesurer si l'utilisation de la RA pour l'analyse fonctionnelle est efficace ou non, mais plutôt de mesurer si l'utilisation de la RA apporte une plus-value à l'enseignement. Concrètement, nous regardons si la RA permet aux élèves de STI2D d'apprendre à réaliser les analyses fonctionnelles des systèmes mécatroniques dans leurs ensembles. Pour toutes ces raisons, nous comparons deux groupes d'élèves de STI2D (avec RA et sans RA) afin de faire ressortir si l'introduction de l'utilisation de la RA s'avère efficace dans la phase d'analyse fonctionnelle. Il est

important de préciser que dans cette étude, la mesure de l'efficacité de la RA ne sera pas réalisée en fonction d'un nombre prédéfini d'analyses fonctionnelles à réaliser.

## 2.3. Diagnostic de terrain

Dans le secteur industriel, l'année 2017 a été marquée par la multiplication des solutions numériques pour accompagner les techniciens dans leurs réalisations. Le groupe Safran a lancé un programme visant à réduire les erreurs dans l'installation des harnais électriques à bord des avions. Naval Group (ex-DCNS) a testé la RA pour l'installation de la tuyauterie dans ses navires. Renault Trucks l'utilise de son côté pour le contrôle qualité de ses moteurs. Tout comme le groupe Safran pour réduire les erreurs dans l'installation des harnais électriques à bord des avions.

Dans le secteur de la recherche, la didactique des sciences et des technologies se nourrit, entre autre, de l'étude des artefacts numériques et de leurs conséquences dans le processus enseignement-apprentissage. La démarche pédagogique qui prévaut en science technologique, calquée sur celle de l'ingénieur industriel, est articulée autour du travail en équipe sur des problématiques réelles liées à des défis sociétaux. Ses maîtres mots : centre d'intérêt, investigation, résolution de problème. C'est en analysant les potentialités des ordinateurs portables que Baber (2001) a mis en avant leur rôle médiateur entre le monde et l'utilisateur. Avec l'évolution des outils numériques, la manipulation de l'information perçue devient ludique. Dans la même optique, les outils numériques et plus précisément la RA, sont perçus comme « *Compléments aux processus cognitifs* » (Neumann & Majoros, 1998). Ainsi, dans un contexte didactique les outils numériques peuvent être regardés comme une ressource pédagogique. L'expression « Ressource pédagogique » se réfère aux différents moyens physiques facilitant l'apprentissage pour l'élève ainsi qu'à la conduite de l'interaction didactique pour le formateur (Burkhardt, Lourdeaux, & Mellet d'Huart, 2006).

Peu de recherches ont été effectuées à propos de l'enseignement technologique en France sur l'impact des outils numérique sur l'apprentissage des élèves. C'est dans cette perspective de problématisation des différentes représentations de la consigne que se situe cette expérience. Nous nous intéresserons ici, à deux technologies numériques

différentes, l'Interface de développement (IDE) Flash et la RA, dans le processus enseignement-apprentissages en Sciences et Technologies de l'Industrie et du Développement Durable, au lycée. Cette expérience a pour enjeu de vérifier l'apport de la RA en comparaison avec l'IDE Flash en STI2D, dans la perspective de favoriser chez les élèves, la mise en œuvre d'un système technique dans la démarche de projet.

### **2.3.1. L'IDE Flash comme outil numérique**

Flash, est un logiciel permettant la manipulation de contenus multimédia destinés à être publiés sur Internet. Depuis son lancement en 1996, la technologie Flash est devenue une des méthodes les plus populaires pour ajouter des animations et des objets interactifs à une page web. De nombreux logiciels de création et systèmes d'exploitation sont capables de créer ou d'afficher du Flash. Celui-ci est généralement utilisé pour créer des animations. Il permet aussi d'intégrer de la vidéo en streaming dans une page, jusqu'au développement d'applications. Les fichiers Flash, généralement appelés *animations Flash*, comportent l'extension « .SWF ». Flash a longtemps été la plate-forme dominante pour le contenu multimédia en ligne et par conséquent, a été largement utilisé dans le monde éducatif. Mais depuis la décision en 2010 d'Apple de ne plus le supporter sur les ordinateurs, tablettes et téléphones de la marque, l'utilisation de Flash est donc passé de près de 50 % en 2011 à 10 % en octobre 2016. Depuis, Adobe favorise une transition vers le HTML5 et sa mort définitive est annoncée pour 2020, qui, rappelons-le, correspondra à la mise en œuvre de la réforme du nouveau lycée.

### **2.3.2. La réalité augmentée comme outil numérique**

La RA est l'un des phénomènes émergents permis par le développement et la démocratisation des technologies de l'information et de la communication (TIC) à la fin du XX<sup>e</sup> siècle. Elle participe à certaines *formes augmentées* du travail collaboratif telles que conceptualisées par Michel Bauwens. L'usage de la RA s'est accru et diversifié. La démocratisation des Smartphones et des tablettes, en particulier, ont contribué à l'adoption de ces pratiques. En effet, la présence d'une ou plusieurs caméras participe au développement de cette technologie. « *Ces appareils sont particulièrement propices à une*

*utilisation contextualisée et en situation* » (Dugas, 2016). La caméra captant le réel, et permettant de l'afficher sur l'écran de l'appareil tout en rajoutant d'autres informations.

Comme le note Anastassova et al. (2007) : « *Actuellement, la formation est l'un des deux domaines d'application privilégiés de la réalité augmentée, l'autre étant l'assistance au suivi de procédures* ». En effet, plusieurs auteurs considèrent que la RA pourrait contribuer à constituer un environnement favorable à l'apprentissage. Nombre d'idées fortes sur les intérêts de ce type d'I.H.M (Interface Homme Machine) pour la formation coexistent. Les plus courantes peuvent être réunies dans les deux groupes suivants : Fournir un double support réel/virtuel à l'activité de l'élève ; Stocker et délivrer de l'information contextualisée.

### **2.3.3. Les outils numériques dans la démarche de projets**

Ces dernières années, le numérique est devenu un enjeu international « *Ne vous contentez pas d'acheter un nouveau jeu vidéo, créez-le ! Ne vous contentez pas de télécharger la dernière application, aidez à la concevoir ! Ne vous contentez pas de jouer sur votre Smartphone, programmez-le !* »<sup>9</sup>; « *Le cœur du défi économique français, c'est de prendre en compte les grandes transitions numérique et énergétique* »<sup>10</sup>. Les applications mobiles ont envahi notre quotidien : 30 milliards d'objets connectés sont annoncés pour 2020. La génération actuelle de nos élèves, née dans cette nouvelle ère du numérique, s'en approprie les usages naturellement. Les pratiques pédagogiques et les supports de formation doivent prendre en compte cette révolution. Tel est le sens initial du développement de la plate-forme « App Inventor2 ». Son objectif est de permettre la réalisation d'applications communicantes en s'affranchissant des syntaxes de programmation complexes, en ne se concentrant que sur l'algorithme. Grâce à son langage graphique, réaliser une application sous Android devient comparable à l'assemblage d'une structure en blocs. C'est ce processus qui est transposé en STI2D. Notons que l'utilisation d'« App inventor2 » est actuellement la solution la plus utilisée dans l'enseignement technologique. Principalement grâce sa simplicité.

---

<sup>9</sup> Obama, 2013

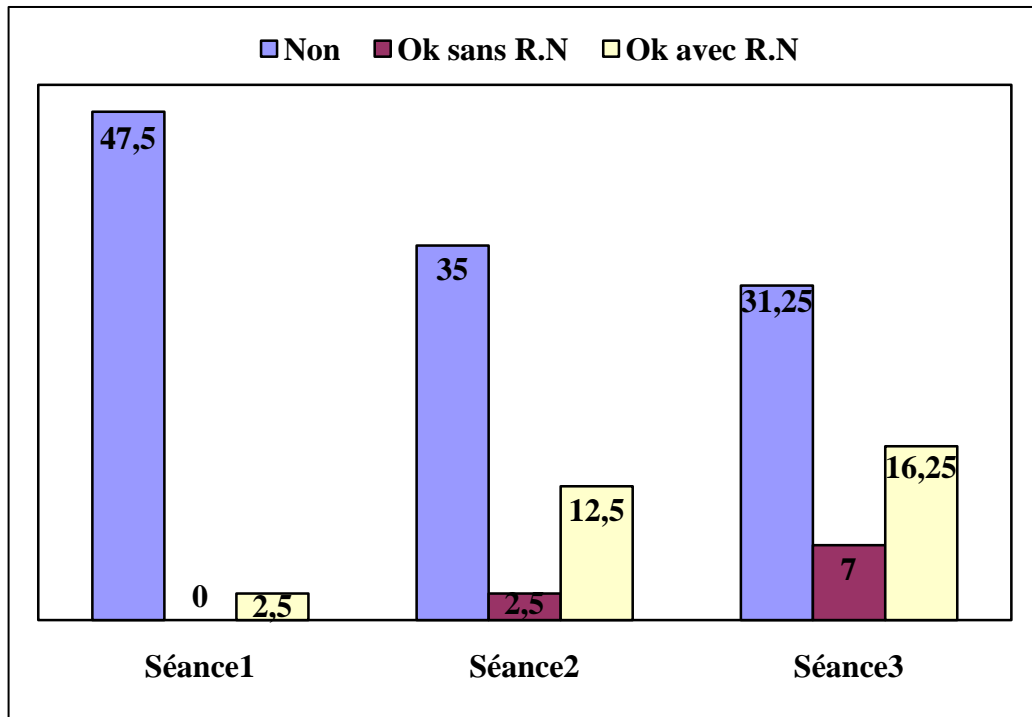
<sup>10</sup> Macron, 2016

Les nouveaux programmes STI2D intègrent les outils numériques comme étant nécessaires pour concrétiser la créativité au travers d'activités menées dans le contexte des démarches de projets technologiques. *« il s'agit en effet de faire vivre aux élèves, lors des deux années, tout ou partie d'une démarche de réalisation d'un prototype dans le cadre d'une pédagogie de projet »* (Ministère de l'Education Nationale, 2011). Les objectifs visés sont de répondre aux principes de l'enseignement technologique à travers, entre autres, des méthodes pédagogiques inductives appliquées à des systèmes techniques réels, comme alternative aux enseignements purement abstraits de la voie générale. De cette manière, les élèves doivent être capables, de dimensionner, simuler, réaliser un prototype, afin de concrétiser la solution technique envisagée pour enfin de la communiquer. L'enseignement est décrit comme s'appuyant *« sur des études de systèmes qui nécessitent la mise en œuvre d'outils d'analyse, de représentation, de recherche et de validation de modèles ainsi qu'une culture des solutions constructives mises en œuvre »* (Ministère de l'Education Nationale, 2011). Ainsi, pour passer d'une idée à un prototype, les consignes numériques véhiculées à travers l'IDE Flash et à travers la RA sont parmi les outils numériques les plus adaptés, à l'heure actuelle, en lycée technologique et particulièrement en STI2D dans le cadre des projets technologiques. Dans le cadre de notre travail de recherche, nous faisons l'hypothèse qu'elles peuvent être un outil efficace pour permettre aux élèves de construire une interprétation plus juste de la tâche prescrite par l'enseignant dans le cadre d'une démarche de projet.

#### **2.3.4. Analyse des résultats**

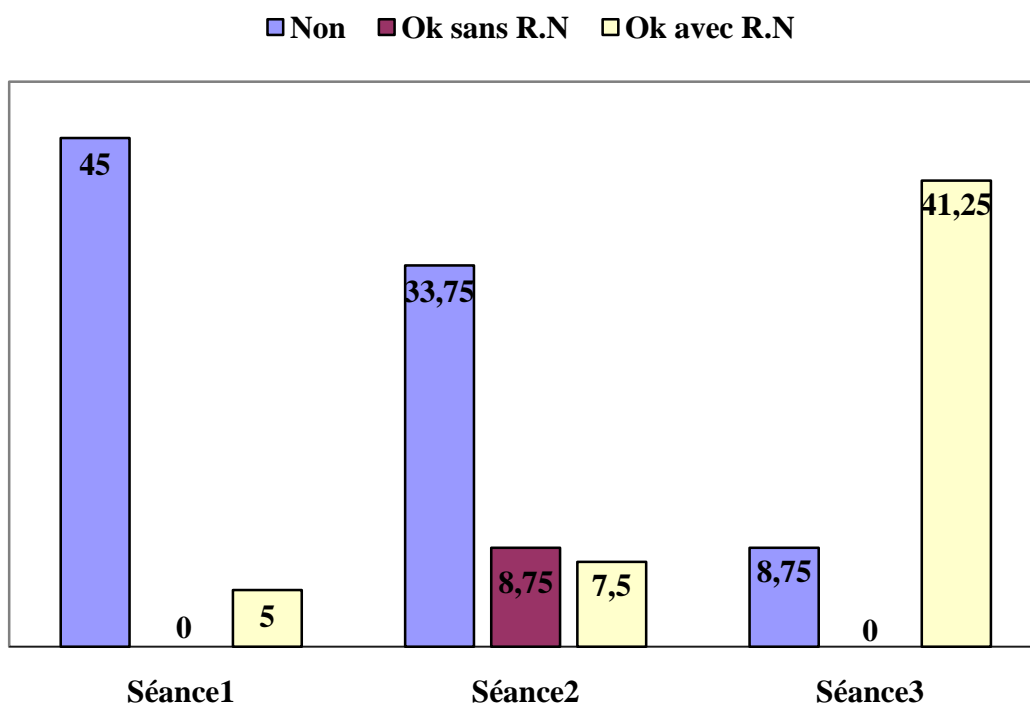
Les réalisations, les traces écrites, les intermédiaires graphiques, et des applications mobiles produits par les élèves constituent le socle des données récoltées et analysées sur l'ensemble des 3 séances. Ces données sont ensuite réparties dans des graphiques de synthèse identifiés par le nom et la classe de l'élève ainsi que le groupe auquel il appartient. Nous pouvons ainsi mesurer l'évolution de la recherche de solution d'une séance à l'autre et observer, pour chacun des choix d'outils numériques dédiés aux consignes, leurs effets.

Les deux premiers relevés (*Graphique°1* et *Graphique°2*), traduisent la répartition en pourcentage des élèves n'ayant pas réussi à avancer dans leur projet que ce soit dans le développement de l'application mobile ou de la réalisation du prototype du système technique (*Non*). Nous pouvons également mesurer la répartition des élèves ayant réussi à évoluer dans leur projet sans l'apport de ressources numériques (*Ok sans R.N*). Et enfin nous pouvons mesurer la répartition des élèves ayant pu avancer dans leur projet dès lors qu'une ressource numérique leur a été fournie (*Ok avec R.N*).



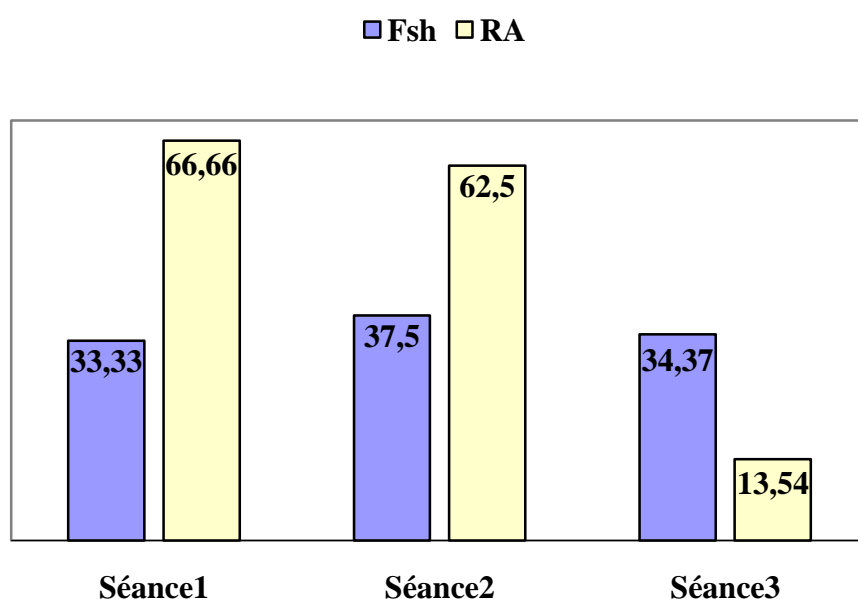
*Graphique 1 : Evolution de la recherche de solution – Groupe développement de l'application mobile.*





*Graphique 2: Evolution de la recherche de solution – Groupe assemblage des cartes électroniques.*

Dans le troisième relevé (*Graphique°3*) nous comparons la RA avec le support Flash (*Fsh*) en tant que ressource numérique et l'effet produit sur les binômes dans leur démarche de projet.



*Graphique 3: Evolution de la recherche de solution – Comparaison Réalité Augmentée Vs Flash.*

Dans la population STI2D, nous constatons une évolution de la tâche à la troisième séance (41.25% des élèves) suite à l'introduction des ressources numériques (*Graphique°2*) contre 8.75% d'entre eux qui ne réussissent pas. Les groupes d'élèves en développement restent bloqué dans l'activité de développement de l'application mobile. 31.25% d'entre eux n'évolue pas dans l'activité contre seulement 7% qui arrivent à évoluer sans ressource numérique (*Graphique°1*)

Concernant le comparatif entre la RA et le support flash (*Données N°3*), nous constatons plus de réussite lorsque la RA est utilisée. La validation de la ressource numérique au travers de la RA donne 66.6% et 62.5% des binômes qui avancent dans l'activité lors des 2 premières séances et 31,25% arrivent encore à évoluer à la séance 3, contre une moyenne de 35% qui avancent dans l'activité avec le support Flash.

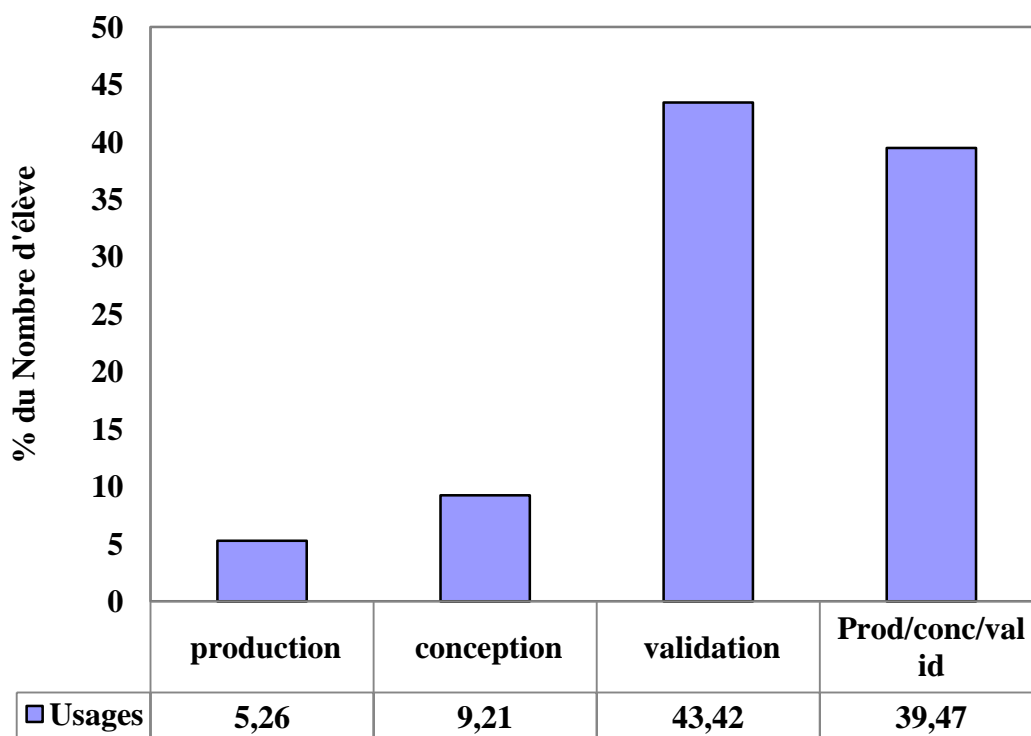
### 2.3.5. Discussions

Dans un premier temps, nous pouvons observer, à travers les résultats obtenus, que les élèves en charge du développement de l'application mobile évoluent modérément dans la tâche dite de prototypage. L'explication est en partie liée au manque de maîtrise de l'outil de développement APP Inventor2. En effet, le lien entre l'application et le système technique dans le processus de communication (Bluetooth) n'est pas suffisamment maîtrisé. Bien qu'utilisant un langage de programmation graphique les diverses solutions programmables possibles freinent l'évolution dans la tâche pour l'ensemble des élèves. Cela s'explique par le fait qu'ils passent trop de temps à simuler et à remodifier le code. Globalement, les élèves éprouvent du mal à valider leur production malgré les nombreuses simulations informatiques effectuées.

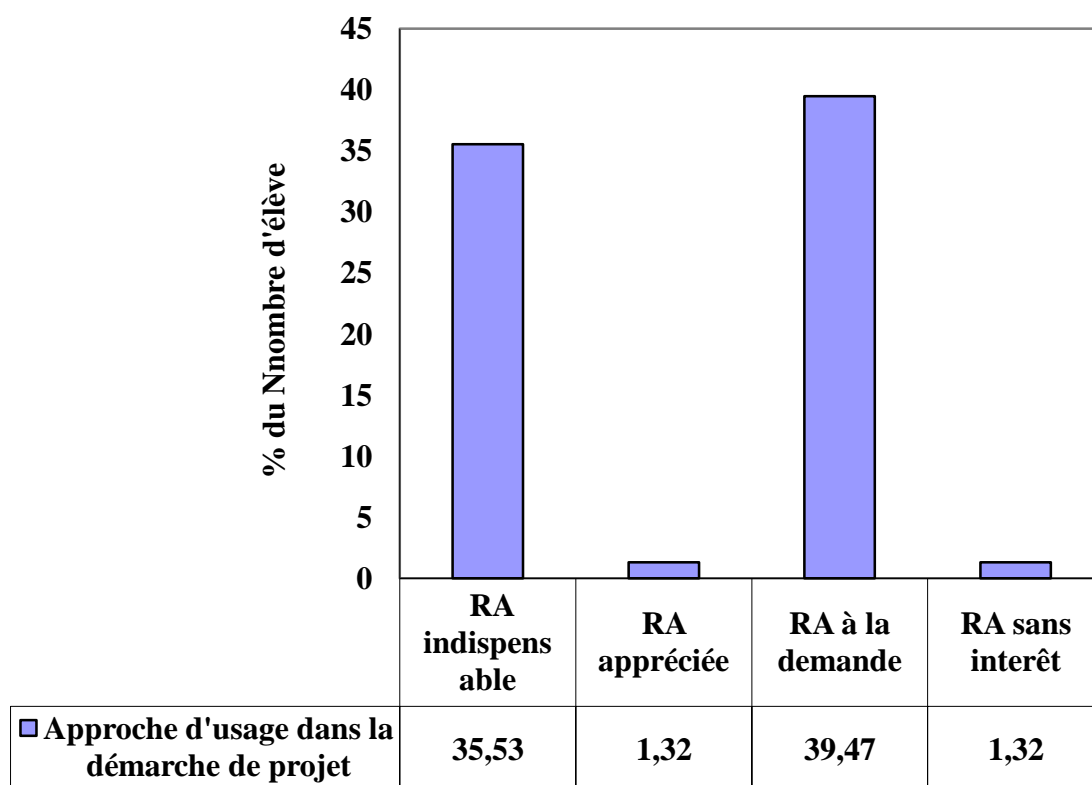
Dans un deuxième temps, l'évolution de l'activité des élèves du groupe assemblage-prototypage s'explique en partie à la rapidité de la prise en main des outils numériques utilisant la RA. Même si les élèves ne valident pas tous leurs solutions, le constat qui est fait est que l'assemblage des cartes électronique leur permet de vérifier dans le réel, les résultats simulés en amont. Ils peuvent visualiser dans le monde réel, les résultats de leur création tout en mesurant le comportement et la communication des différents sous-systèmes. Ces premiers résultats vont dans le sens de notre hypothèse. Ainsi, la démarche de projets, telle que plébiscité dans les programmes STI2D, est respectée. Le passage de la simulation numérique au prototypage a induit un effet positif sur l'apprentissage.

Dans un troisième et dernier temps, les informations issues des questionnaires révèlent que la majorité des élèves trouvent que la technologie de la RA a toute sa place dans la démarche de projet. Cependant, malgré l'engouement des élèves pour l'utilisation de la RA comme « nouvelle » interface, celle-ci n'est pas perçue pour la plupart d'entre eux (27%) comme étant une avancée majeure pour le monde de demain. Bien que la RA ne soit pas une technologie abordée comme objet d'étude en classe de première, il semblerait que les élèves soient plus intéressés par le résultat obtenu que par l'outil lui-même. Nous notons également qu'une partie des élèves (35,53% *Graphique°5*) envisage la RA comme étant une aide dans l'assemblage des cartes

électroniques. Cette approche d'utilisation se rapprocherait du type *guidage* en se focalisant sur les étapes successives à réaliser avant la mise en œuvre finale du système technique. De cette façon, le guidage nous renvoie à une utilisation de type simulation-assemblage-validation pour 39,47% des élèves (*Graphique°4*). Cependant, il est opportun de préciser qu'en situation de classe cette approche ne traduit pas la fonction réelle de la RA qui est avant tout de valider une solution.



*Graphique 4: Répartition du type d'usage de la Réalité Augmentée par les élèves.*



Graphique 5: Approche de l'usage par les élèves de la Réalité Augmentée.

### 2.3.6. Conclusion

La démarche de projets visant la mise en œuvre d'un système technique nécessite une rigueur dans la validation successive des étapes qui la constitue. Celle-ci peut s'avérer rapidement complexe si ces étapes ne sont pas respectées. Il s'agit bien d'un processus itératif et incrémental se réalisant à travers des outils numériques adaptés, y compris par l'usage des technologies de RA. Bien que la RA soit perçue par les élèves (43,42%, *Données N°4*) comme un outil utile pour valider les fonctions du système technique, une grande partie d'entre eux (35,53%, *Données N°5*) ont une approche trop rapidement axée sur le guidage, négligeant souvent la simulation susceptible de valider pleinement les fonctionnalités du prototype à réaliser. En fonction de ces éléments, notre hypothèse qui fait le postulat que la RA se substitue à la technologie Flash dans la démarche de projet technologique nous semble cohérente. En effet, les élèves ont une

interprétation plus juste de la tâche prescrite par l'enseignant dès lors qu'ils favorisent l'utilisation de la RA comme outil numérique. Cependant, le traitement des données relatives au questionnaire<sup>11</sup> permet de mettre en avant que certains élèves sous estiment l'importance de la technologie de la RA. Toutefois ils sont conscients que celle-ci représente une aide et donc un gain de temps dans la démarche de projets. Par transposition avec le monde professionnel, ils comprennent également l'intérêt économique lié à son développement dans le secteur industriel, qui les concerne au premier plan.

Il est toutefois important de souligner le fait que cette activité expérimentale monopolise deux variables différentes dans sa construction :

- **Flash ;**
- **RA.**

C'est deux variables étant en parallèle avec deux autres variables également différentes :

- **Développement de l'application mobile ;**
- **Assemblage des cartes électroniques.**

Ce biais peut paraître inopportun et ouvrir la discussion. J'ai fait le choix de considérer ces deux variables comme étant une seule et même variable que l'on pourrait définir comme étant celle de la démarche de projet.

De plus, rappelons que cette expérience est de nature exploratoire avec une volonté de définir un premier cadre au sein duquel s'intégreront les expériences à venir. Ainsi, ces premiers résultats vont nous permettre de faire la transition avec les autres hypothèses. Au terme de ce travail de recherche, il sera intéressant de vérifier si cette expérience exploratoire converge ou pas vers les résultats des prochaines expériences.

---

<sup>11</sup> Voir documents fournis en annexes

## 2.4. Synthèse, questions et hypothèses

L'état de l'art présenté précédemment soulève un certain nombre de questions sur et autour de l'artefact.

Dans l'enseignement STI2D, les nouvelles technologies s'enseignent et sont utilisées avant même qu'elles soient prescrites institutionnellement comme si les enseignants faisaient de la veille technologique pour anticiper l'évolution des savoirs industriels. L'étude exploratoire montre que l'introduction d'un nouvel outil (la RA) n'est pas un obstacle pour enseigner. De plus, les apports théoriques précédents nous confrontent à certaines questions relatives à la notion d'artefacts. L'une d'entre elles nous questionne sur le véritable objectif de l'apprentissage proposé aux élèves dès lors que l'enseignement est basé sur un système technique plus ou moins connu de la part de ces derniers ? La démarche de projet dans laquelle s'intègrent ces systèmes techniques oblige les élèves à articuler deux approches. L'une fonctionnelle, l'autre structurelle. Ces approches sont difficiles à appréhender du fait de cette articulation qui conduit à la concrétisation du système technique. Autrement dit, sa représentation. Nous avons précédemment soulevé le fait que la transposition d'outils issus du monde industriel dans le monde de l'éducation pouvait engendrer certaines contraintes. En effet, l'analyse d'un système technique au moyen de la RA et dans le cadre d'une démarche de projet technologique, nécessite un certain formalisme. Nous pouvons alors nous questionner sur le lien pouvant exister entre les références industrielles et la didactique des sciences technologiques. Ainsi, pour tenter de répondre, nous envisageons que la mise en œuvre d'artefacts est nécessaire pour orienter un apprentissage technologique. De ce fait, l'information impactée par l'apport de la RA, permet-elle aux élèves de performer plus dans la phase d'analyse de systèmes techniques ?

Nous nous interrogeons principalement sur l'apport de la RA dans les tâches d'analyse fonctionnelles proposées aux élèves de STI2D. Quelle est la plus-value de cette nouvelle technologie dans la didactique des sciences technologiques ? Les premiers arguments industriels posent les bases de son utilisation. La RA est, à ce jour, démocratisée et largement diffusée à travers le monde. Dans l'éducation, la RA est de

plus en plus utilisée quel que soit le niveau d'études et les matières enseignées (technologiques et générales). Elle s'appuie sur de nombreux supports de communication tels que les PC, Smartphones, tablettes et casques de type Google glass. Les informations qu'elle embarque peuvent être dynamiques ou statiques et représentent autant d'artefacts pour réaliser l'analyse fonctionnelle d'un système technique.

En France, dès le cycle 4, la RA peut être instrumentalisée pour répondre aux objectifs liés à l'analyse fonctionnelle prévue dans les référentiels de l'éducation nationale. Mais c'est au lycée, et plus précisément dans l'enseignement technologique transversal, qu'elle peut s'avérer efficace dans la démarche de projet. En effet, le laboratoire d'enseignement technologique transversal est le lieu où tous les élèves de STI2D reçoivent un enseignement technique commun. De plus les prés requis relatifs à l'entrée dans le cursus de STI2D permettent de penser que ces élèves disposent des principales connaissances pour développer leurs compétences dans la gestion de projet technologique. Cette catégorie d'âge nous intéresse tout particulièrement car les élèves de STI2D (pour la plupart, moins disposés à suivre des enseignements scientifiques généraux tels que les mathématiques) restent néanmoins réceptifs à des enseignements dispensés de façon moins théorique et plus enclin à proposer une autre vision des sciences. C'est en fonction de ces raisons que nous avons choisi de réaliser cette recherche dans ce niveau d'étude. De façon générale, la technique se nourrit de la réflexion et de ses différents schèmes. Dans ses travaux, Simondon distingue trois catégories dans la technique : « les éléments (diodes, puces, circuits imprimés, etc.) constituent des objets [individus] (téléphones, téléviseurs, ordinateurs) qui font partie d'un ou plusieurs systèmes techniques [ensembles] (transports automobiles, réseaux télématiques, construction et entretien de bâtiments, etc.) ». De plus, il met en avant le fait que pour acquérir la connaissance des ensembles techniques, l'être humain doit être confronté aux différentes situations qu'il peut rencontrer. Par ce constat, il est donc préconisé de mettre les élèves de STI2D en activité autour de différentes mises en situation. Notre choix se porte donc sur l'observation du processus d'enseignement apprentissage en situation. Bien que ce choix implique d'assumer les contraintes méthodologiques liées à l'acceptation des protocoles expérimentaux par les équipes



pédagogiques ou encore la direction de l'établissement, nous pourrions observer les différents phénomènes dans l'endroit même où ils se produisent. Ainsi, nous examinerons l'apport de la RA dans une situation réelle et non pas dans un modèle de situation. Par ce choix, cette étude est axée sur la réalité quotidienne d'un enseignement technologique dispensé par un professeur à de véritables élèves.

Nous faisons ici notre première hypothèse car nous sommes à même de nous questionner sur l'apport réel de la RA lorsque celle-ci est utilisée dans une tâche d'analyse fonctionnelle. L'instrumentalisation de cette nouvelle technologie peut-elle contribuer à l'acquisition de savoirs utiles pour analyser et comprendre différents systèmes techniques ? Pour répondre à cette interrogation, nous faisons l'hypothèse que la RA est un instrument utilisé dans l'enseignement technologique, et plus précisément dans démarche de projet technologique, pour amener l'élève à mieux comprendre les différentes interactions qui s'opèrent à l'intérieur d'un même système technique. L'efficacité de la RA dans l'analyse fonctionnelle est observée par l'intermédiaire de l'étude de systèmes et vérifie le rôle que peut jouer cette technologie dans la construction de la réflexion technologique chez des élèves de STI2D.

## **3. Plan expérimental**

### **3.1. Reformulation de la question de recherche et hypothèses**

Le cadre théorique nous conduit à reformuler notre question de départ sur l'efficacité de la RA dans l'enseignement/apprentissage dans les termes suivants : Les fonctions de la RA prédisposent-elles à l'étude de système technique dans l'enseignement de STI2D ?

Nous posons les 2 hypothèses opérationnelles suivantes :

H1 : Les informations et données textuelles et graphiques embarquées dans la RA qui se juxtaposent sur un système technique réel ou photographié (autrement dit les fonctions constituantes prévues par le concepteur de la RA), permettent aux élèves d'être plus performants en situation d'analyse de systèmes techniques notamment par l'identification des savoirs fondamentaux de technologie tels que les fonctionnalités, le principe de fonctionnement, les solutions techniques.

H2 : Les élèves attribuent à la RA de nouvelles fonctions pragmatiques de contrôle et de régulation de leur propre travail et produisent moins d'erreurs dans la mise en œuvre du système. Il se crée un processus itératif élève/tâche/RA.

## **3.2. Champs d’investigation et contexte de l’expérimentation**

Champs d’investigation : STI2D

Echantillon : L’échantillon est constitué par 96 élèves répartis dans 3 classes de 32 élèves chacune.

Méthode comparative : L’échantillon est divisé en 2 groupes de 48 élèves. Les élèves du groupe RA disposent de la technologie RA. Les élèves du groupe T (groupe témoin) ne disposent pas de de cette technologie.

Contexte : L’étude de système comme objet à enseigner renvoie à 2 situations caractéristiques suivantes :

- **L’analyse de système qui vise la connaissance fonctionnelle et structurelle du système étudié ;**
- **La mise en œuvre qui vise l’usage.**

## **3.3. Méthodologie et opérationnalisation d’H1 – focus sur analyse de système**

Objectif de la recherche : Vérifier si la RA à une incidence sur l’élaboration des connaissances fonctionnelles et structurelles des systèmes et identifier à quel type d’élève elle profite le plus.

Méthode : Tous les élèves suivent le même enseignement. Seuls les moyens RA mis à disposition, pour réaliser la tâche, différent selon le groupe (RA ou témoin). Ainsi, le groupe RA dispose des fonctionnalités embarquées par la RA et spécifiques à la carte Raspberry Pi. Par navigation dans les différents menus de l’application, les élèves ont accès aux représentations augmentées de la carte réelle. Ils peuvent visualiser sa

modélisation 3D, sa représentation « éclatée », son schéma structurel, sa B.O.M<sup>12</sup> (nomenclature) composants, son assemblage. La vision proposée à ces élèves, s'attache à présenter les informations numériques complémentaires à l'emplacement exact de la zone d'action manuelle et non pas simplement dans le champ de vision de l'élève. Le groupe T dispose d'une ressource numérique avec les mêmes outils.

L'organisation de la séquence d'enseignement se fait en 3 phases : une phase d'initiation, une phase d'approfondissement, une phase de réinvestissement permet d'accompagner l'élève et de contenir la surcharge cognitive liée à l'outil.

Nous présentons ci-dessous le déroulé de l'ensemble de la séquence à des fins de compréhension.

### **3.3.1. Déroulement de la séquence proposée aux élèves**

La séquence commence par une vidéo d'introduction sur l'analyse fonctionnelle. La vidéo permet d'introduire la séquence de la même manière dans les 3 classes et de contrôler l'effet professeur. Dans la vidéo, plusieurs systèmes techniques sont présentés (Multimètre, centrale électrique, carte électronique) de sorte à relier l'étude de système aux notions d'électricité et des moyens de production de l'électricité à enseigner. Elle s'organise ensuite en 3 temps : une phase d'initiation, une phase de approfondissement et une phase de réinvestissement.

Lors de la phase d'initiation, les élèves apprennent à analyser un système qu'ils connaissent bien et qui ne pose pas de réelle difficulté pour eux : Le multimètre. La conception du multimètre et ses différentes fonctions peuvent faire apparaître quelques subtilités comme l'indique Akrich (1987) pour qui « *il suffit de considérer les objets les plus banals qui nous entourent pour constater que leur forme est toujours le résultat d'une composition de forces dont la nature est des plus diverses* ». La tâche dévolue consistait à nommer le système, dire à quoi il sert et préciser ce que les concepteurs du multimètre ont prévu pour qu'il puisse assurer sa fonction principale. Pour réaliser la tâche les élèves disposaient des moyens suivants : l'ensemble des outils graphiques nécessaires à

---

<sup>12</sup> B.O.M : Bill Of Material

la représentation et à l'analyse de ce système. Le groupe RA dispose de tablettes configurées avec la RA, le groupe témoin dispose de tablettes configurées avec un tutoriel. Le groupe RA s'initie à l'outil en l'utilisant.

Dans la séance d'approfondissement les élèves analysent différents types de centrales électriques. Ces centrales sont, dans leur fonctionnement général, abordées dans les référentiels de collègue. Autrement dit les élèves en ont une représentation initiale. Comme précédemment le groupe RA utilise l'outil RA. Le groupe témoin utilise des tablettes configurées avec un tutoriel. La tâche est la même que précédemment mais en temps limité à 15 minutes. Le temps accordé volontairement court permet d'éviter la dissertation et oriente vers le recours à d'autres outils pour que l'élève ayant perçu comme une référence le ou les exemples précédents puisse reproduire et réinvestir le savoir-faire (Bandura, 1986). Pour réaliser ce travail, les élèves ont analysé et comparé les données énergétiques et techniques ainsi que les infrastructures pour en extraire les arguments nécessaires à l'identification des différentes technologies de production électrique.

Dans la séance de réinvestissement, les élèves analysent le système Carte Raspberry Pi. La carte Raspberry Pi est un système méconnu d'eux. Elle possède plusieurs sous-ensembles non apparents. Autrement dit pour réaliser ce travail les élèves doivent dépasser l'apparence initiale du système et intégrer la complexité fonctionnelle du système pour l'analyser. Les conditions instrumentales du groupe avec RA et du groupe témoin sont les mêmes que précédemment. Nous avons fait le choix de centrer l'étude sur la phase de réinvestissement des connaissances parce que les élèves sont en autonomie et que l'enseignant n'intervient plus dans le système didactique.

### **3.3.2. La tâche**

La tâche prescrite est de : nommer le système (carte Raspberry Pi), dire à quoi il sert, puis indiquer ce que les concepteurs de la carte Raspberry Pi ont prévu pour qu'elle puisse assurer sa fonction principale.

### **3.3.3. Analyse a priori de la tâche**

Pour les 2 groupes, les élèves vont devoir prendre en main la carte, l'observer sous tous les angles pour repérer le connecteur USB, le connecteur RJ45, le microprocesseur, le convertisseur Analogique/Numérique, les condensateurs, les résistances, les diodes (LED<sup>13</sup>), le circuit imprimé (PCB<sup>14</sup>) et identifier le nom et la fonction de ces différents composants en flashant la carte pour le groupe RA et en parcourant les ressources numériques pour le groupe T. Ceci fait les élèves vont devoir retranscrire ces informations sur une feuille de papier. La retranscription peut prendre différentes formes : rédaction d'un texte, schéma avec légende, schéma normalisé (type chaîne d'info/énergie), diagramme de blocs internes (IBD<sup>15</sup>) SysML.

### **3.3.4. Condition de réalisation de la tâche**

En semaine N°1, une courte vidéo de présentation de la carte Raspberry Pi est projetée de la même façon aux deux groupes. La vidéo diffuse chronologiquement le schéma électrique de la carte, sa représentation 3D et les exemples d'utilisations usuels (médias, domotique...). L'introduction de la carte en semaine N°1 a pour but de préparer les groupes d'élèves à la tâche programmée en semaine N°2. Une durée inférieure à une semaine est envisagée pour les enseignements. Dans notre expérience la présentation de la carte en semaine N°1 est réalisée le Jeudi et la tâche est proposée aux élèves le Lundi de la semaine N°2. Un délai trop important entre l'introduction et la tâche risquerait d'engendrer un oubli partiel de l'enseignement par les élèves. Inversement, une jonction trop brutale de la tâche immédiatement après l'enseignement risquerait de ne pas être significative car la part de mimétisme serait trop importante. Un delta de 3 jours est donc raisonnablement fixé entre le l'introduction et la tâche.

---

<sup>13</sup> Light Emitting Diode.

<sup>14</sup> Printed Circuit Board.

<sup>15</sup> Internal Block Diagram.

La figure 2 ci-dessous permet de visualiser chronologiquement les conditions de réalisation de la tâche :

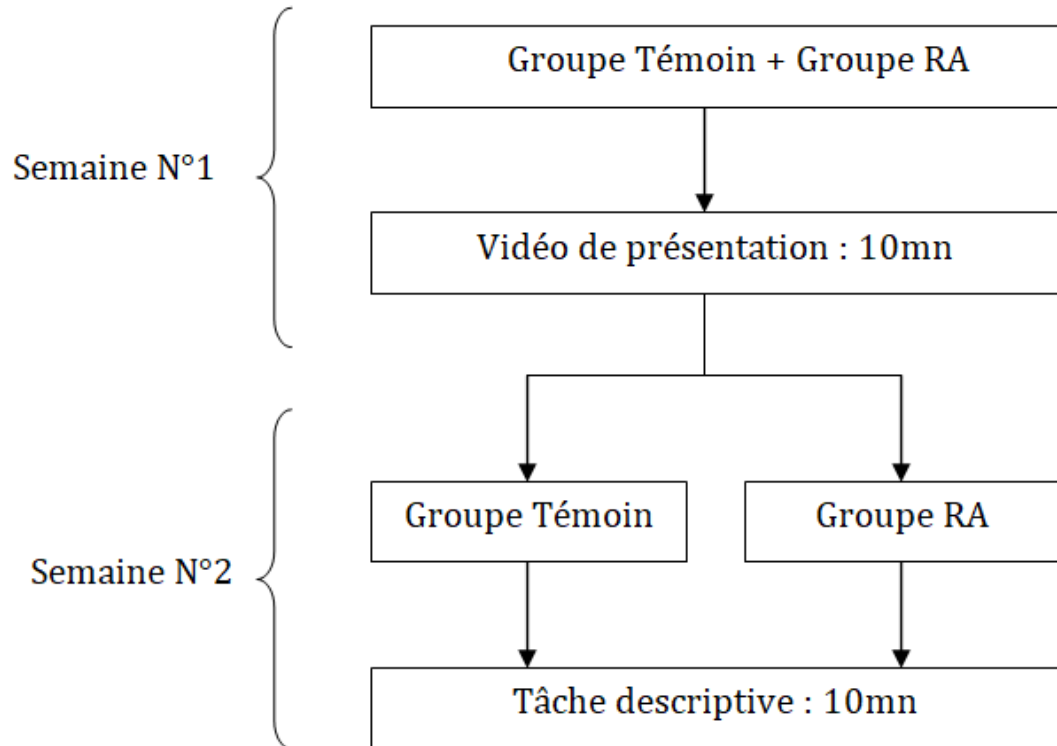


Figure 2: Déroulement des conditions de réalisation de la tâche.

Les binômes des groupes témoins et RA sont disposés sur les îlots du laboratoire d'enseignement transversal. Tous ces îlots sont équipés d'ordinateurs avec un accès internet et sont tous connectés en réseaux. Chaque binôme dispose physiquement d'une carte Raspberry Pi. Seul le groupe RA dispose de l'application mobile préalablement téléchargée sur les différents terminaux utilisés (Smartphone, tablette).

Le plan de masse, représentatif du laboratoire d'enseignement transversal, est visible sur la figure N°3. Il permet de rapidement visualiser les contraintes physiques liées à l'expérimentation.

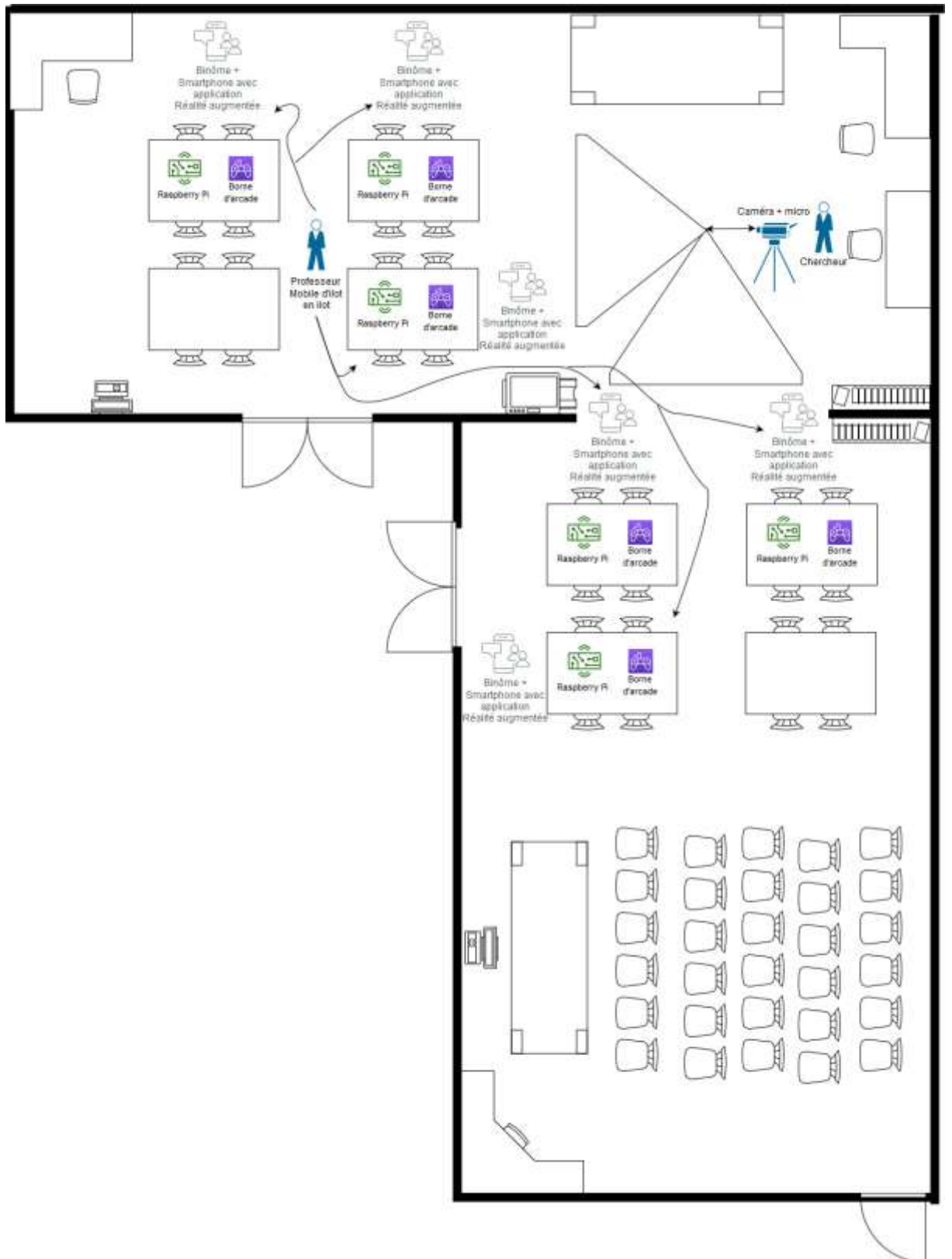


Figure 3: Plan de masse du laboratoire d'enseignement transversal lors des conditions de réalisations de la tâche.



### 3.3.5 Collecte des données pour H1 et grille d'analyse

Les données sont collectées par plusieurs moyens complémentaires :

- **Une observation directe des élèves permet de s'assurer de l'usage de la RA dans la cohorte RA ;**
- **Une analyse des traces écrites produites par les élèves.**

L'analyse des traces rend compte des connaissances élaborées par les élèves selon leur appartenance au groupe RA ou T

Nous regardons :

- **Les formes de retranscriptions privilégiées par les élèves (texte, schéma, diagramme de blocs internes, SysML), le contenu (présence d'aspects fonctionnels-fonctions, présence d'aspects structurels-composants) et l'efficacité de la RA par rapport au niveau scolaire des élèves ;**
- **Comme Cambien et al., (2008) nous retenons 3 variables : le nombre de composants nommés (éléments), le nombre de sous-systèmes nommés (blocs fonctionnels) et la pertinence (au sens qualitatif) des réponses faites par les élèves pour analyser la carte Raspberry pi.**

Pour analyser les données nous avons limité à 5 le nombre de sous-systèmes identifié et à 10 le nombre de composants identifiés. Ces extrêmes constitueront les limites supérieures de notre modèle d'analyse. Ce modèle crée le lien entre : le nombre de sous-systèmes en abscisse et le nombre de composants en ordonnée. Les six catégories reflètent les différentes qualités de propositions. La grille d'analyse des productions est la suivante :

- **1 - Analyse médiocre (1 fonction, 0 à 4 composants)**
- **2 - Analyse pauvre (1 fonction, 5 à 10 composants)**
- **3 - Analyse passable (2 à 3 fonctions, 0 à 4 composants)**
- **4 - Analyse moyenne (2 et 3 fonctions et entre 5 et 10 composants)**
- **5 - Analyse correcte (4 et 5 fonctions et entre 0 et 4 composants)**
- **6 - Analyse riche (4 et 5 fonctions et entre 5 et 10 composants)**

Les catégories de 1 à 4 sont représentatives d'une incapacité à faire une analyse fonctionnelle de système. La catégorie 5 est significative bon recul fonctionnel bien que l'approche reste partielle. La sixième catégorie renvoie à une bonne maîtrise de l'analyse

fonctionnelle. L'élève a acquis un mode de pensée systémique lui permettant d'aborder d'autres systèmes techniques tout aussi complexes.

Par ce modèle, nous rejoignons le mode de pensée « fonction ; structure ; forme ; élément » étudié en recherche de l'éducation technologique (Ginestié, 2000 ; Chatoney, 2003 ; Neuhäuser-Metternich & Krummacher, 2007).

Une analyse des traces écrites couplée au niveau scolaire des élèves

Le couplage avec le niveau scolaire des élèves permet d'identifier à quel types d'élèves la RA rend service.

Le niveau scolaire est déterminé par la moyenne générale des élèves. Les niveaux sont caractérisés ainsi :

- **Niveau insuffisant : Moyenne inférieure ou égale à 09/20 ;**
- **Niveau passable : Moyenne supérieure ou égale à 10/20 et inférieure ou égale à 13/20 ;**
- **Niveau satisfaisant : Moyenne supérieure ou égale à 14/20.**

On regarde :

- **La répartition des élèves dans les 3 niveaux**
- **La qualité des productions rendues par niveau**

### **3.4. Méthodologie et opérationnalisation d'H2 - focus sur la mise en service du système carte Raspberry Pi/ borne arcade**

Objectif de la recherche : Vérifier si les élèves attribuent à la RA des fonctions pragmatiques de contrôle et de régulation de leur propre travail et produisent moins d'erreurs dans la mise en œuvre du système. Il se créerait un processus itératif

Elève/Tâche/Outil. Autrement dit : nous cherchons à vérifier si la RA est un moyen de contrôle et de régulation de la tâche pour les élèves.

Méthode : Comme précédemment tous les élèves suivent un même enseignement consacré à la mise en service du système. L'intérêt de cette tâche de mise en service c'est qu'il faut prendre en compte une logique temporelle séquentielle immédiatement accessible par la RA. Ainsi le groupe RA dispose d'informations statiques qui identifient les fonctions et leurs composants et d'informations dynamiques qui donnent la vitesse de transmission et la température de la CPU<sup>16</sup> en temps réel. Le groupe T dispose d'une ressource numérique statique avec les mêmes DATA.

### 3.4.1. Déroulement de la séquence proposée aux élèves

L'organisation de la séquence d'enseignement se fait en 2 temps : une phase de mise en situation ; une phase de mise en œuvre matérielle du jeu. Pendant la mise en situation, les élèves ont découvert les éléments du système, borne-carte et réalisé le cahier des charges du jeu vidéo 2D avec l'aide de l'enseignant. La borne arcade est une de console de jeu avec un écran, un clavier de 6 touches et une manette (Figure 4).



Figure 4: Borne ARCADE.

---

<sup>16</sup> Central Processing Unit. Il s'agit du composant qui exécute les programmes informatiques.

La phase de mise en œuvre du jeu est dévolue aux élèves par la consigne : « Vous devez maintenant identifier les solutions techniques relatives à la structure puis configurer le système pour que le jeu fonctionne. Pour faire fonctionner le système, vous devez rédiger une procédure de mise en œuvre et l'appliquer ». Les élèves sont mis par paire. Ils disposent d'un poste de travail pré équipé avec une carte Raspberry pi(entrée) non câblée, mais fixée sur le socle d'une borne arcade type « Picade » (sortie), des câbles, des outils, des instruments de mesure, et une procédure de câblage (Figure 6) pour connecter les boutons et joystick à la carte Raspberry pi.

**BAC STI2D E.T.T**

**JEU VIDEO 2D**

Nom prénom : \_\_\_\_\_  
Classe : \_\_\_\_\_

**Procédure opérative / Mise en service de la Borne d'arcade**

Il est possible de mettre en service la borne d'arcade de différentes façons. Selon vous, dans quel ordre doivent être réalisées les opérations suivantes ? :

Référence	Intitulé	Réponse Elève
A	Connecter l'écran	
B	Connecter clavier + souris	
C	Ouvrir le logiciel PythonV3	
D	Ouvrir le logiciel Raspian	
E	Paramétrer la résolution de l'écran et du clavier	
G	Connecter la carte Raspberry Pi à l'ordinateur	
H	Allumer l'ordinateur	

Figure 5: Extrait du document élève proposant la tâche de mise en service de la borne d'arcade

### 3.4.2. La tache

La tache consiste à connecter la carte Rasbery Pi aux boutons et joystick de la borne ARCADE puis programmer le logiciel « Retropie » embarqué dans la carte Rasbery-Pi et mettre en œuvre le système. Un document à compléter (dont l'extrait visible en figure N°5) est donné aux élèves. Ces derniers doivent proposer chronologiquement leur

solution de mise en service de la borne d'arcade. La lettre « A » étant la première action à réaliser.

### 3.4.3. Analyse a priori de la tache

Pour faire ce travail les élèves vont devoir suivre le plan de câblage pour positionner les câbles aux bons endroits ; paramétrer la borne à l'aide du logiciel « RetroPie » embarqué dans la carte Raspberry-Pi ; compléter un document élève (Figure 6) ; appliquer leur procédure au système pour le faire fonctionner.

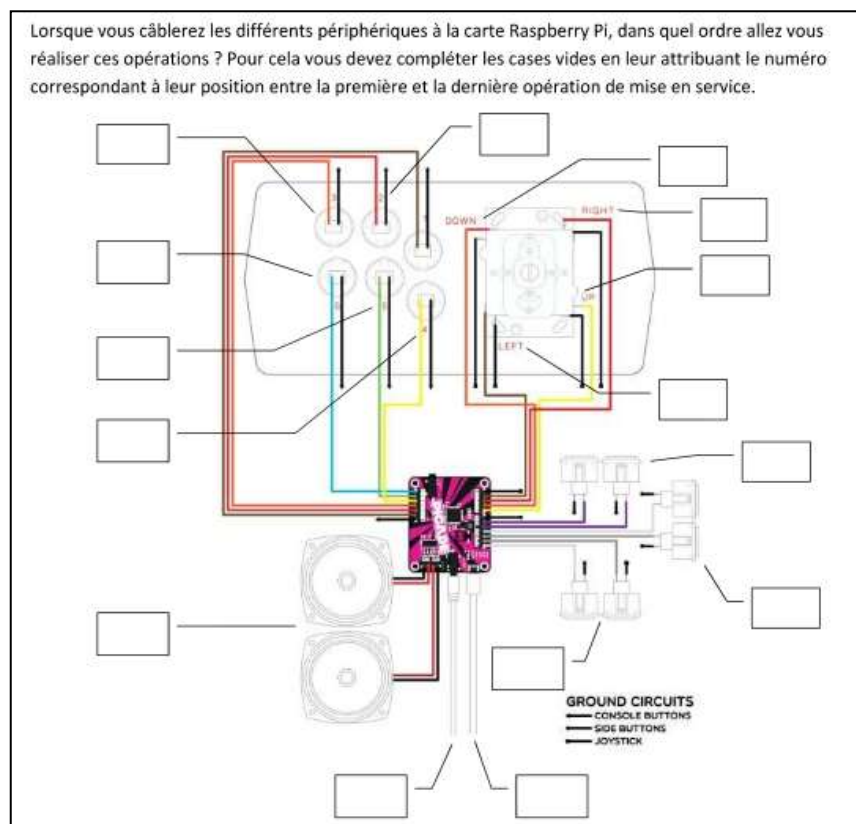


Figure 6: Extrait du document élève proposant la tache de câblage de la carte.

### 3.4.4. Condition de réalisation de la tache

Groupe de 2 élèves par poste équipé.

Temps didactique attribué à la réalisation de la tache : 1h55mn.

### 3.4.5. Collecte des données pour H2 et grille d'analyse

Les données sont collectées par plusieurs moyens complémentaires :

- **Une analyse des traces écrites produites par les élèves.**

Les procédures de mise en œuvre du système, produites par les élèves sont collectées en fin de séquence. Elles rendent compte des capacités qu'ont les élèves des groupes RA et T à organiser leurs actions en vue de faire fonctionner la borne d'arcade. La cohérence dans l'implémentation des opérations de mise en service, en fonction des groupes d'appartenance des élèves sert donc de support pour les analyses.

Nous regardons :

- **L'ordre des opérations fonctionnelles ou pas, autrement dit les erreurs.**

Plusieurs solutions fonctionnelles sont possibles. Elles sont identifiées à partir la grille suivante (Tableau 2) :

N° de la procédure	Opérations							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	5	2	7	4	6	1	8	3
2		2				3		1
3		1				3		2
4		1				2		3
5		3				1		2
6		3				2		1
7			6		7			
8	6		5		7			

*Tableau 2 : Grille d'analyse des procédures fonctionnelles.*

Les erreurs d'organisation des opérations, leur répartition selon la qualité des productions sur une échelle de 1 à 6 comme indiqué ci-dessous :

- **1 - Procédure de MO médiocre (5 erreurs et+)**
  - **2 - Procédure de MO pauvre (4 erreurs)**
  - **3 - Procédure de MO passable (3 erreurs)**
  - **4 - Procédure de MO moyenne (2 erreurs)**
  - **5 - Procédure de MO fonctionnelle (1 erreur)**
  - **6 - Procédure de MO fonctionnelle (0 erreurs)**
- 
- **Une observation vidéo filmée de 6 binômes (3 RA et 3 T) en cours de réalisation de la tâche, pour vérifier savoir si les élèves attribuent des fonctions pragmatiques de régulation de la tâche à la RA en plus de ses propres fonctions.**

Nous relèvons le nombre de consultation des ressources (fonctions de la RA pour binômes RA et ressources numériques pour binômes T) à chacune des étapes de développement de la tâche : assembler carte/borne, pour câbler carte/périphérique, pour programmer le logiciel, pour compléter le document élève. On compare par rapport aux mises en œuvre réussie selon modalité RA ou pas.

Les fonctions pragmatiques de régulation de la RA sont identifiées au travers des actions conduites par les élèves pour réaliser le travail : leur sentiment de satisfaction et/ou d'insatisfaction par rapport aux résultats de l'action, les questions qu'ils se posent, la recherche de solution instrumentée.

## **4. Efficacité de la RA dans l'analyse de système**

Dans ce chapitre nous présentons les résultats permettant de tester notre première hypothèse.

Nous pensons que l'analyse de système technique est de meilleure qualité lorsque les élèves recourent aux fonctions intégrées à la RA. Les fonctions intégrées (constituantes) de la RA permettent aux élèves de mieux associer fonctions et composants d'un système technique et de performer plus en analyse de système. La RA aurait alors une incidence positive sur la capacité de réponse des élèves et par là sur l'apprentissage. Autrement dit, l'étude de système serait optimisée (augmentée) par la multi modalité de la RA et ses fonctions constituantes.

### **4.1. Analyse des analyses de systèmes produites par les élèves**

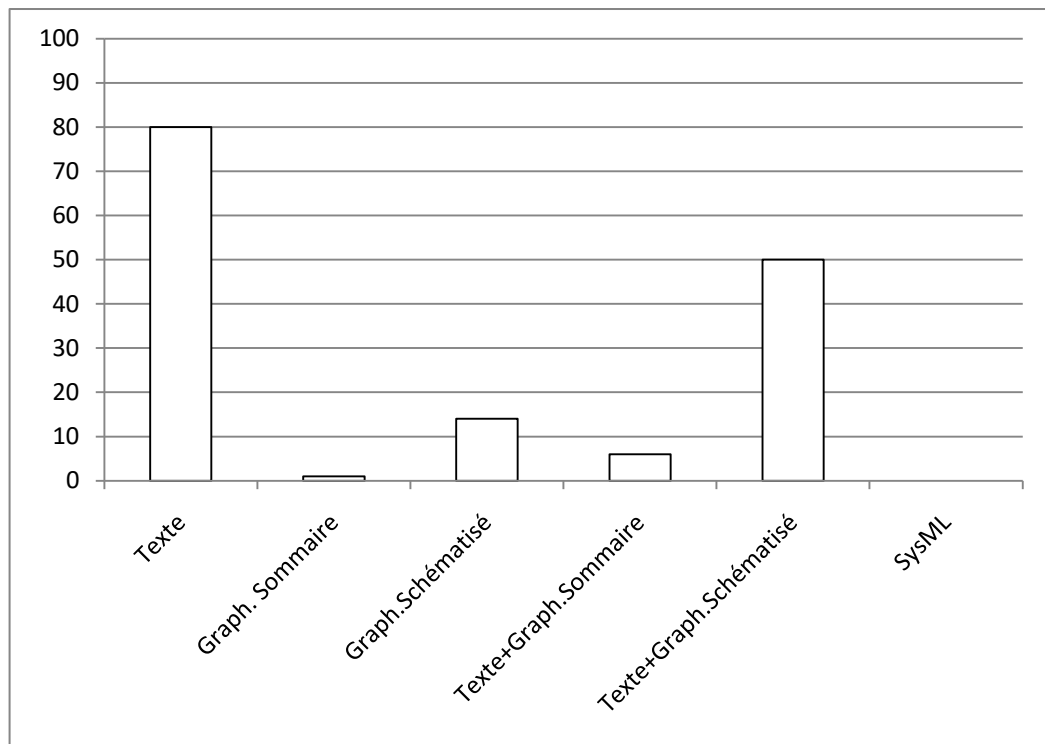
#### **4.1.1. Intérêt des élèves par rapport à l'instrument RA pour analyser un système**

Premier constat seulement 53% de la cohorte avec RA réinvestissent la RA pour décrire la Raspberry pi. Autrement dit la moitié des élèves ayant eu à leur disposition la RA pendant la totalité de la séquence y trouvent un intérêt.



### 4.1.2. Le texte comme mode de description le plus utilisé par les élèves

Le graphique 6 ci-dessous nous informe sur les différents types de représentations que les élèves ont choisi pour formaliser leurs analyses à l'écrit.



Graphique 6: Répartition du nombre de réponses données en fonction de leur représentation.

### 4.1.3. Trois blocs fonctionnels identifiés par les élèves

Le tableau 3 ci-dessous présente le nombre de fonctions identifiées par les élèves. Parmi les 10 blocs fonctionnels de la carte (acquérir, conditionner, numériser, traiter, communiquer, restituer, alimenter, distribuer, convertir, transmettre), le nombre de termes exacts proposé par les élèves est relativement élevé. On retrouve les fonctions : acquérir, conditionner, numériser, traiter, communiquer, restituer, alimenter. Les fonctions : distribuer, convertir, transmettre, ne sont pas nommées.

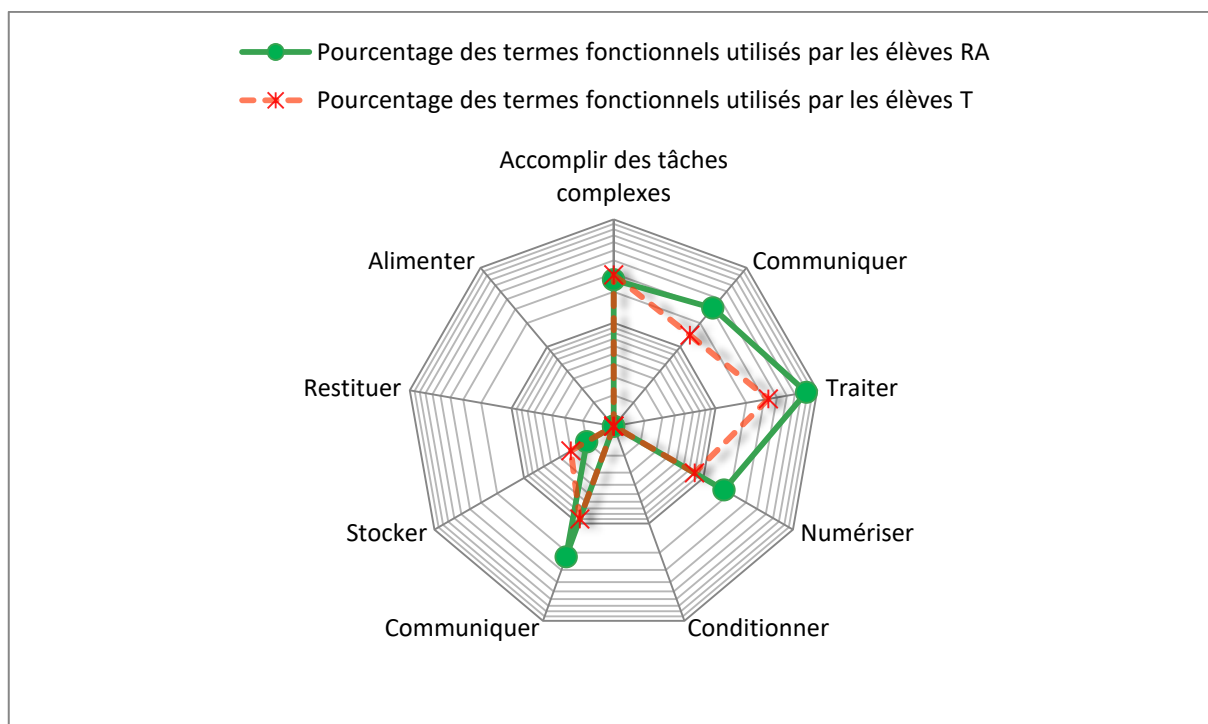
Fonctions identifiées	Réponse en %	
	RA	T
Accomplir des tâches complexes (Fonction Principale)	26	29
Communiquer	31	14
Traiter	78	33
Numériser	17	8
Conditionner	1	1
Acquérir	22	9
Stocker	2	3
Restituer	1	1
Alimenter	1	1

*Tableau 3 : Blocs fonctionnels identifiés.*

La fonction principale de la carte Raspberry pi n'est proposée que par 26 % des élèves RA et 29% des élèves du groupe témoin, sans RA (T). Ces pourcentages, relativement faibles, témoignent qu'elle n'est pas encore correctement conceptualisée par les élèves de premières STI2D. La carte Raspberry pi est d'avantage perçue comme un système technique permettant de commander une installation. Ce qui, dans notre le tableau 4 ci-dessus, fait écho aux taux de réponses les plus élevés quel que soit le groupe d'appartenance des élèves. 78% des élèves RA proposent la fonction « Traiter » (initialement abordé à travers la chaine d'information, en classes de technologie collègue et secondes option SI ou CIT) contre 33% des élèves T. Le constat que nous pouvons faire à ce stade est que les élèves, dans leur majorité, ont su identifier la fonction de la carte Raspberry Pi qui gère le traitement des données. Cette fonction représente le cœur du système et les élèves semblent avoir pris la mesure de son rôle. Bien qu'étant la fonction la plus citée, il est intéressant de mettre en avant le delta (45%) existant entre les taux de réponses des groupes RA et T. Les élèves RA ont mieux identifié cette fonction que leurs homologues du groupe T. Nous remarquons également que pour les deux groupes, les fonctions telles que « Conditionner » et « Alimenter » ne sont quasiment pas mentionnées alors qu'il s'agit, là aussi, de fonctions abordées dans les cursus précédents mais non maîtrisées par les élèves. Ici, les élèves RA sont sur un taux de réponse comparable aux élèves T et ne semblent pas avoir bénéficié d'un quelconque apport de la RA. La RA ne semble pas voir générée d'artefacts suffisamment importants

pour différencier les deux groupes et ainsi apporter une plus-value aux élèves RA. Chez 2% des élèves RA, les productions d'élèves font appels aux fonctions de « stockage » liées aux exigences de mémorisation des données propre à la carte. Leurs homologues du groupe T sont représentés avec un taux, légèrement supérieur, de 3%. Nous considérons qu'à ce stade les deux groupes sont similaires dans leurs capacités à identifier la fonction liée au stockage des données. Concernant les autres propositions, les blocs fonctionnels proposés sont cohérents face aux différents cas d'utilisation de la carte et remplissent l'objectif de description fixé. Nous retrouvons tout de même des écarts dans les réponses données en fonction des différents groupes d'appartenance des élèves. Par exemple : « Appuyer sur les boutons » pour « Acquérir ». Cette fonction est citée par 22% des élèves RA contre 9% des élèves du groupe T, soit un delta 13%, le deuxième plus important de nos données, derrière les résultats de la fonction « Traiter ». Enfin, les réponses mentionnant « Brancher », « Connecter », « Allumer » pour « Alimenter » ou encore « Afficher sur l'écran » pour « Restituer » sont faiblement proposées par les élèves des deux groupes. Quant à la fonction « Convertir », celle-ci n'apparaît pas. Ce qui est pour le moins surprenant compte tenu du fait que la typologie des systèmes étudiés en ETT amène à identifier les flux suivant le triptyque MEI (Matière, Energie, Information). De ce fait, les élèves de STI2D sont régulièrement confrontés au concept de chaînes d'informations et chaînes d'énergies qui les amènent à déduire le flux de l'information et celui de l'énergie en tenant compte des caractéristiques fonctionnelles propres à chaque bloc : Alimenter, Moduler et Convertir.

Le graphique 7 ci-dessous nous permet de mieux visualiser les écarts existants entre les différentes fonctions citées dans le tableau 1, par les élèves des deux groupes.



Graphique 7: Fonctions proposées par les deux groupes d'élèves.

#### 4.1.4. Les composants identifiés par les élèves

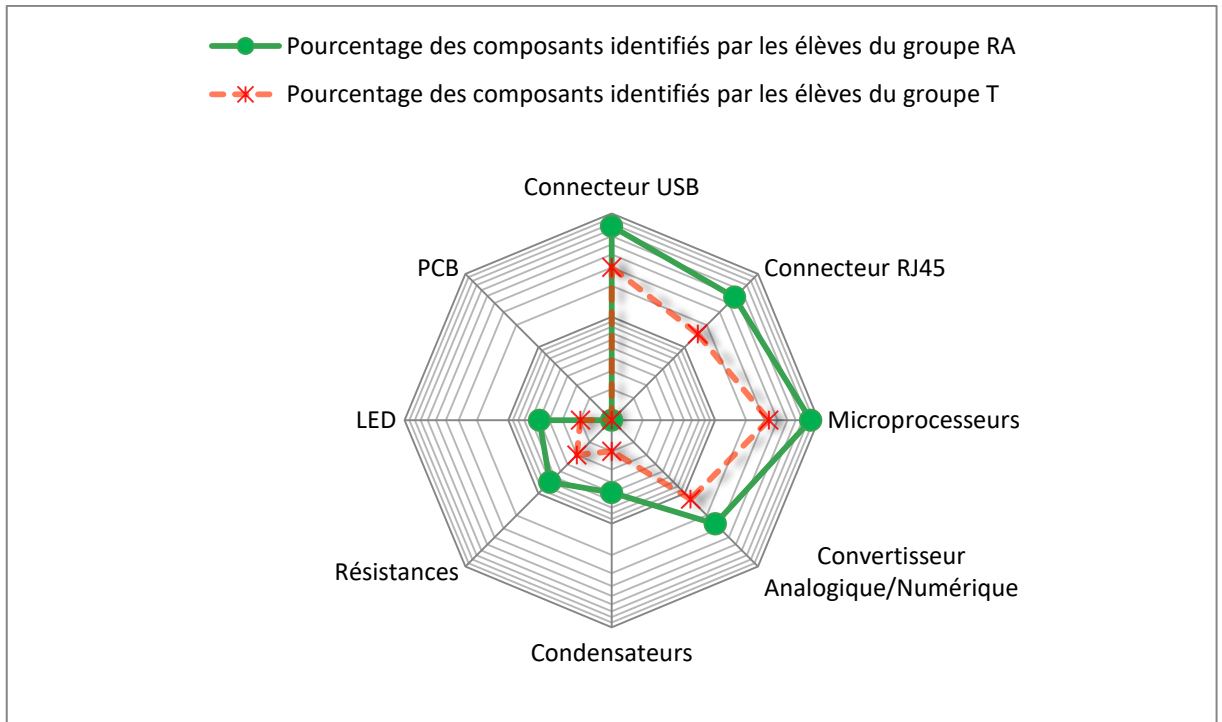
Le tableau 4 ci-dessous présente le nombre de composants identifiés et associés aux blocs fonctionnels.

Composants identifié et relié au bloc fonctionnel	Fonction associée	Réponse en %	
		RA	T
Connecteur USB	Acquérir	75	30
Connecteur RJ45	Communiquer	48	15
Microprocesseurs	Traiter	84	33
Convertisseur Analogique/Numérique	Numériser	26	12
Condensateurs	Conditionner	5	2
Résistances	Conditionner	7	3
LED	Restituer	5	2
PCB	Conditionner	1	1

Tableau 4 : Eléments identifiés.

De façon générale les microprocesseurs sont les composants chargés de réaliser l'ensemble des calculs de données et se rattachent à la fonction « Traiter » des cartes électroniques qui les embarquent. A la vue des résultats précédents évoquant les termes fonctionnels, il semble assez cohérent que ce composant soit majoritairement proposé par les élèves des deux groupes. A hauteur de 84%, les élèves RA identifient correctement le microprocesseur tandis que 33% de ceux du groupe T l'identifie. Là aussi nous observons un delta non négligeable de 51% entre ces deux groupes. Nous retrouvons en deuxième position, la connectique USB assurant la fonction « Acquérir ». Dans des proportions légèrement inférieures, les élèves du groupe RA et ceux du groupe T mentionnent respectivement et à hauteur de 75% et 30% le connecteur USB associé à la fonction « Acquérir ». Les LED, 5% chez les élèves RA et 2% chez les élèves du groupe T. De même, les composants assurant le conditionnement de l'information tels que les résistances, condensateurs sont faiblement mentionnés par les élèves. Les résistances sont citées par 7% des élèves RA lorsque 3% des élèves du groupe T y font référence. Les condensateurs suivent la même tendance avec respectivement 5% des élèves RA et 2% de ceux du groupe T qui les mentionnent. Certaines différences entre les résultats issus des termes fonctionnels et ceux issus des composants semblent se dégager. Par exemple, les données précédemment recueillies (Tableau 1) et concernant la fonction « Communiquer », soit 31% des élèves des élèves RA et 14% de ceux du groupe T, est reprise ici par 48% et 15% de ces mêmes élèves. Ainsi, ils identifient la connectique RJ45 comme étant le composant associé à la fonction « Communiquer ». De la même façon, la fonction « Numériser » est citée par les élèves RA à hauteur de 17% alors que 26% de ces élèves mentionnent le C.A.N (Convertisseur Analogique Numérique) pour assurer cette fonction. En parallèle, 8% des élèves du groupe T qui citent la fonction « Numériser » alors que 12% d'entre eux mentionnent le C.A.N. Ces résultats indiquent que la RA favorise la vision « Hardware » de la carte plutôt qu'une vision fonctionnelle du système.

Le graphique 8 ci-dessous nous permet de mieux visualiser les écarts existants entre les différents composants cités dans le tableau 4, par les élèves des deux groupes.



Graphique 8: Composants identifiés par les deux groupes d'élèves.

En analysant ce graphique, nous constatons immédiatement que certains composants sont plus mentionnés que d'autres. Certainement parce qu'ils sont plus reconnaissables que les autres sur la carte. Ainsi, le connecteur USB est correctement identifié par 75% des élèves du groupe RA et 30% du groupe témoin. Il représente le deuxième composant le plus identifié par tous les élèves après le microprocesseur. Notons que l'écart entre les élèves du groupe RA et ceux du groupe T s'élève à 45%. Le microprocesseur est donc le composant le plus identifié avec 84% des élèves du groupe RA et 33% des élèves du groupe témoin. Le delta entre ces deux groupes est le plus important de cette observation et s'élève à 51%. Le connecteur RJ45 est lui aussi assez bien identifié par les élèves. 48% des élèves RA le mentionne contre 15% chez les élèves du groupe témoin. Soit une différence de 33%. Bien que physiquement invisible car englobé dans le boîtier du microprocesseur, le convertisseur analogique numérique est mentionné par 26% des élèves du groupe RA et 12% de ceux du groupe témoin. Soit un delta de 14%. Les résultats liés au convertisseur analogique numériques sont intéressants car ils nous indiquent que les élèves qui l'ont identifié, ont fait la relation avec la fonction « Traiter »

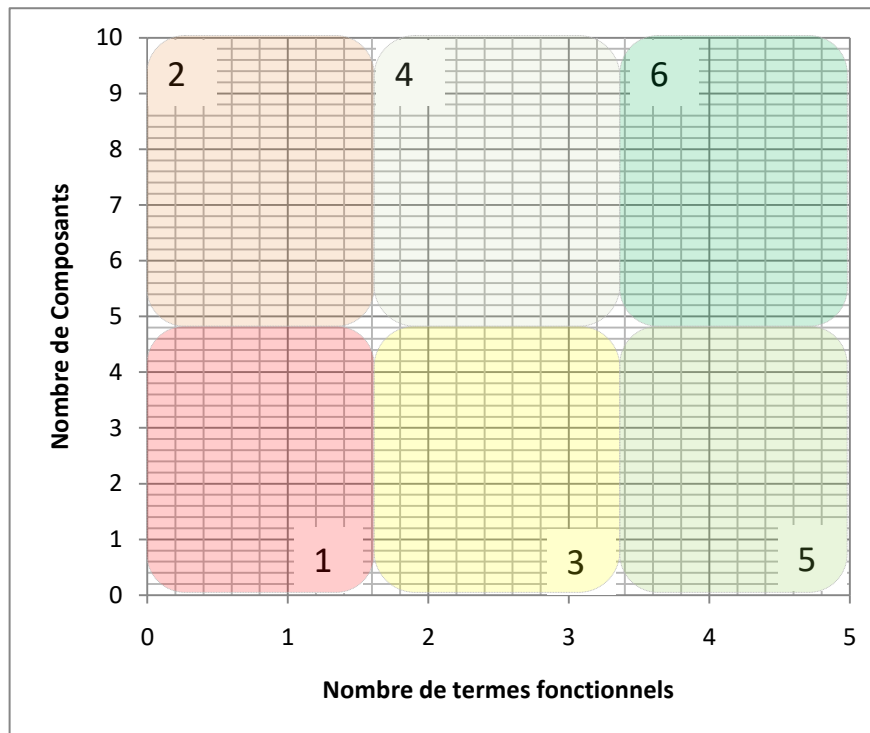
que l'on peut retrouver dans le schéma fonctionnel de la chaîne d'information. Rappelons que la fonction « Traiter » peut-être vue comme une somme des sous-fonctions Convertir+Calculer+Stocker. Au niveau des autres composants (résistances, condensateurs, LED et PCB) ces derniers sont bien moins mentionnés que les précédents. Chacun d'eux ne mobilise pas plus de 7%, et la somme de tous ces composants ne dépasse pas 18% pour les élèves RA et 8% chez ceux du groupe témoin. Avec une différence de seulement 10% entre les deux groupes. Soit le plus faible écart de cette observation entre le groupe RA et le groupe T.

L'analyse des traces écrites révèle que la majorité des élèves proposent trois voire quatre composants pour décrire la carte Raspberry pi, alors que parallèlement 40% d'entre eux n'ont proposé qu'un seul terme fonctionnel. Ainsi, si nous moyennons les données, nous pouvons affirmer qu'un élève propose 3,48% composants pour 1.7 de fonction. Autrement dit un élève propose 2 fois plus de composants que de fonction. Il nous est désormais possible de confirmer que la majorité des élèves proposent trois composants alors qu'un seul terme fonctionnel est utilisé pour décrire la carte Raspberry pi. L'apport de la RA semble confirmer la tendance à proposer une modélisation « hardware » (donc structurelle) du système technique plutôt que fonctionnelle.

## **4.2. Catégorisation qualitative des analyses de système par rapport au contenu**

Le graphique 9 ci-dessous présente le modèle avec les trois grandeurs distinctes :

- **Les composants sur l'axe des ordonnées.**
- **Les termes fonctionnels sur l'axe des abscisses**
- **Au croisement des deux grandeurs ci-dessus se trouvent les différentes catégories d'analyses. En fonction du nombre de composant et de termes fonctionnels mobilisés, ces analyses sont classées en 6 catégories de qualités croissantes (0 = Analyses médiocres (Min) ; 6 = Analyses riches (Max)).**



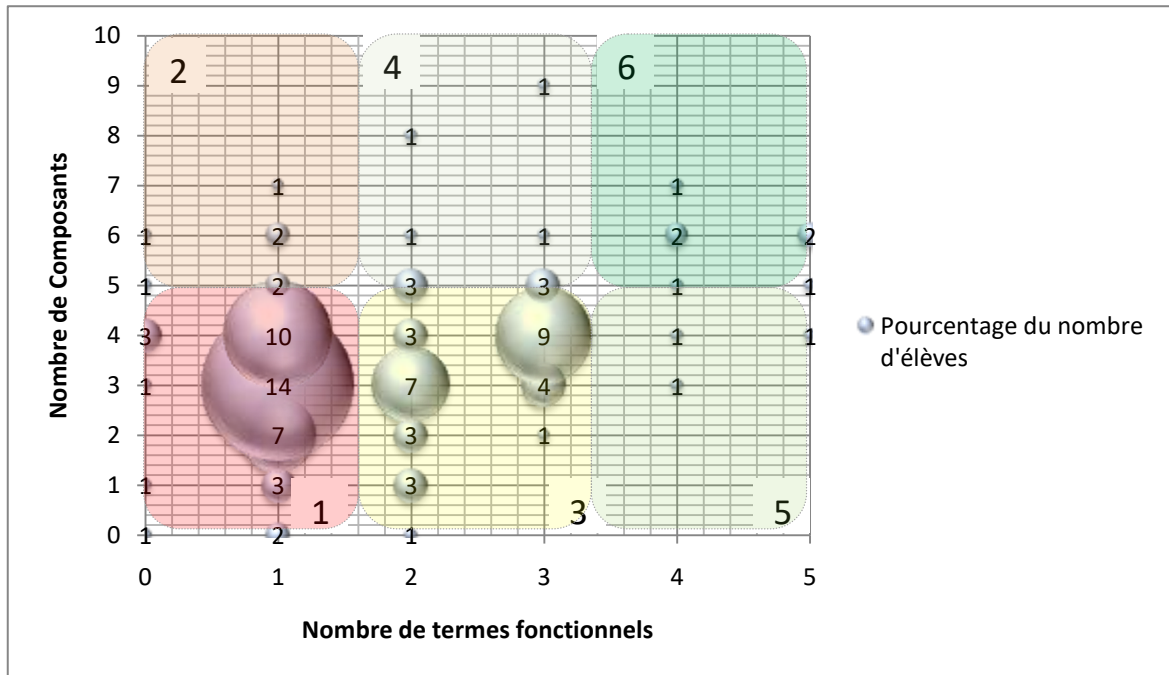
Graphique 9: Répartition des 6 catégories dans le diagramme bulle.

La catégorisation des résultats produits par les élèves des groupes RA et T est présentée dans les graphiques ci-dessous. Le cercle indique le nombre de production des élèves en % et la catégorie correspondante déterminée dans le modèle ci-dessus. Plus ce nombre est important, plus le diamètre de ce cercle est large.

#### 4.2.1. Catégories correspondantes aux productions du groupe RA

Pour commencer, prenons le cas des élèves du groupe RA. Le graphique 10 ci-dessous permet de classer les données récoltées à travers les analyses fonctionnelles produites par les élèves de ce groupe.





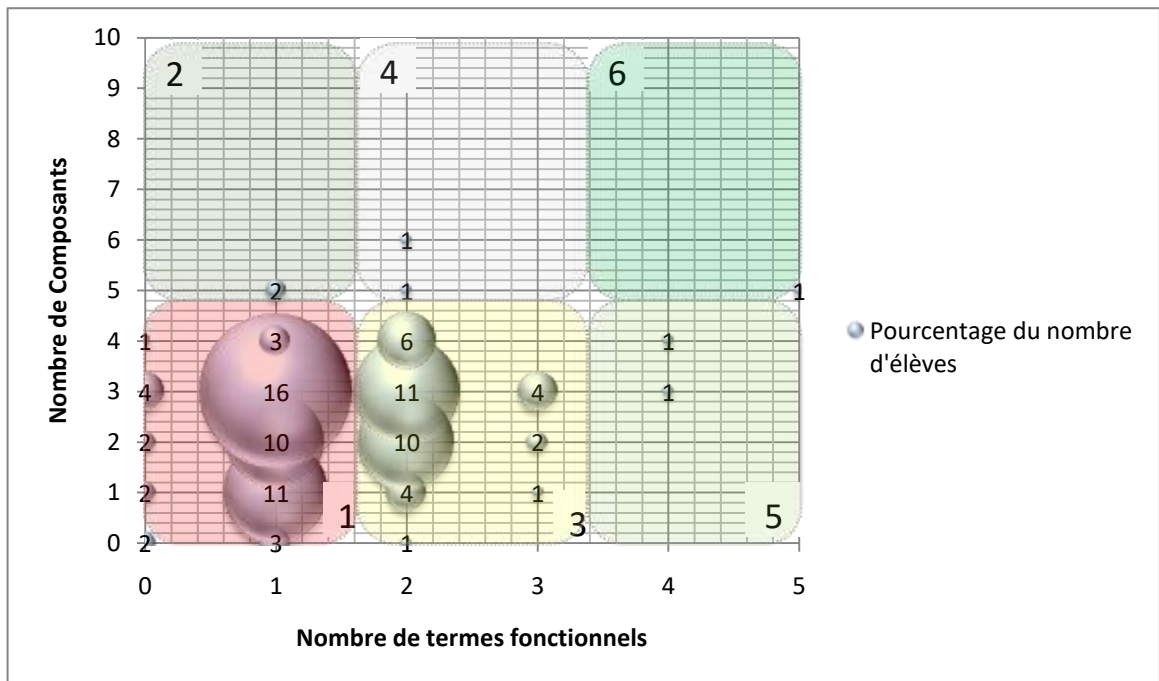
Graphique 10: Répartition des données du groupe RA dans les 6 catégories.

La première catégorie, image d'une analyse fonctionnelle médiocre), regroupe au total 42% (14+10+7+3+2+1+1+1+3) des productions des élèves. Dans cette catégorie, 14 % d'élèves analysent la carte Raspberry pi en combinant trois composants et un terme fonctionnel. 10% le font avec quatre composants et une fonction, 7% avec deux composants et une fonction. Autrement dit 31% (14+10+7) de l'échantillon avec RA ont identifié 2 à 4 composants et une seule fonction. La catégorie 3 (Analyse fonctionnelle passable) regroupe au total 37% (3+3+7+3+3+1+3+9+4+1) des productions des élèves. Dans cette catégorie, 7 % d'élèves analysent la carte Raspberry pi en combinant trois composants et deux termes fonctionnels. 9% le font avec quatre composants et trois fonctions. Autrement dit, 23% (7+3+9+4) de l'échantillon RA a identifié respectivement entre 3 et 4 composants combinés à deux et trois fonctions. Les autres catégories (2, 4, 5, 6,) présentent une dispersion importante avec des pourcentages très faibles. Nous pouvons considérer que leurs dispersions ne nécessitent pas d'analyse plus approfondie. Hormis, la catégorie 2 qui reste bien inférieure à la 1, ces scores indiquent que les élèves du groupe RA analysent le système Raspberry pi à partir des éléments structurels, plutôt qu'en termes fonctionnels.

Constat : Les réponses des élèves restent basées principalement sur la représentation structurelle au détriment de la représentation fonctionnelle sensée expliquer les interactions existantes entre les différents composants de la carte Raspberry pi. Toute la difficulté de l'analyse de système repose sur le passage du fonctionnel au structurel et inversement. Ce passage n'est pas trivial et relève d'un apprentissage.

#### 4.2.2. Catégories des productions du groupe T

Prenons maintenant le cas des élèves du groupe témoin T. Le graphique 11 ci-dessous permet de classer les données récoltées à travers les analyses fonctionnelles produites par les élèves de ce groupe.



Graphique 11: Répartition des données du groupe T dans les 6 catégories.

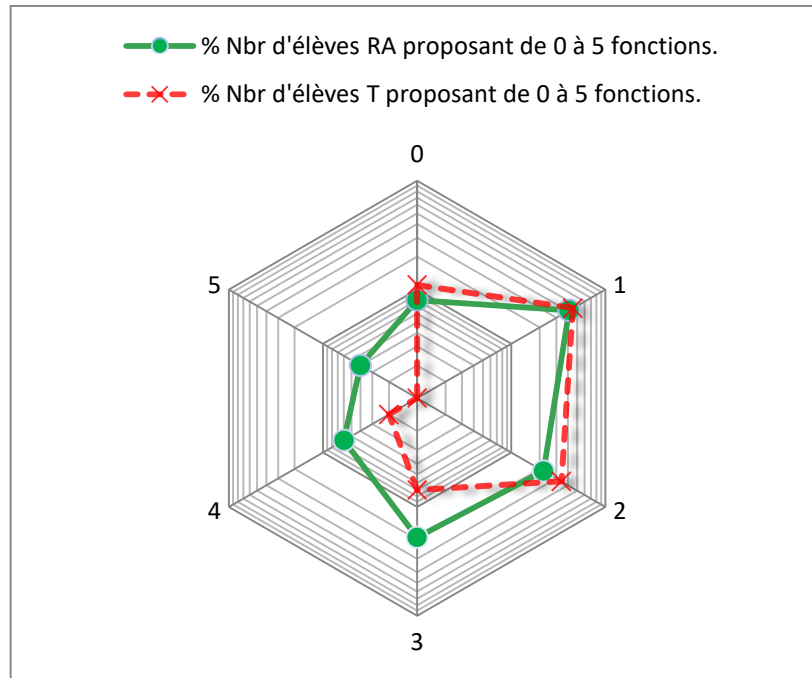
La catégorie 1 (Analyse fonctionnelle médiocre), regroupe au total 54% (2+3+2+11+2+10+4+16+1+3) des productions des élèves du groupe T. Dans cette catégorie, 16 % d'élèves analysent la carte Raspberry pi en combinant trois composants et un terme fonctionnel. 3% le font avec quatre composants et une fonction alors qu'ils sont 10% dans le groupe RA, 10% avec deux composants et une fonction ce qui reste

stable avec les élèves du groupe RA qui sont 7%. Autrement dit 37% (16+10+11) de l'échantillon témoin ont identifié 1 à 3 composants et une seule fonction. La catégorie 3 (Analyse fonctionnelle passable) regroupe au total 39% (6+11+10+4+1+1+2+4) des productions des élèves alors que dans le même temps les élèves RA sont représentés à 37% dans cette catégorie. Dans cette catégorie, 11 % d'élèves analysent la carte Raspberry pi en combinant trois composants et deux termes fonctionnels contre 7% dans le groupe RA. Par contre aucun ne le fait avec quatre composants et trois fonctions dans le groupe témoin. Autrement dit, 27% (10+11+2+4) du groupe témoin a identifié respectivement entre 3 et 4 composants combinés à deux et trois fonctions. Ils sont 23% à le faire dans le groupe RA. Les autres catégories (2, 4, 5, 6,) présentent une dispersion encore plus importante dans ce groupe avec des pourcentages très faibles. Nous pouvons considérer que leurs dispersions ne nécessitent pas d'analyse plus approfondie. Hormis, la catégorie 2 qui reste bien inférieure à la 1, ces scores indiquent là aussi que les élèves du groupe témoin tendent à analyser le système Raspberry pi à partir des éléments structurels, plutôt qu'en termes fonctionnels.

Constat : Les réponses des élèves du groupe témoin restent elles aussi basées principalement sur la représentation structurelle au détriment de la représentation fonctionnelle sensée expliquer les interactions existantes entre les différents composants de la carte Raspberry pi. En comparaison avec le groupe RA, nous notons quand même que cette tendance est accentuée dans groupe témoin. Toute la difficulté de l'analyse de système repose sur le passage du fonctionnel au structurel et inversement.

### **4.2.3. Analyse des écarts entre les productions du groupe RA et T**

Les graphiques 12 et 13 ci-après nous permettent de mieux visualiser les écarts existants entre les groupes d'élèves RA et le groupe témoin T. Ainsi, nous visualisons dans le premier graphique (12) les écarts existants sur le nombre de fonctions identifiées par les élèves dans leur analyse fonctionnelle de la carte.

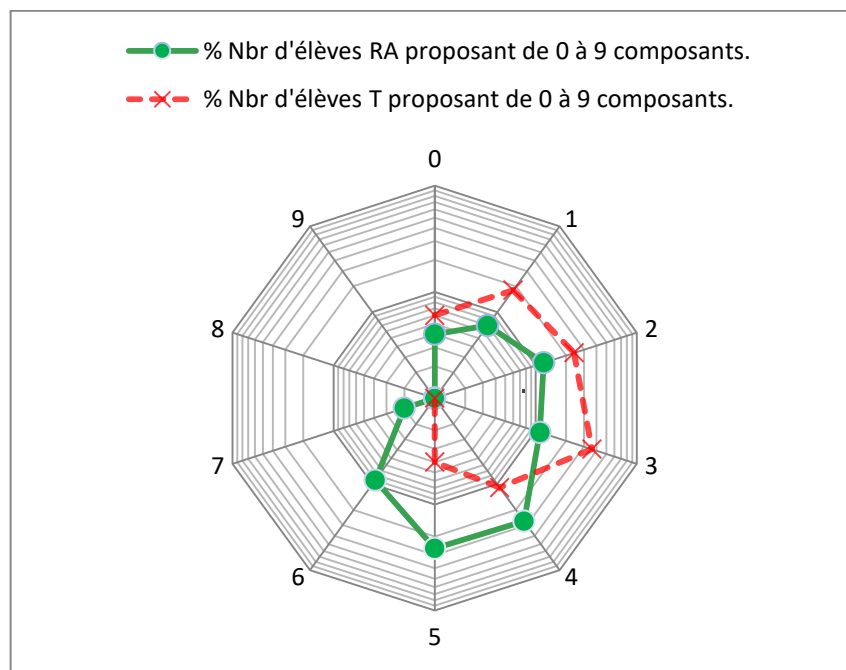


Graphique 12: Comparaison du nombre de fonctions identifiées.

Les 2 courbes rendent compte des différences qui se créent entre les réponses des élèves du groupe RA et celles du groupe témoin, en particulier lorsque ces derniers apportent des éléments fonctionnels à leur analyse du système technique. En observant plus en détail ces réponses nous relevons, par exemple, que le taux de réponses des élèves du groupe RA (8%) est assez proche de celui des élèves du groupe témoin (11%) lorsqu'ils font appel à aucune référence fonctionnelle pour décrire leur système technique. Seulement 3% de différence. De la même façon, lorsque nous regardons en détail les taux de réponse faisant appel qu'à une seule référence fonctionnelle, nous voyons là aussi que les écarts sont minimes entre les élèves des deux groupes. 41% pour les élèves RA et 45% pour ceux du groupe témoin. Soit 4% de différence. Il est également important de mentionner que nous avons, pour ce type d'analyse où seulement 1 fonction est citée, le plus grand nombre de réponse de la part des deux groupes. Une tendance assez proche des deux précédentes est observable au niveau des réponses des élèves RA (22%) et ceux du groupe témoin (34%) mentionnant jusqu'à 2 termes fonctionnels. Soit un delta de 12%. Dès lors que les élèves mobilisent jusqu'à 3 fonctions pour décrire leur système technique, nous observons une différence équivalente de 12%

entre les élèves RA (19%) et ceux du groupe témoin (7%). Les systèmes décrits avec 4 fonctions le sont à hauteur de 6% pour les élèves RA face à leurs homologues du groupe témoin (2%). Enfin, seulement 5% des élèves RA mobilisent 5 fonctions lorsque 1% des élèves T le font. Ainsi, les élèves du groupe témoin sont les plus nombreux à décrire leur système en faisant, au maximum, appel à 2 fonctions différentes. Ce qui explique qu'une majorité d'élèves du groupe T n'a pas su produire une analyse fonctionnelle acceptable. Dès que nous regardons les élèves du groupe RA, nous constatons que ces derniers se retrouvent majoritairement représentés lorsque les analyses fonctionnelles mobilisent au minimum 3 fonctions différentes. Il semblerait qu'à ce stade les élèves du groupe RA produisent des analyses fonctionnelles plus élaborées.

Dans le second graphique (13) nous présentons les écarts existants par rapport au nombre de composants identifiés par les élèves dans leur analyse fonctionnelle.



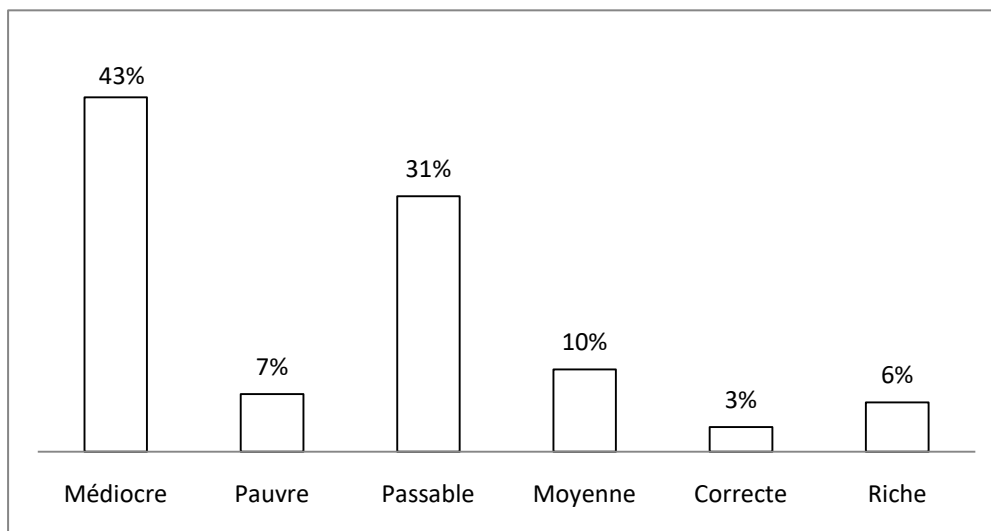
Graphique 13: Comparaison du nombre de composants identifiés

Le graphique met en avant des différences qui se créent entre les réponses des élèves du groupe RA et ceux du groupe témoin, en particulier lorsque ces derniers font référence aux éléments structurels dans leur analyse du système technique. En

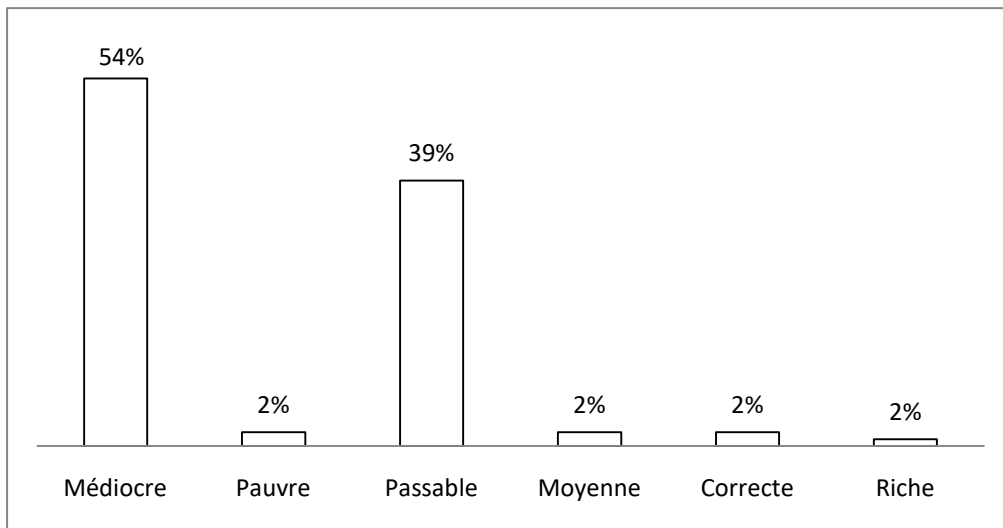
observant plus en détail ces réponses nous relevons, par exemple, que le taux de réponses des élèves du groupe RA (4%) et assez proche de celui des élèves du groupe témoin (6%) lorsqu'ils ne font appel à aucune référence structurelle pour décrire leur système technique. Seulement 2% de différence. De la même façon, lorsque nous regardons en détail les taux de réponse ne faisant appel qu'à une seule référence structurelle, nous voyons là aussi que les écarts sont minimes entre les élèves des deux groupes. 7% pour les élèves RA et 18% pour ceux du groupe témoin. Soit 11% de différence. Au niveau des réponses des élèves RA (12%) et ceux du groupe témoin (24%) qui mentionnent jusqu'à 2 termes fonctionnels, le delta est de 12%. Dès lors que les élèves mobilisent jusqu'à 3 fonctions pour décrire leur système technique, nous observons une différence de 25% entre les élèves RA (11%) et ceux du groupe témoin (36%). Les systèmes décrits avec 4 fonctions le sont à hauteur de 27% pour les élèves RA face à leurs homologues du groupe témoin (11%). Soit une différence de 16%. Dès lors que les élèves mobilisent 5 fonctions, ce sont 26% des élèves RA qui sont représentés lorsque 4% des élèves T le sont. Soit 22% de différence. Nous avons là l'écart le plus important entre les deux groupes. Pour six fonctions citées, nous avons 9% d'élèves RA contre 1% du groupe T. Pour sept fonctions citées, nous avons 2% d'élèves RA contre 0% du groupe T. Enfin, les productions faisant appel à 8 et 9 références structurelles sont très succinctes et ne représentent qu'un écart de 1% entre les deux groupes. Ainsi, les élèves du groupe témoin sont les plus nombreux à décrire leur système en faisant, au maximum, appel à 3 termes structurels différents. Ce qui explique qu'une majorité d'élèves du groupe T n'a pas su produire une analyse structurelle acceptable. Dès que nous regardons les élèves du groupe RA, nous constatons que ces derniers se retrouvent majoritairement représentés lorsque les analyses structurelles mobilisent au minimum 4 références structurelles différentes. Il semblerait qu'à ce stade les élèves du groupe RA produisent des analyses structurelles plus élaborées que leurs homologues du groupe T.

#### 4.2.4. Synthèse sur les productions réalisées par les élèves

Les graphiques ci-dessous synthétisent les données provenant des précédents graphiques (Graphiques 14 et 15). Ils nous apportent une vision d'ensemble des résultats obtenus par les élèves selon le groupe d'appartenance des élèves. Ces graphiques mettent en évidence une homogénéité dans la répartition des productions du groupe RA et T.



*Graphique 14: Répartition des élèves du groupe RA en fonction de leur degré d'analyse fonctionnelle.*



*Graphique 15 : Répartition des élèves du groupe témoin T en fonction de leur degré d'analyse fonctionnelle.*

Si nous couplons les réponses passables, pauvres et médiocres, 81% (43+7+31) des élèves du groupe RA produisent une analyse de système de mauvaise qualité. Ceci est révélateur d'une incapacité à réinvestir des connaissances dans le contexte de la séquence pourtant représentative de ce qui se fait ordinairement en STI2D. En parallèle, sur ces mêmes catégories se sont 95% des élèves du groupe témoin qui sont représentés. Nous avons donc un delta de 14% entre ces deux groupes, qui laisse penser que, globalement le groupe RA produit, malgré tout, des analyses fonctionnelles légèrement plus complètes que celles du groupe témoin.

Par addition des résultats moyens, correctes et riches, les élèves du groupe RA ne représentent que 19% alors que leurs homologues du groupe témoins sont représentés à hauteur de seulement 6%. Le delta de 13% semble cohérent avec celui trouvé pour les précédentes catégories. Ici, les élèves ont su réinvestir leurs connaissances et produisent des analyses correctes et/ou riches.



La défaillance de 81% des élèves nous interpelle. Elle est à mettre au compte soit du niveau des élèves orientés dans ces formations technologiques. Comme discuté dans le chapitre N°1, les élèves dans ces formations ne sont pas les plus brillants. Les plus brillants massivement s'inscrivent dans les filières scientifiques de l'enseignement général. Ou bien, elle peut être mise au compte des méthodes d'enseignement pratiquées en sciences industrielles, qui ne mesurent peut-être pas suffisamment la complexité des savoirs en jeu et le rôle des outils/instruments dans le processus d'enseignement apprentissage.

#### **4.2.5. Conclusion**

Cette première analyse renseigne sur les rapports entre connaissances et actions induits par la RA. Elle montre que les élèves analysent majoritairement le système en combinant trois voire quatre composants différents qu'ils associent à seulement une ou deux fonctionnalités. Or dans l'enseignement ordinaire de STI2D, les enseignants avouent qu'il n'est pas rare de voir des analyses fonctionnelles ne mentionnant qu'un seul terme réellement fonctionnel ! Notre étude indique qu'1/5 de l'échantillon (19%) produit une analyse fonctionnelle de qualité. Leur approche systémique bénéficie des informations importées par la RA. Les 4/5 restants (81%) ne sont pas capables de faire une analyse fonctionnelle même en disposant de toutes les informations importées par la RA. Autrement dit, il ne suffit pas de manipuler la RA pour développer leur approche fonctionnelle. Le simple fait de visualiser un système technique et de disposer d'information, à travers une interface de RA, ne leur permet pas de comprendre le fonctionnement, ni les interactions qui se jouent entre ses différents blocs fonctionnels. L'analyse de système combiné à la RA gagnerait à être précédée d'un apprentissage sur les interactions système réel, système virtuel et base de données informationnelles importées par la RA.

## **4.3. Rapports entre le niveau scolaire des élèves, la qualité des analyses de système produites et RA**

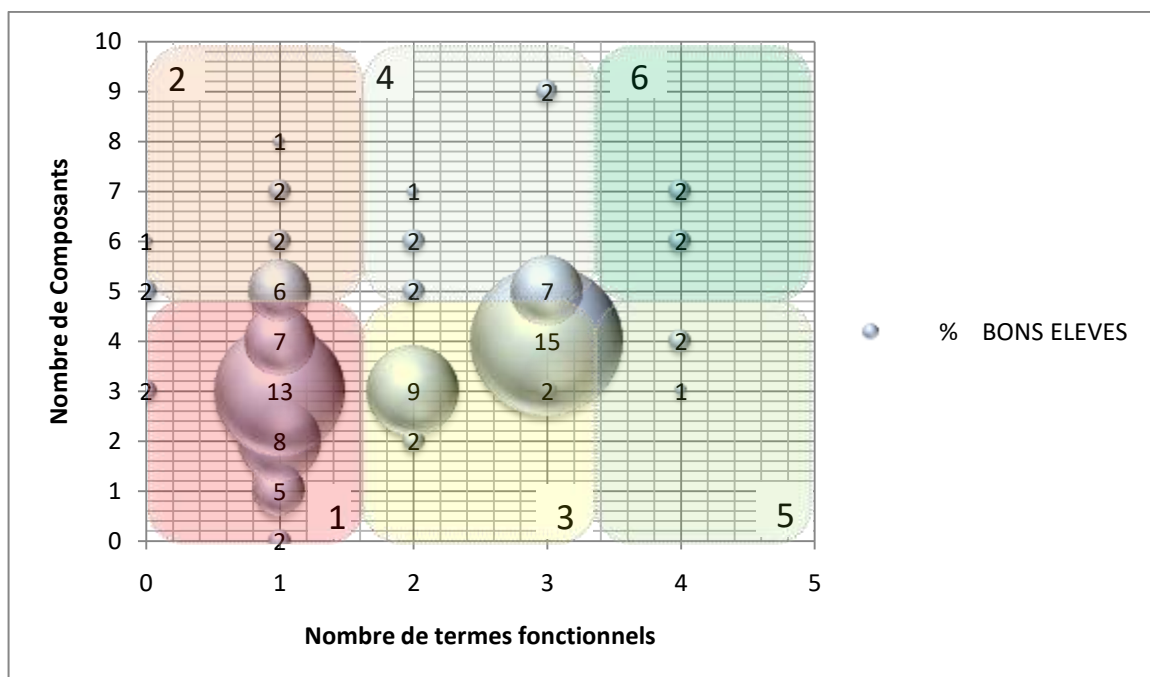
Le Tableau 5 présente la répartition des élèves de notre échantillon. Trois niveaux d'élèves sont déclinés en fonction de la moyenne annuelle : Les « bons élèves » sont ceux qui ont une moyenne annuelle supérieure ou égale à 14/20 ; les « élèves moyens » ont une moyenne qui se situe dans la fourchette de 13/20 et 10/20 ; les élèves en dessous de 10/20 sont jugés faibles.

Bons élèves	Elèves moyens	Elèves faibles	Total
28%	48%	24%	100%

*Tableau 5 : Niveau des élèves de notre échantillon.*

### **4.3.1. Analyse de la qualité des productions par rapport aux bons élèves RA**

Le graphique 16 qui suit présente le pourcentage d'élève du groupe RA en fonction de la qualité de l'analyse du système produite.



Graphique 16: Classification des bons élèves du groupe RA.

Les « bons élèves » RA se concentrent dans les catégories N°1 et N°3. Ceci est surprenant dans le sens où ces 2 catégories ne font pas écho à des analyses qualifiées de satisfaisantes. Ces bons élèves auraient dû en toute logique se concentrer dans les catégories traduisant un meilleur niveau telles que les catégories N°4, N°5 et N°6. Si l'on glisse les valeurs médianes qui se situent entre 2 catégories vers le haut, les catégories N°4, N°5 et N°6 rassemblent respectivement  $(2+2+1+7+2)$  14%,  $(2+1)$  3% et  $(2+2)$  4% soit un total de 12% des bons élèves contre  $(7+13+8+5+2+2)$  37% de la catégorie N°1,  $(6+2+1+2)$  11% de la catégorie 2  $(9+2+2+15)$  28% de la catégorie N° 3 soit un total de 76%.

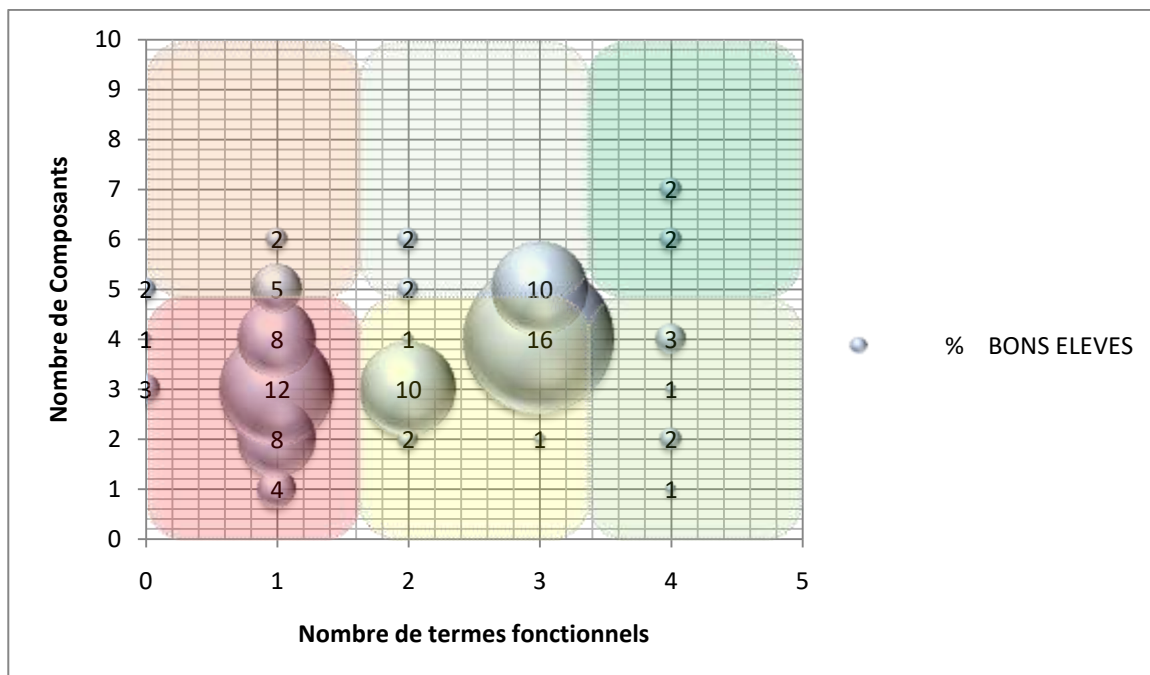
Si l'on compare les résultats obtenus pour les catégories 5 et 6 selon le niveau et ceux obtenus selon la qualité des analyses du groupe RA (graphique N°3), ils sont assez similaires. Une légère différence existe. Elle réside dans la catégorie d'analyse de système faisant apparaître quatre composants et trois termes fonctionnels. Par comparaison avec le graphique N°3 les élèves de bon niveau sont plus nombreux que ce que laisse apparaître leur analyse. Pour rappel, seulement 9% des élèves du groupe RA (tous niveaux confondus) proposaient une modélisation identique alors que dans la

catégorie des bons niveaux cette proportion s'élève à 15%. Pour une partie des élèves RA, nous avons là une confirmation de leur appartenance à ce niveau. Ce qui nous permet d'avancer qu'ils maîtrisent mieux que leurs camarades, les compétences nécessaires à l'analyse fonctionnelle de la carte Raspberry pi. Cependant si nous nous focalisons sur les élèves de cette catégorie ne proposant qu'un seul terme fonctionnel, alors nous constatons que 46% (2+5+8+13+7+6+2+2+1) d'entre eux font quasiment le même résultat que l'ensemble de l'échantillon observé et dont la proportion pour ce type de tâche s'élève à 41% (2+3+7+14+10+2+2+1), voir le graphique 10.

Enfin, nous constatons dans le graphique ci-dessus que les bons élèves ne sont pas très performants en analyse fonctionnelle. Ce n'est pas surprenant car ces élèves sont assez formatés au raisonnement analytique, mais pas assez à d'autre façon de penser comme l'analyse fonctionnelle et systémique des ingénieurs ; d'où l'importance d'enseigner les spécificités liées à l'analyse fonctionnelle pour développer un raisonnement systémique et mieux appréhender les systèmes plus complexes. Nous pouvons dire aussi que la RA n'influe quasiment pas sur les résultats des bons élèves RA. Ces derniers semblent ne pas avoir de besoin particulier ni d'attente envers cet outil numérique. Le réinvestissement de leurs connaissances semble leur suffire et l'apport de la RA ne parvient pas à les faire performer plus.

### **4.3.2. Analyse de la qualité des productions par rapport aux bons élèves T**

Le graphique 17 qui suit présente le pourcentage d'élève T en fonction de la qualité de l'analyse du système produite.



Graphique 17: Classification des bons élèves du groupe témoin T.

Les analyses de système produites par les bons élèves T, se concentrent dans les catégories N°1 et N°3 comme c'était le cas pour les élèves RA. Si l'on glisse les valeurs à cheval sur 2 catégories vers le haut, la catégorie N°1 rassemble 36% (4+8+12+8+1+3) de bons élèves. La catégorie N° 3 en rassemble 30% (16+10+2+1+1). Comme précédemment on attendrait d'avantage ces bons élèves dans les catégories traduisant un meilleur niveau. Dans les catégories censées représenter les niveaux scolaires les plus performants 4, 5 et 6. Seulement 14% (10+2+2) pour la catégorie N°4, 7% pour la catégorie n°5, et 4% (2+2) pour la catégorie N°6.

Par comparaison avec le graphique N°3 les élèves T de bon niveau sont plus nombreux. Pour rappel, seulement 4% des élèves du groupe T (tous niveaux confondus) proposaient une analyse de système avec 3 composants et 3 fonctions, alors que dans la catégorie des bons élèves T cette proportion s'élève à 16%. Pour une partie des élèves T, nous avons là une confirmation de leur appartenance à ce niveau. Ce qui nous permet d'avancer qu'ils maîtrisent mieux que leurs camarades du groupe témoin les compétences nécessaires à l'analyse de la carte Raspberry pi. Cependant si nous nous focalisons sur les élèves de cette catégorie ne proposant qu'un seul terme fonctionnel,

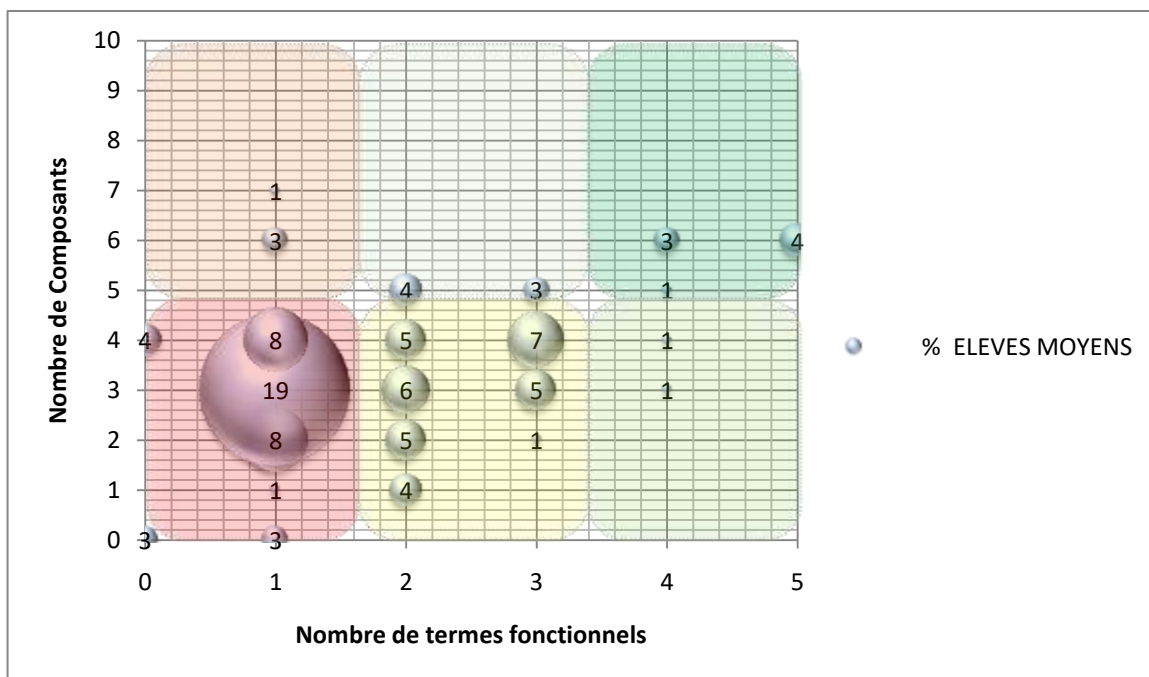
alors nous constatons que 39% (4+8+12+8+5+2) d'entre eux font quasiment le même résultat que l'ensemble de l'échantillon observé et dont la proportion pour ce type de tâche s'élève à 45% (3+11+10+16+3+2), voir le graphique 10. Après le traitement de ces données, nous pouvons conclure que la mise en œuvre de la RA pour analyser la carte Raspberry pi n'a finalement engendré que très peu de différence entre les productions des élèves du groupe témoin T et de niveau satisfaisant par rapport à celles de l'ensemble du groupe T tous niveaux confondus.

### **4.3.3. Constat sur l'ensemble des bons élèves et rôle de la RA**

Lorsque nous comparons la répartition des « Bons élèves » RA et des « Bons élèves » T, nous constatons qu'il y a peu de différence. Ce constat est significatif du peu de gain généré par la RA. De façon générale, nous pouvons affirmer qu'à ce stade, la RA n'influe pas sur les productions des bons élèves. En effet, Les « bons élèves STI2D » se caractérisent par leur capacité à anticiper, dès leur entrée en seconde, leur rapport aux études. De cette façon, ils ont su affronter plus aisément les chemins parfois tortueux de l'enseignement technologique. Le choix des options de seconde puis des spécialités dès la première constitue un des témoignages de cette capacité. Même si ces bons élèves produisent des performances scolaires de bonne qualité, plusieurs enseignants évoquent une transformation des profils scolaires. Sans nécessairement parler de baisse de niveau par rapport aux anciens élèves liée aux changements survenus dans les programmes du baccalauréat (Daverne & Dutercq, 2014), les bons élèves manquent moins de méthode, de connaissances et d'engagement dans le travail que leurs homologues de niveau inférieur. De ce fait, la mise en œuvre de la RA pour analyser la carte Raspberry pi n'a engendré que très peu de différence entre les productions des « bons élèves. »

### 4.3.4. Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves moyens RA

Le graphique 18 qui suit présente le pourcentage d'élèves moyens du groupe RA en fonction de la qualité de l'analyse du système produite.



Graphique 18: Classification des élèves moyens du groupe RA.

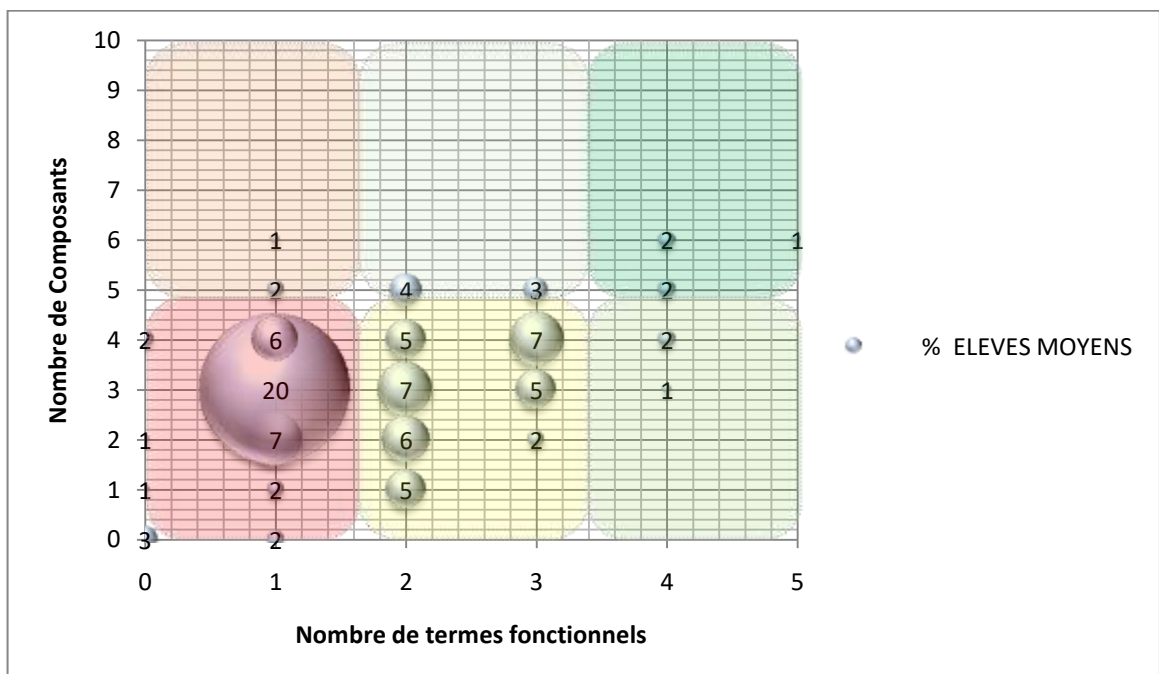
Dans cette nouvelle représentation propre aux élèves de la tranche de niveau passable, nous constatons immédiatement que la majorité des analyses de système réalisées se concentre dans la catégorie N°1 qui regroupe à elle seule 46 % (4+8+19+8+1+3+3) des productions et la catégorie N°3 qui en rassemble 33% (4+5+6+5+7+5+1). Ce qui est en phase avec les deux études précédentes. La catégorie N°1 rassemblant 42% des élèves du groupe RA global et 37% des élèves du groupe RA ayant un niveau satisfaisant. La catégorie N°3 rassemblant 37% des élèves du groupe RA global et 28% des élèves du groupe RA ayant un niveau satisfaisant. Nous remarquons cependant que dans cette tranche de niveau, les élèves proposant une modélisation basée sur trois composants associés à deux termes fonctionnels sont moins nombreux et

ne constituent que 4% des modélisations proposées alors qu’elles étaient de 7% au niveau de l’échantillon général. Il s’agit là de la seule information notable que nous pouvons exploiter. Le reste des données relatives à cette catégorie d’élèves de niveau passable reste assez proche du constat fait avec les données du groupe RA tous niveaux confondus. Soit un nombre majoritaire de modélisation finalement trop succinctes, rattachées à la catégorie N°1.

Là aussi, la RA utilisée comme outil numérique pour répondre à la consigne n’a pas engendré de réelles différences entre les productions des élèves du groupe RA ayant un niveau passable par rapport à celles de l’ensemble du groupe RA tous niveaux confondus, voir même des élèves de la tranche de niveau satisfaisante.

### 4.3.5. Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves moyens T

Le graphique 19 qui suit présente le pourcentage d’élèves moyens du groupe témoin T en fonction de la qualité de l’analyse du système produite.



Graphique 19: Classification des élèves moyens du groupe témoin T.



La majorité des analyses réalisées se concentre dans la catégorie N°1 qui regroupe à elle seule 44 % (3+1+1+2+6+20+7+2+2) des productions et la catégorie N°3 qui en rassemble 37% (5+7+7+5+6+2+5). Ce qui est globalement en phase avec les deux études précédentes. La catégorie N°1 rassemblant 54% des élèves du groupe témoin global et 46% des élèves du groupe RA ayant un niveau satisfaisant. La catégorie N°3 rassemblant 39% des élèves du groupe T global et 30% des élèves du groupe T ayant un niveau satisfaisant. Nous remarquons cependant dans ce niveau, que les élèves proposant une modélisation basée sur trois composants associés à deux termes fonctionnels sont moins nombreux et ne constituent que 7% des modélisations proposées alors qu'elles étaient de 11% au niveau du groupe T général. Il s'agit là de la seule information notable que nous pouvons exploiter. Le reste des données relatives à cette catégorie d'élèves de niveau passable reste assez proche du constat fait avec les données du groupe témoin, tous niveaux confondus.

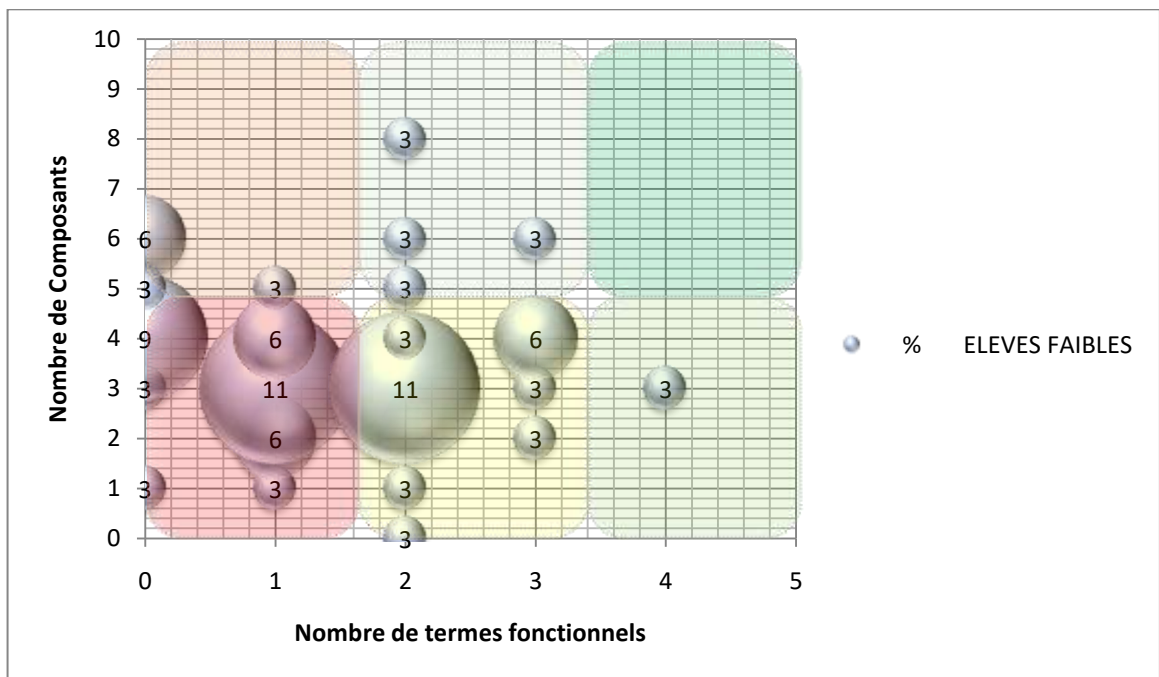
Là aussi, la RA utilisée comme outil numérique n'a pas engendré de réelles différences dans la production des analyses fonctionnelles de la carte. Les productions des élèves du groupe témoin ayant un niveau passable ne se démarquent pas comparées à celles du groupe témoin général. Il en est de même avec celles des élèves de la tranche de niveau satisfaisante.

#### **4.3.6. Constat sur l'ensemble des élèves moyens et rôle de la RA**

Lorsque nous comparons la répartition des élèves moyens du groupe RA et des élèves moyens du groupe T, nous constatons qu'il existe peu de différence. Ce constat est significatif du peu de gain engendré par la RA. De manière globale, nous pouvons dire que la RA n'apporte que très peu aux élèves moyens. Ces élèves moyens manquent parfois de méthode et de connaissance et l'introduction de la RA pour analyser la carte Raspberry pi n'a pas engendrée chez eux de différences notables entre leurs différentes productions.

### 4.3.7. Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves faibles RA

Intéressons-nous désormais à la dernière tranche de notre traitement détaillé, celle concernant les élèves faibles. Le graphique 20 qui suit présente le pourcentage d'élèves faibles du groupe RA en fonction de la qualité de l'analyse du système produite.



Graphique 20: Classification des élèves faibles du groupe RA.

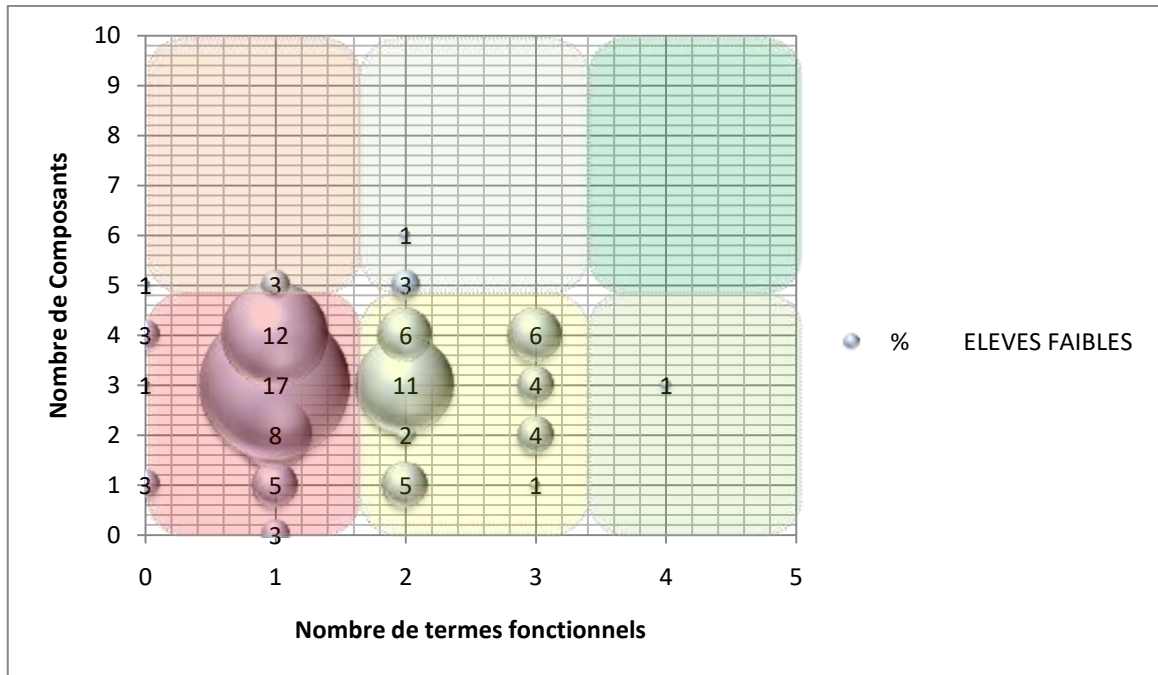
Le plus grand nombre d'analyse de systèmes proposés sont respectivement cloisonnés dans la catégorie N°1 à hauteur de 41% (9+6+3+11+6+3+3). Puis à hauteur de 32% (3+6+11+3+3+3+3) dans la catégorie N°3. Lorsque nous regardons plus en détails les analyses proposées par les élèves faibles RA, nous nous apercevons que 24% (3+3+9+3+6) d'entre eux ne font apparaître dans leur modélisation, qu'une vision structurelle au détriment de tous modèles fonctionnels. Même si certains de ces élèves vont proposer jusqu'à 6 composants différents, la modélisation d'un système technique ne peut s'affranchir de sa dimension fonctionnelle sous peine de pas suffisamment retranscrire les interactions existantes entre les différents éléments constituant la carte

Raspberry pi. La compréhension de son fonctionnement peut donc ne pas être complètement acquise. A la vue de ces informations, nous considérons que la tranche des élèves RA de niveau insuffisant se scinde en deux sous-groupes. Le premier proposant une modélisation succincte mais faisant apparaître à la fois les deux visions, structurelles et fonctionnelles, dans leurs analyses de la carte. Puis, le second sous-groupe, ne mentionnant que certains composants, faisant ainsi référence à une vision purement structurelle de la carte Raspberry pi. Si nous analysons le sous-groupe de niveau insuffisant ayant réussi à proposer des arguments à la fois structurels et fonctionnels, alors nous constatons que ces mêmes élèves restent sur la tendance déjà observée lors des analyses précédentes. L'utilisation de la RA dans cette activité est discutable. En effet, concernant le sous-groupe ayant fait état d'un modèle à la fois structurel et fonctionnel, nous ne pouvons que confirmer les observations déjà réalisées lors des trois dernières analyses. Concernant le sous-groupe n'ayant jamais modélisé la carte sous son aspect fonctionnel, la RA semble avoir permis d'identifier jusqu'à 6 composants pour 6% d'entre eux. Ces six composants étant textuellement ceux proposés par l'application de RA, en superposition de la carte Raspberry pi.

Ce résultat est supérieur à ceux relevés lors des analyses des deux autres niveaux du groupe RA, qui elles, n'ont vu aucun de leurs élèves proposer 6 composants différents dans leur modélisation. Nous pouvons également prendre en compte le fait que la catégorie N°6, soit la plus performante, n'ai jamais été atteinte par les élèves de cette tranche de niveau insuffisant.

#### **4.3.8. Analyse de la qualité des productions par rapport aux élèves faibles T**

Nous finalisons maintenant cette étude en observant la dernière tranche de notre traitement détaillé, celle concernant les élèves du groupe témoin ayant un niveau insuffisant (Graphique 21).



Graphique 21: Classification des élèves faibles du groupe témoin T.

A la lecture de ce dernier graphique détaillé faisant état de la tranche de niveau faible des élèves témoin T, nous confirmons la tendance qui se dégageait déjà dans les trois analyses précédentes. Le plus grand nombre de modélisations proposées sont respectivement cloisonnées dans la catégorie N°1 à hauteur de 52% (3+5+8+17+12+3+1+3). Pour rappel, le groupe témoin général rassemblait 54 % des élèves dans la catégorie N°1. De la même façon, ils sont équitablement représentés à hauteur de 39% (6+6+11+4+2+4+5+1) dans la catégorie N°3. Lorsque nous regardons plus en détails les modélisations proposées par les élèves T de cette tranche de niveau, nous nous apercevons que seulement 8% (3+1+3+1) d'entre eux font apparaître dans leur modélisation, une vision purement structurelle au détriment de tous modèles fonctionnels. Ici, le nombre d'élève proposant plus de 5 composants est très faible. La modélisation d'un système technique ne peut se contenter de si peu d'élément sous peine de ne pas suffisamment retranscrire les interactions entre les différents éléments constituant la carte Raspberry pi. La compréhension de son fonctionnement peut donc ne pas être complètement acquise. A la vue de ces informations, nous considérons que la tranche des élèves du groupe T et de niveau insuffisant se retrouve majoritairement

représentée (52%) dans modélisation succincte s'appuyant sur trop peu d'éléments structurels et fonctionnels, dans leurs analyses de la carte. Ainsi, en observant ces élèves du groupe T et de niveau insuffisant, nous constatons qu'ils restent sur la tendance précédemment mise en avant lors des analyses antérieures. L'utilisation de la RA dans cette activité n'est pas discutable. En effet, concernant ce groupe, nous ne pouvons que confirmer les observations déjà réalisées lors des trois dernières analyses.

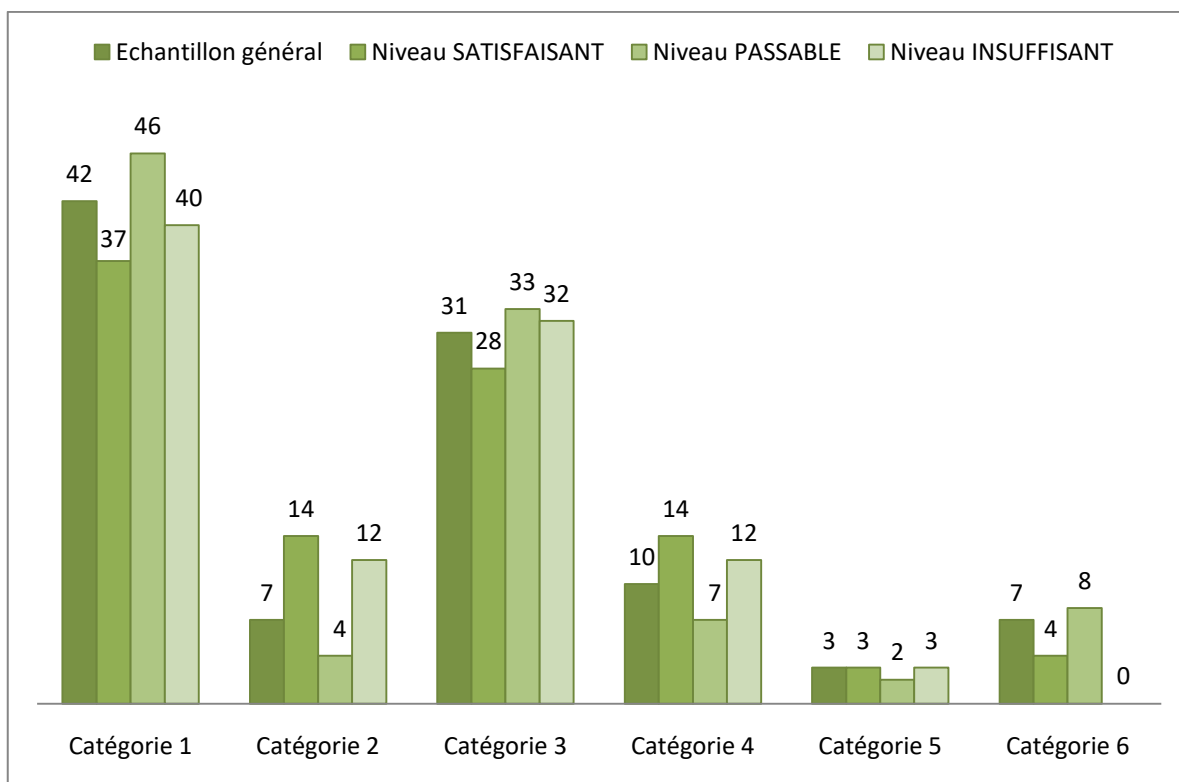
La RA n'a pas engendré de réelles différences dans la production des analyses de la carte. Les productions des élèves du groupe témoin ayant un niveau insuffisant ne se démarquent pas comparées à celles du groupe témoin général. Il en est de même avec celles des élèves de la tranche de niveau satisfaisante.

## **4.4. Synthèse et conclusion sur l'efficacité de la RA en analyse de système**

Les élèves n'ayant pas assimilé les bases de l'analyse de systèmes techniques dans leurs apprentissages antérieurs, semblent développer des stratégies de réponses principalement liées à la mémorisation. Ils parviennent ainsi à réinvestir certains éléments fonctionnels et / ou structurels mais ont plus de mal à démontrer leurs capacités à comprendre les interactions de ces éléments entre eux. Toutefois, les données récoltées mettent en avant le fait que la RA instrumentalisée pour analyser la carte Raspberry pi, permet à quelques élèves du groupe RA de percevoir la complexité liée à ce système. Ces élèves parviennent ainsi à isoler les paramètres fonctionnels et structurels nécessaires à la bonne compréhension du flux d'information dans la carte Raspberry pi. Ce constat n'est pas visible chez les élèves du groupe témoin qui n'utilisent pas la RA dans leurs tâches d'analyses. A ce stade, nous pouvons conclure sur le fait que les élèves performant peu dans l'analyse de systèmes techniques. Ceci n'est pas surprenant pour les niveaux faibles mais interroge sur les moyens et les bons élèves qui auraient dû avoir, logiquement, de meilleures analyses. L'analyse fonctionnelle est un outil qui fonctionne comme un langage. C'est un langage technique qui répond à des règles et des codes qui eux mêmes relèvent d'un apprentissage en amont. La RA n'a pas

remplacé cet apprentissage des règles et des codes de l'analyse fonctionnelle. Elle facilite la mise en relation des éléments aux fonctions et inversement. Elle les nomme et les renseigne. Les artéfacts inhérents à la RA et que nous avons définis en amont de ce travail à travers le processus d'enseignement - apprentissage, n'ont pas suffi à accompagner l'ensemble des élèves car dès le commencement de cette activité, trop peu l'ont réinvesti. Cette instrumentalisation de la RA est plus complexe à comprendre. Les élèves faibles du groupe RA apparaissent comme étant les plus actifs sur cette instrumentalisation de la RA. Ils sont ceux qui bénéficient le plus de cette instrumentalisation et parviennent à concevoir une analyse fonctionnelle correcte de la carte Raspberry pi et cohérente avec la fonctionnalité de ses principaux composants. Bien que les interactions qui lient tous les composants ne soient pas toutes perçues par les élèves, le manque de maîtrise de la RA s'avère aussi être un frein à cette instrumentalisation. Ainsi, nous pouvons conclure sur le fait que la RA a généré plus d'incidences sur les résultats des élèves faibles. Ce sont eux qui ont profités le plus de ses fonctions intégrées à la RA. Même si tous n'en n'ont pas bénéficié à la même hauteur, la RA leur permet de faire le lien entre fonctionnalité du système et composants. A l'inverse, les élèves les plus brillants scolairement sont peu performants en analyse de système et l'usage de la RA qui met en évidence ces relations fonctions/structure ne les aide pas.

Le graphique 22 qui suit synthétise les données provenant des traitements précédents. Il a l'avantage de nous donner une vision d'ensemble des résultats obtenus par les élèves du groupe RA et de mettre en avant une homogénéité dans la répartition dans les six différentes catégories.



*Graphique 22: Synthèse du pourcentage d'élèves du groupe RA répartis par catégories en fonction de leurs niveaux.*

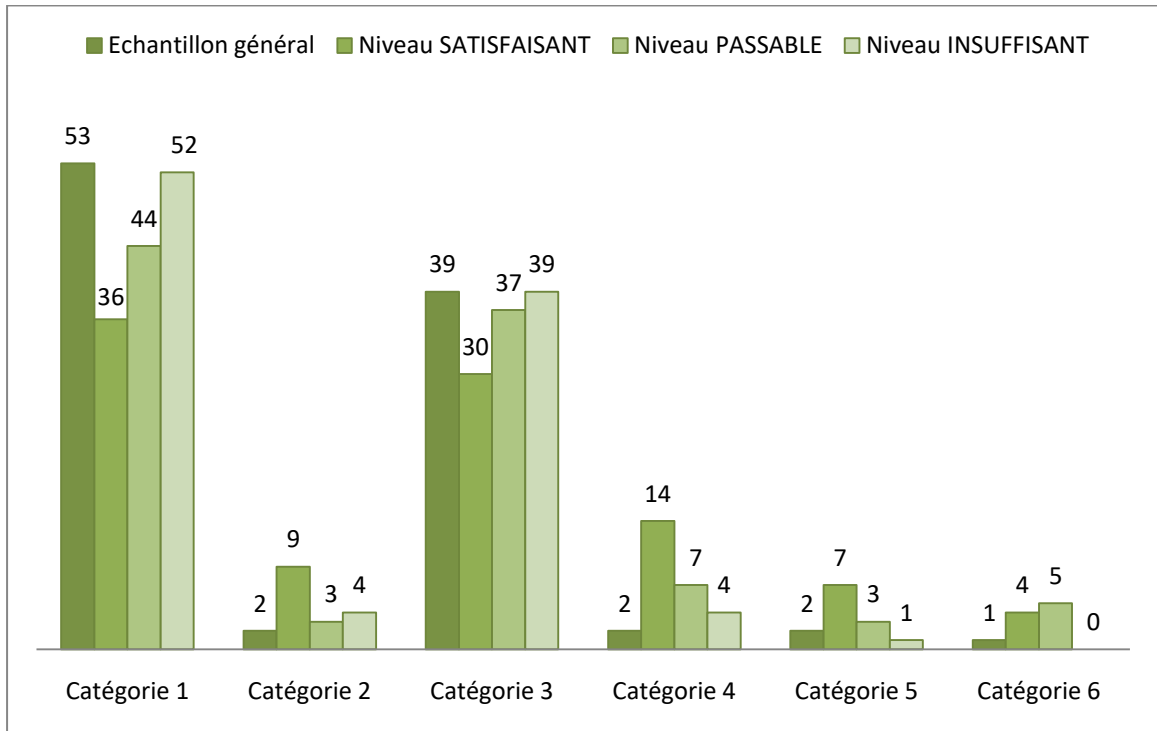
De façon évidente, nous voyons apparaître deux catégories majoritairement représentées :

- **La catégorie N°1**
- **La catégorie N°3**

Rappelons qu'elles font parties des trois catégories les moins performantes en termes d'arguments descriptifs pour l'analyse de la carte. En moyennant ces résultats, nous arrivons à 41.25% d'élèves contenus dans la catégorie N°1 et 31% dans la catégorie N°3. Soit 72.25% d'élèves représentés dans ces deux seules catégories.

$$\left( \frac{42 + 37 + 46 + 41}{4} + \frac{31 + 28 + 33 + 32}{4} \right) = 72.25\%$$

Ces résultats nous informent sur le fait que 72.25% des élèves, n'ont pu produire qu'une analyse sommaire et limitée de la carte Raspberry pi. La compétence liée à l'analyse de ce système technique ne paraît pas avoir été suffisamment acquise.



*Graphique 23: Synthèse du pourcentage d'élèves du groupe témoin T répartis par catégories en fonction de leurs niveaux.*

Le graphique 23 ci-dessus synthétise les données provenant des précédents traitements. Il nous apporte une vision d'ensemble des résultats obtenus par les élèves du groupe témoin et met en avant une certaine homogénéité dans leurs répartitions dans les six différentes catégories. De façon évidente, nous voyons apparaître dans l'histogramme deux catégories majoritairement représentées :

- **La catégorie N°1**
- **La catégorie N°3**

Rappelons qu'elles font parties des trois catégories les moins performantes en termes d'arguments descriptifs pour la modélisation de la carte. En moyennant ces résultats,



nous arrivons à 46.25% d'élèves contenus dans la catégorie N°1 et 36.25% dans la catégorie N°3. Soit 72.25% d'élèves représentés dans ces deux seules catégories.

$$\left( \frac{53 + 36 + 44 + 52}{4} + \frac{39 + 30 + 37 + 39}{4} \right) = 82.5\%$$

Ces résultats nous informent sur le fait que 82.5% des élèves, n'ont pu produire qu'une modélisation sommaire et limitée de la carte Raspberry pi. La compétence liée à la modélisation de ce système technique ne paraît pas avoir été suffisamment acquise.

Finalement cette expérience nous a appris, à travers le traitement des données qui lui incombent, que la plus grande partie des élèves modélisent la carte en combinant trois voire quatre composants différents associés à un ou deux termes fonctionnels. Nous apprenons aussi que la plus grande partie des élèves des deux catégories les plus représentées appartiennent au groupe témoin. De plus, si nous comparons les moyennes obtenues pour chacune des 6 catégories nous pouvons déduire les différents cas où la RA concentre le plus grand nombre d'élève. Pour rappel, les catégories dans lesquelles sont classées les analyses des élèves sont les suivantes :

- **1 - Analyse médiocre (1 fonction, 0 à 4 composants)**
- **2 - Analyse pauvre (1 fonction, 5 à 10 composants)**
- **3 - Analyse passable (2 à 3 fonctions, 0 à 4 composants)**
- **4 - Analyse moyenne (2 et 3 fonctions et entre 5 et 10 composants)**
- **5 - Analyse correcte (4 et 5 fonctions et entre 0 et 4 composants)**
- **6 - Analyse riche (4 et 5 fonctions et entre 5 et 10 composants)**

La comparaison des moyennes nous apprend que pour la catégorie N°1, l'ensemble des résultats RA (41.25%) est inférieur à ceux du groupe témoin (46.25%) ce qui prouve que les élèves ayant manipulés la RA se retrouvent en moins grand nombre dans la catégorie la plus médiocre. Ici les élèves ayant eu recours à la RA sont moins nombreux de 5%.

Concernant la catégorie N°2, dite pauvre, nous pouvons relever que les élèves ayant eu recours à la RA sont plus représentés (9.25%) que leurs homologues du groupe témoin (4.25%). Ceci est principalement dû aux analyses structurelles plus riches produites par les élèves du groupe RA. Leur identification des composants étant

supérieure en nombre face aux élèves du groupe témoin. Ici les élèves ayant eu recours à la RA sont plus nombreux de 4.75%.

La catégorie N°3 (passable) est représentée à 31% pour les élèves RA contre 36.25% des élèves du groupe témoin. Comme pour la catégorie N°1, les élèves ayant eu recours à la RA sont légèrement moins représentés que leurs homologues du groupe témoin. Ici les élèves ayant eu recours à la RA sont moins nombreux de 5.25%.

La catégorie N°4 représentant des analyses de qualité moyenne, 10.75% des élèves RA sont représentés face à 6.75% d'élèves du groupe témoin, pour cette catégorie. Ici les élèves ayant eu recours à la RA sont plus nombreux de 4%.

La catégorie N°5 représentant des analyses de qualité correcte, 2.75% des élèves RA sont représentés face à 3.25% d'élèves du groupe témoin, pour cette catégorie. Ici les élèves ayant eu recours à la RA sont moins nombreux de 0.5%.

La catégorie N°6 représentant des analyses de qualité riche, 9.5% des élèves RA sont représentés face à 2.5% d'élèves du groupe témoin, pour cette catégorie. Ici les élèves ayant eu recours à la RA sont plus nombreux de 7%.

Ainsi, dans les trois catégories regroupant les analyses les moins riches, deux sur trois sont représentées par plus d'élèves du groupe témoin que ceux du groupe RA. A contrario, dans les trois catégories les plus riches, deux sur trois sont représentées par un nombre plus important d'élèves ayant eu recours à la RA.

La RA a joué un rôle chez certains élèves du niveau faible, qui s'appuient sur cette technologie pour produire leur analyse de la carte. Même si celle-ci reste incomplète au niveau purement fonctionnel. Ce constat nous amène à penser que dans cette catégorie d'élèves, le manque de savoir-faire couplé aux lacunes accumulées en termes de modélisation de systèmes techniques, ne leur permet pas de produire une solution acceptable. Pour étayer ce constat, la catégorie d'élève RA ayant un niveau faible, semble s'être emparée de la RA comme outil numérique pour tenter de répondre à la consigne. Ne maîtrisant pas assez les outils de représentation graphiques tels que les chaînes d'information et d'énergie, ou encore, le langage SysML, ces élèves ont pris le temps d'exploiter l'application de RA fournie pour proposer un modèle de la carte correct sur

le plan structurel mais inexistant sur le plan fonctionnel. Ce qui nous laisse penser que dans cette situation et sans l'apport de la RA, les modélisations de ces élèves auraient pu être encore plus pauvre. Pour le reste de l'échantillon la tendance générale nous surprend par la faible mobilisation des termes fonctionnels. Il n'est pas rare de voir des analyses ne mentionnant qu'un seul terme fonctionnel.

## **5. Fonctions pragmatiques attribuées à la RA par les élèves**

Ce chapitre présente les résultats permettant de tester notre seconde hypothèse « les élèves attribuent à la RA de nouvelles fonctions pragmatiques de contrôle et de régulation de leur propre travail et produisent moins d'erreurs dans la mise en œuvre du système. Il se créait un processus itératif élève/RA/Tâche ».

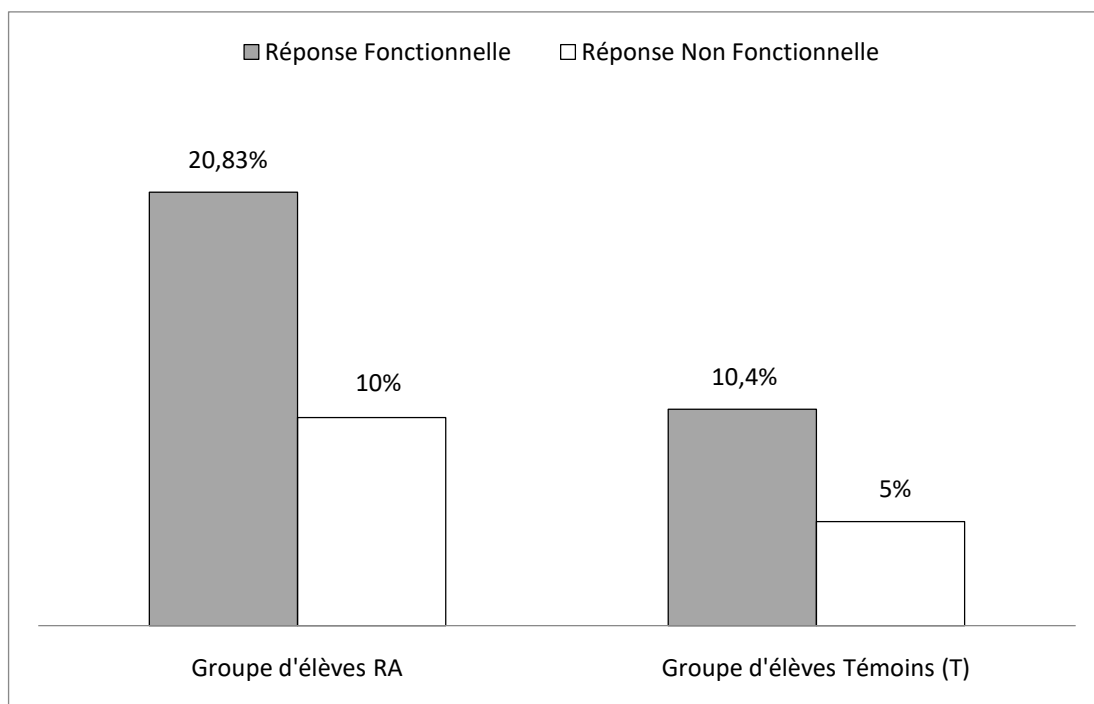
L'intérêt de la mise en œuvre du système réside dans le fait qu'elle convoque une connaissance à la fois fonctionnelle et structurelle du système et dont le résultat en termes de fonctionnement nécessite des ajustements avec la RA.

### **5.1. Analyse des procédures de mise en œuvre du système, produites par les élèves**

#### **5.1.1. Nombre de procédures fonctionnelles (ou pas) produites**

Parmi les procédures proposées, l'ordre des opérations peut conduire à des procédures fonctionnelles (qui marchent) ou pas. L'ordre des opérations qui ne sont pas fonctionnelles contient des erreurs de planification de l'action par les élèves.

Le graphique 24, ci-après, présente les pourcentages d'élèves RA et T qui ont produit une procédure fonctionnelle ainsi que le pourcentage d'élèves qui ont fait des erreurs dans leur procédure.



*Graphique 24: Répartition des procédures de mise en service fonctionnelles et non fonctionnelles.*

Le taux de bonnes réponses fonctionnelles est doublé chez les élèves avec RA (20,8%) par comparaison avec T (10,4%). Toutefois, ce taux reste globalement assez bas sur l'ensemble des élèves. Le taux de réponses erronées est doublé chez les élèves du groupe T (5%) par comparaison avec le groupe RA (10%). Le nombre des procédures qui font apparaître un ordre de mise en œuvre non fonctionnel est remarquablement élevé. Le recours à la RA à une incidence sur les réponses des élèves. Elle leur permet de faire moins d'erreurs.

### **5.1.2. Analyse des erreurs commises par les élèves dans les procédures non fonctionnelles**

Le tableau 6 ci-dessous nous permet de mieux visualiser les productions des élèves en classant leurs procédures en fonction de leurs opérationnalités :

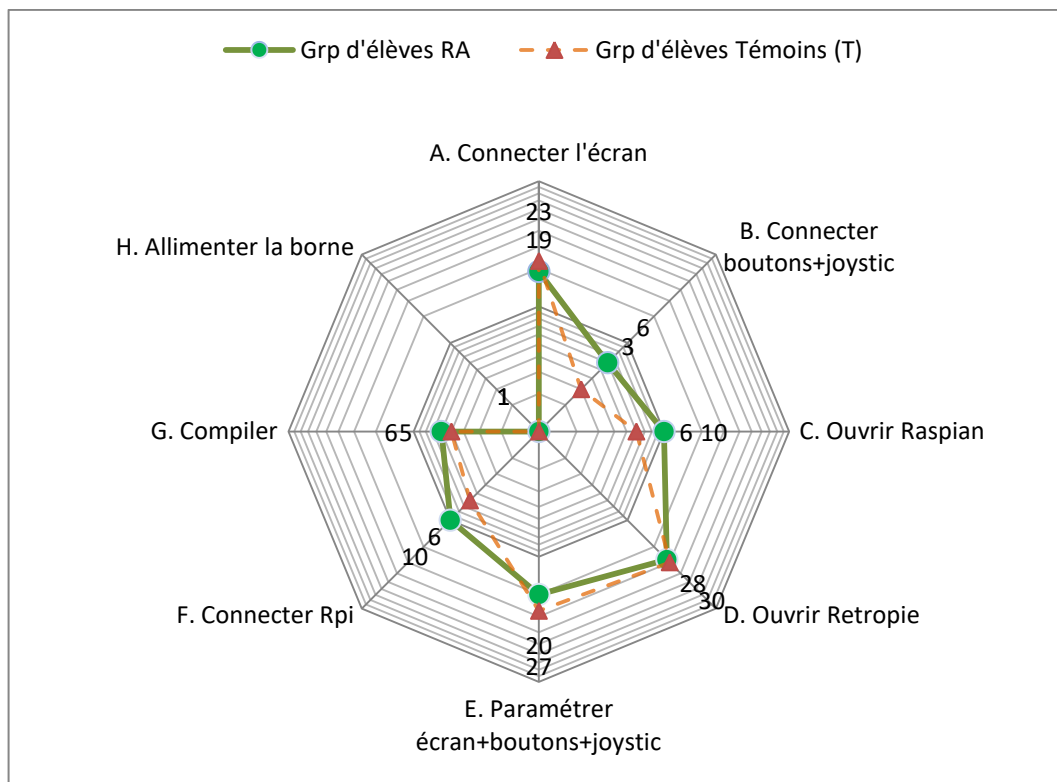
Qualité	Nb d'erreurs	Nb de procédures
Fonctionnelle	0	60%
Fonctionnelle	1	15%
Moyenne (non fonctionnelle)	2	16%
Passable (non fonctionnelle)	3	12%
Pauvre (non fonctionnelle)	4	4%
Médiocre (non fonctionnelle)	5 et +	3%

*Tableau 6 : Répartition des erreurs dans les procédures.*

Les données issues des procédures proposées par les élèves aboutissent majoritairement à une cohérence de la mise en service de la borne d'arcade. 60% des procédures produites par les élèves sont justes. Et 15% le sont avec une seule incohérence qui ne remet pas en cause le fonctionnement général de la borne d'arcade. De façon factuelle, ces 15% de procédures proposent une alimentation du système prématurée. Elles font intervenir l'alimentation de la borne avant les connections des différents périphériques. Ce qui est tout à fait possible mais qui représente aussi un risque électrique. Il est donc préférable de connecter tous les périphériques hors tension pour éviter les court-circuits et ne pas risquer de détériorer le système technique. En revanche, les procédures moyennes, passables, pauvres et médiocres débouchent sur une incohérence de la procédure. Une application de ces 35% de procédures ne peut pas aboutir au fonctionnement correct de la borne d'arcade. En détaillant cela nous constatons que 16% des procédures qualifiées de moyennes, totalisent 2 erreurs dans l'opérationnalisation de la borne d'arcade. Ce qui veut aussi dire que les 6 autres opérations sont correctes. 12% des procédures qualifiées de passable totalisent 3 erreurs. Au-delà, les procédures proposées sont inexploitable. Même si elles sont peu nombreuses, 4% d'entre elles cumulent 4 erreurs et 3% contiennent 5 erreurs.

### **5.1.3. Nombre d'erreurs par opération et par groupe**

Le graphique 25 ci-après présente le taux d'erreurs défini en fonction de la totalité des erreurs commises dans chacun des deux groupes. Il permet de visualiser, opérations après opérations, le nombre d'erreurs commises.



Graphique 25: Nombre d'erreurs commises par opérations.

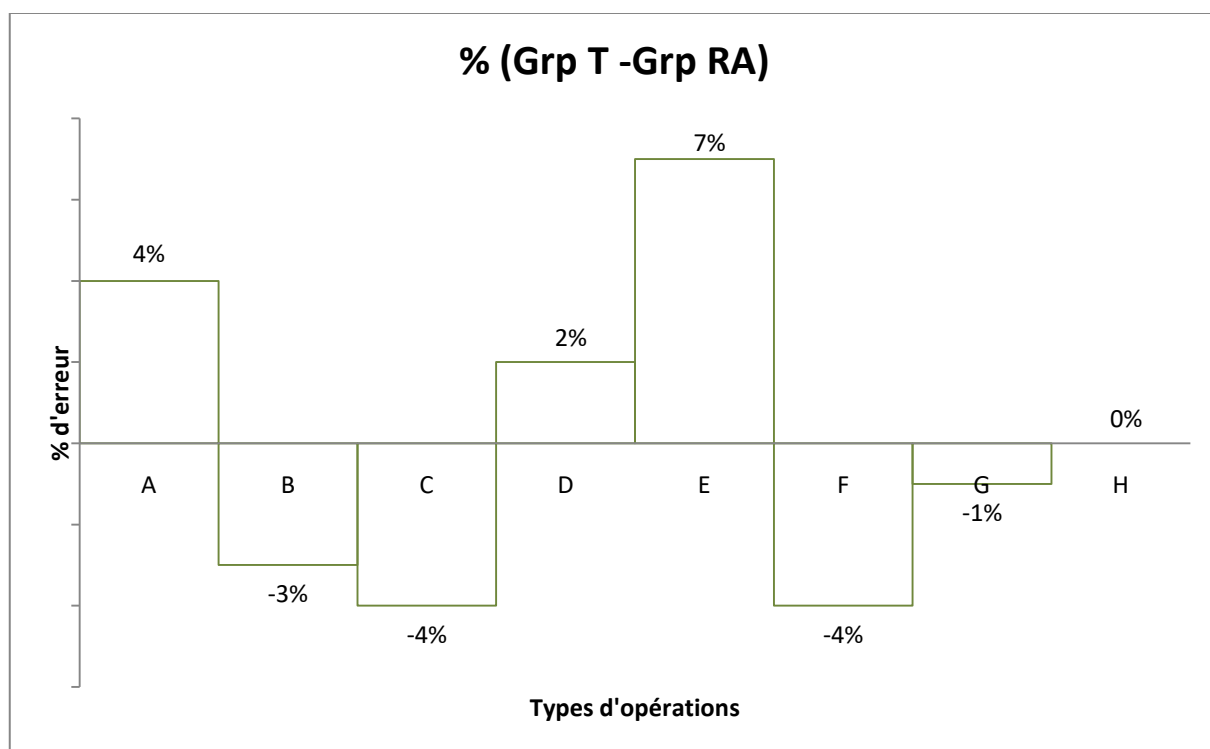
Ce graphique montre un écart plus important sur les opérations suivantes C, E, F. C'est ainsi que nous avons une différence de 4% sur l'opération C, où les élèves RA (10%) montrent moins de facilité à réaliser correctement cette opération alors que leurs homologues du groupe témoins, sont représentés à hauteur de 6%. L'opération E est la plus disparate avec un écart de 7%. Ici, ce sont les élèves du groupe témoin (T) qui performant le moins dans cette opération. Ils sont respectivement 27% contre 20% pour les élèves du groupe RA. L'opération C fait apparaitre une différence de 4% en faveur des élèves du groupe RA (10%) face à leurs homologues du groupe témoin (6%).

Les erreurs commises sur les opérations A, B, D, G, H Sont sensiblement identiques dans les 2 groupes. Nous avons une différence de 4% sur l'opération A, où les élèves témoins (23%) montrent légèrement plus de difficulté à réaliser correctement cette opération que leurs homologues du groupe RA qui eux sont représentés à hauteur de 19%. L'opération B montre une différence de 3% entre les deux groupes. Il en est de même avec l'opération D qui a généré une différence de seulement 2% entre les deux

groupes. L'opération G et H suivent la même tendance avec des différences très faibles de 1% entre les deux groupes.

Constat : Sur les sept opérations possibles, les élèves du groupe T sont légèrement plus performants que ceux du groupe témoin. En effet, ils répondent mieux sur quatre opérations sur sept.

Dans le graphique 26 ci-dessous est présentée la différence du pourcentage d'erreurs entre les deux groupes d'élèves et pour chacune des sept opérations de mise en service.



Graphique 26: Pourcentage de l'écart d'erreur pour chaque opération.

L'information majeure que l'on observe cible l'opération E cette opération qui, rappelons-le, concerne le paramétrage de la résolution de l'écran. C'est sur cette tâche que l'on enregistre l'écart le plus important. En effet le groupe T produit 7% d'erreurs en plus que le groupe RA. L'opération E représente un moment clés dans la mise en œuvre de la carte Raspberry pi. En effet, si celle-ci est omise le fonctionnement de la carte sera impossible. Statistiquement, nous pouvons affirmer que les élèves RA sont plus



performants. Ils réalisent, dans cette activité, moins d'erreurs que leurs homologues du groupe T. Nous pouvons ainsi dire que la RA a permis, chez les élèves l'ayant utilisé, de ne pas omettre de mentionner cette opération essentielle. Elle a aussi permis de définir le moment adéquat où cette opération doit être réalisée dans la procédure opérative.

On note également que les deux groupes sont assez homogènes dans leur production. Les opérations de connections des boutons et joystick, de compilation et d'alimentation de la borne, respectivement référencées B, G, H sont correctement stipulées par les élèves. Il s'agit en fait des opérations extrêmes d'un point de vu séquentiel. C'est-à-dire des opérations de lancement et de finalisation de la procédure. Concernant les opérations A et D, nous constatons un taux d'erreurs supérieurs dans les deux groupes. Ce taux s'échelonnant de 19% à 30% (Voir le graphique 25 ci-dessus). De façon générale, les élèves RA appréhendent le caractère séquentiel des opérations à réaliser pour mettre en œuvre la carte Raspberry pi.

#### **5.1.4. Ecart type**

Le calcul de l'écart-type permet de comparer la dispersion de deux ensembles de données séparés qui ont approximativement la même moyenne. La dispersion des mesures autour de la moyenne est plus étroite dans le cas d'un ensemble de données dont l'écart-type est plus petit. Habituellement, un tel ensemble renferme comparativement moins de valeurs élevées ou de valeurs faibles. Un élément sélectionné au hasard à partir d'un ensemble de données dont l'écart-type est faible peut se rapprocher davantage de la moyenne qu'un élément d'un ensemble de données dont l'écart-type est plus élevé.

Le tableau 7 ci-après présente la somme des données issues des élèves « RA ».

Opérations	Nbr d'erreurs(X)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
A	19	6.5	42.25
B	6	-6.5	11
C	10	-2.5	6.25
D	28	15.5	240.25
E	20	7.5	56.25
F	10	-2.5	6.25
G	6	-6.5	11
H	1	-11.5	132.25

Tableau 7 : Données relatives aux élèves RA et nécessaires au calcul de l'écart-type.

Avec:

$X$  = Nombre d'erreur;  $n$  = Nombre d'opérations ;

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \text{Moyenne du nombre d'erreur.}$$

$$\sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = \text{Ecart - type (S)}$$

$$\text{Ecart type pour les élèves « RA » : } S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{505.5}{8}} = 7.94$$

Le tableau 8, ci-dessous, présente la somme des données issues du groupe T.

Opérations	Nbr d'erreurs(X)	$X - \bar{X}$	$(X - \bar{X})^2$
A	23	10,375	107,640
B	3	-9,625	92,6407
C	6	-6,625	43,89
D	30	17,375	301,89
E	27	14,375	206,64
F	6	-6,625	43,89
G	5	-7,625	58,1406
H	1	-11,625	135,140

Tableau 8 : Données relatives aux élèves T et nécessaires au calcul de l'écart-type.

Avec:

$X$  = Nombre d'erreur;  $n$  = Nombre d'opérations

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} = \text{Moyenne du nombre d'erreur.}$$

$$\sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = \text{Ecart - type } (S)$$

$$\text{Nous obtenons donc pour le groupe T : } S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n}} = \sqrt{\frac{989,8743}{8}} = 11.12$$

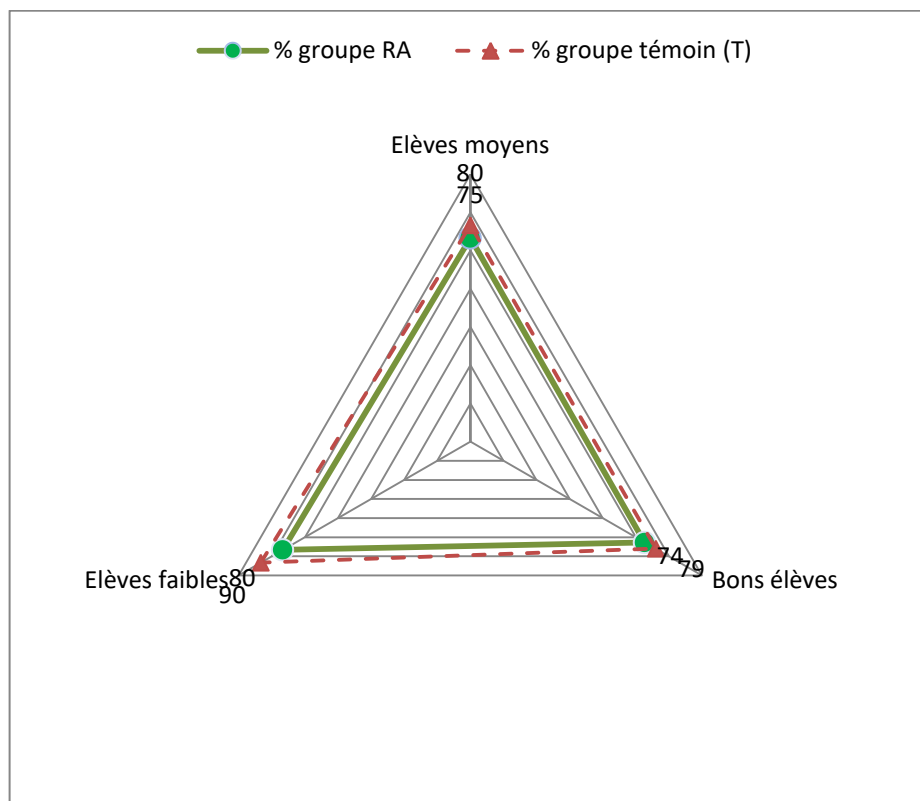
Conclusion : l'écart - type est plus faible pour les élèves RA. La dispersion est donc moindre. Cela signifie que les valeurs sont peu dispersées autour de la moyenne. Ainsi, nous pouvons dire que ces élèves n'ont pas plus performé que leurs paires mais ont globalement mieux cernés la tâche à réaliser. Dans cette activité, la RA a été présentée aux élèves comme pouvant être utilisée comme un outil numérique disponible pour réaliser la tâche de mise en service de la borne d'arcade. L'instrumentalisation de la RA permet tout de même d'appuyer les connaissances des élèves dans leurs différentes approches fonctionnelles et structurelles d'un système technique complexe. Même si un certain nombre d'élèves peuvent être retissant à l'utiliser, la RA peut s'avérer utile pour d'autres car elle véhicule un regard nouveau sur les systèmes techniques complexes. De ce fait, nous pensons que les élèves possédant en amont de leurs analyses une représentation globale du système, ne sont pas les plus enclin à utiliser la RA pour l'opérationnaliser leur mise en œuvre de la borne d'arcade. A contrario, ceux qui éprouvent du mal à se représenter le système, trouvent à travers la RA le moyen de mieux structurer les opérations à réaliser pour mettre en service la borne. Ainsi, la RA peut être efficace pour ce profil spécifique d'élèves.

### 5.1.5. Cas des opérations A et E

Les opérations ayant généré le plus grand nombre d'erreurs (référencées A et E) nous invitent à regarder plus en détail ce qu'il en est. Nous divisons donc les résultats obtenus pour chacune de ces opérations en trois niveaux différents, tel que déjà mis en

œuvre dans les analyses précédentes. Nous retrouvons donc une répartition des données regroupées en fonction d'élèves de niveau satisfaisant, d'élèves de niveau passable et d'élèves de niveau insuffisant.

Les résultats des données relatives à l'opération A sont visibles sur le graphique 27 ci-dessous.

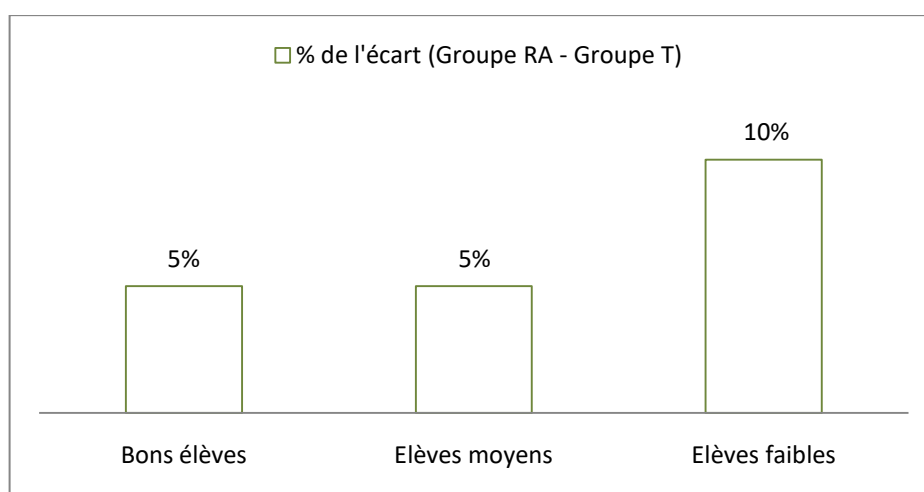


Graphique 27: Pourcentage d'erreurs dans l'opération A.

Le graphique ci-dessus nous informe sur les erreurs générées par l'opération A et la différence qu'elles creusent entre les deux groupes d'élèves. L'opération A est axée sur l'interface homme-machine du système d'exploitation Retropie, embarqué dans la carte Raspberry pi. Ce système d'exploitation est incontournable car c'est lui qui permet de transformer la carte Raspberry Pi en un émulateur de jeux vidéo. C'est notamment grâce à cette interface que les paramètres des différents boutons et du joystick pourront

être définis par les élèves. Lorsque nous analysons la réalisation de cette tâche par les deux groupes d'élèves, nous constatons que les différences sont assez faibles. Les bons élèves sont, sans surprise, ceux qui réalisent le mieux cette tâche. La différence entre les deux groupes met légèrement en avant le groupe d'élèves RA qui génère un taux d'erreurs dans cette opération de 74% tandis que les élèves témoins en génèrent 79%. Soit une différence de 5% entre les deux groupes. Pour cette même opération, l'écart entre les élèves moyens se maintient puisqu'il est là aussi de 5%. Les élèves du groupe RA génèrent légèrement moins d'erreurs que leurs homologues du groupe témoin et sont représentés respectivement à hauteur de 75% et 80%. Lorsque nous observons la réalisation de cette opération par les élèves faibles, nous constatons que la logique en termes de réussite est respectée. C'est-à-dire que les élèves faibles sont ceux qui génèrent le plus d'erreurs dans cette opération. La tendance se confirme car le groupe RA est plus efficace que le groupe témoin dans cette opération. Les élèves faibles RA génèrent un taux de 80 % lorsque ceux du groupe témoin en génèrent un de 90%. Il est important de noter que chez les élèves faibles l'écart entre les taux d'erreurs double par rapport aux élèves moyens et bons.

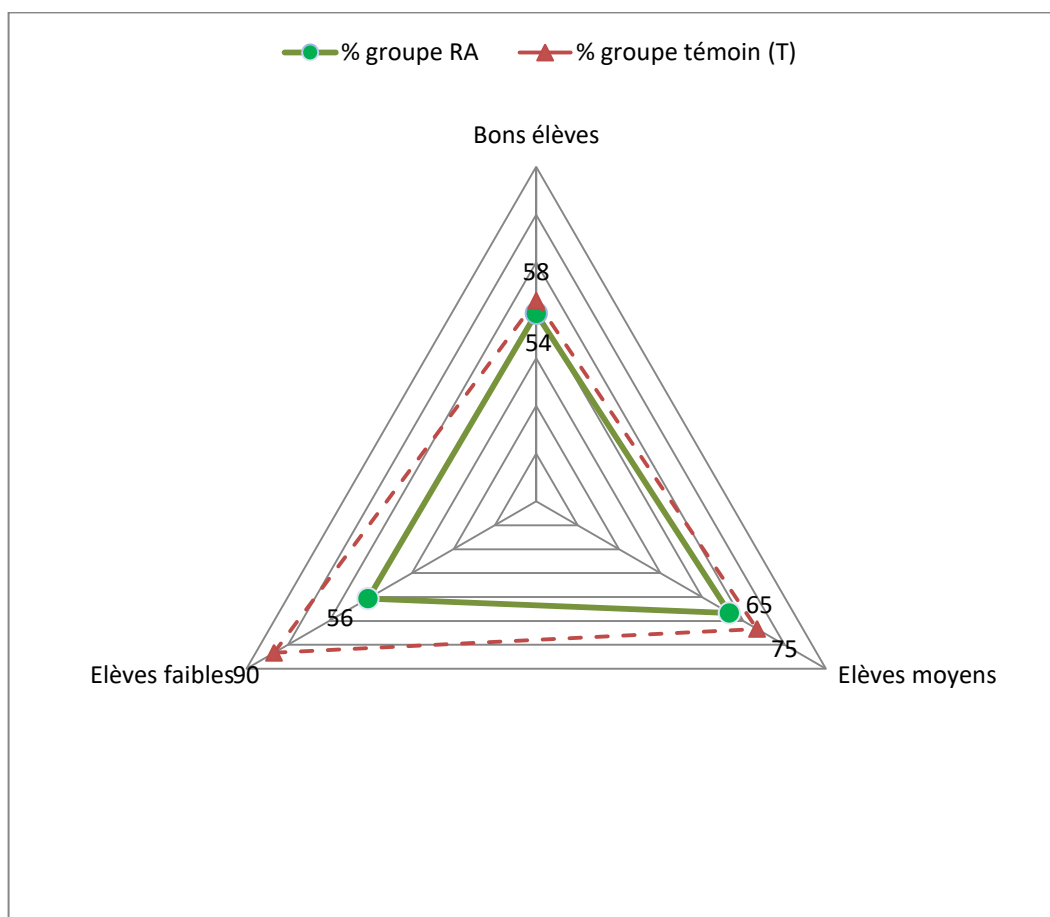
Constat : Si nous comparons les propositions des élèves des deux groupes, nous voyons bien que de façon générale, l'opération A est sensiblement mieux traitée par le groupe RA que par le groupe T. Le graphique 28 qui suit permet de faire la synthèse des écarts entre les taux d'erreurs pour chaque niveau d'élèves.



Graphique 28: Différence du taux d'erreurs entre les deux groupes dans l'opération A.

L'écart d'erreurs entre les deux groupes est deux fois plus important chez les élèves de niveau insuffisant.

Le graphique 29 ci-dessous, présente le détail de l'opération E. Pour rappel, l'opération E consiste réaliser le paramétrage des boutons et joystick.

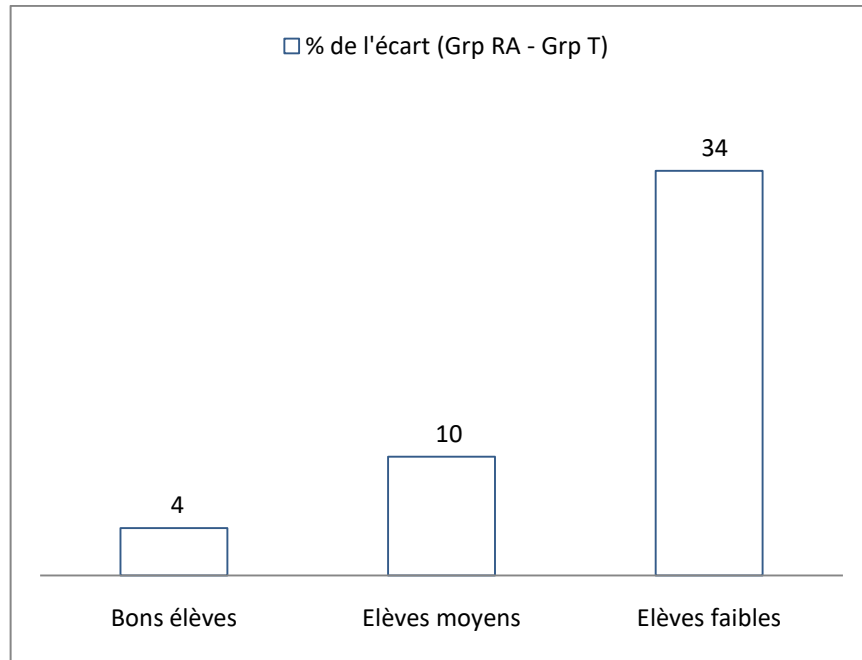


Graphique 29: Pourcentage d'erreurs dans l'opération E.

Le graphique ci-dessus nous informe sur les erreurs générées par l'opération E et la différence qu'elles creusent entre les deux groupes d'élèves. L'opération E est axée sur le paramétrage des six boutons et du joystick. Ces périphériques d'acquisition sont incontournables pour traduire les ordres analogiques issus du joueur vers leurs traductions numériques dans le jeu vidéo. C'est notamment grâce à ces périphériques d'acquisition que les élèves/joueurs pourront gérer les différents déplacements et actions sur l'écran. Lorsque nous analysons la réalisation de cette tâche par les deux

groupes d'élèves, nous constatons que les différences sont plus marquées que lors de l'opération D. Les bons élèves sont, là aussi, ceux qui réalisent le mieux cette tâche. La différence entre les deux groupes met légèrement en avant le groupe d'élèves RA qui génère un taux d'erreurs dans cette opération de 54% tandis que les élèves témoins en génèrent 58%. Soit une différence de 4% entre les deux groupes. Pour cette même opération, l'écart entre les élèves moyens se creuse puisqu'il passe à 10%. Les élèves du groupe RA génèrent moins d'erreurs que leurs homologues du groupe témoin et sont représentés respectivement à hauteur de 65% et 75%. Lorsque nous observons la réalisation de cette opération par les élèves faibles, nous constatons que la logique en termes de réussite est respectée. C'est-à-dire que les élèves faibles sont ceux qui génèrent le plus d'erreurs dans cette opération. La tendance se confirme car le groupe RA est plus efficace que le groupe témoin dans cette opération. Les élèves faibles RA génèrent un taux de 56 % lorsque ceux du groupe témoin en génèrent un de 90%. Il est important de noter que chez les élèves faibles l'écart entre les taux d'erreurs est le plus important observé dans l'ensemble de cette étude. Cet écart de 34% est trois fois plus important que celui observé chez les élèves moyens et quasiment huit fois plus important que celui des bons élèves.

Constat : les élèves de niveau insuffisant appartenant au groupe T ont tous proposé une solution incorrecte faisant grimper le taux d'erreurs à 90% alors que leurs homologues du groupe RA n'ont enregistré qu'un taux de 56%, soit un écart de 34%. Le processus d'itération Sujet/Tâche/RA a permis à ces élèves de mieux comprendre le fonctionnement global du système technique et ainsi mieux s'appropriier la tâche à réaliser, la réguler. Concernant les autres groupes de niveau, les écarts sont moins importants. Nous retiendrons là-aussi que de façon générale, les élèves RA ont été plus performants que ceux du groupe T. Le graphique 30 qui suit permet de faire la synthèse des écarts entre les taux d'erreurs observés pour chaque niveau d'élèves.



Graphique 30: Différence du taux d'erreurs entre les deux groupes dans l'opération E.

L'écart d'erreurs entre les deux groupes est environ trois fois plus important entre les élèves faibles et les élèves moyens. Tandis qu'un rapport de quasiment huit est observable entre les élèves faibles et les bons élèves.

### 5.1.6. Conclusion de l'étude des traces des élèves

Pour synthétiser les résultats analysés dans cette expérience, nous pouvons dire que les élèves RA ont produit des procédures opératives plus efficaces que le groupe T. La RA a engendré une meilleure entrée des élèves dans la tâche, leur permettant ainsi de mieux s'approprier le fonctionnement de la carte Raspberry pi. Les élèves faibles RA sont ceux ayant le plus tiré profit de l'application de RA. Un peu moins de 50% des élèves ont validé l'opération E. Proposant, dans le déroulement séquentiel de leur procédure opérative, l'opération E dans le bon espace temporel. Il s'avère que pour quelques élèves cette façon d'aborder un système technique peut s'avérer déroutante. Le fait est qu'ils se basent sur des représentations déjà existantes, qu'ils remobilisent dès lors qu'un système technique inconnu leur est proposé.



Enfin, le traitement des données a permis de mettre en avant le fait que l'utilisation de la RA par les élèves apparentés au niveau insuffisant, leur a été bénéfique. Dans ce cas, les élèves ont réussi à structurer leurs pensées et ainsi proposer une procédure opérative cohérente.

## 5.2. Analyse des interactions

### Elève/Tâche/Outil de 6 binômes

Mémo Activité : suivre le plan de câblage pour positionner les câbles aux bons endroits ; paramétrer la borne à l'aide du logiciel « Retropie » embarqué dans la carte Rasbery-Pi ; compléter un document élève ; appliquer leur procédure au système pour le faire fonctionner.

Rappel méthodologique : six binômes sont observés sur leurs capacités à faire fonctionner, ou non, la borne d'arcade. Ils sont constitués en fonction du niveau scolaire (bon, moyen, ou faible) des élèves. 3 binômes disposent des ressources virtuelles de la RA, 3 autres disposent de ressources numériques.

Les binômes sont identifiés avec les repères mentionnés dans le tableau 9 ci-dessous :

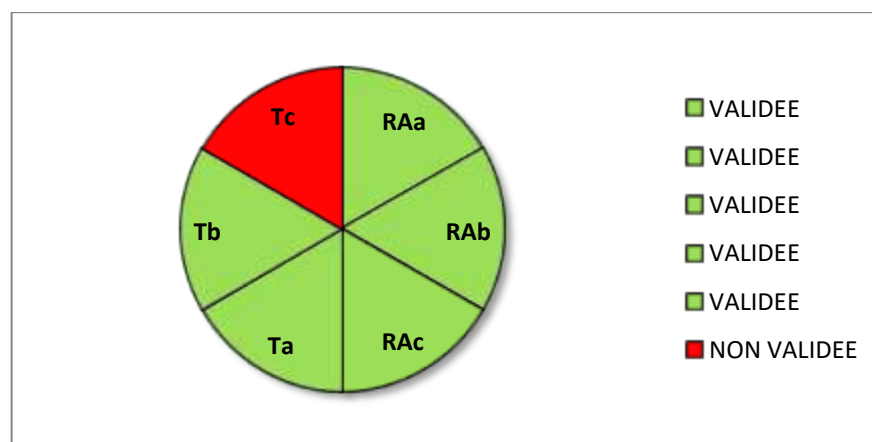
Niveau scolaire	Binômes RA	Binômes T
Bon	RAa	Ta
Moyen	RAb	Tb
Faible	RAc	Tc

Tableau 9 : Identification des différents binômes

### 5.2.1. Réussite dans la réalisation de la tâche

- **Mises en service réussies par les binômes**

Les binômes sont observés sur leurs capacités à faire fonctionner, ou non, la borne d'arcade. Dès la fin de l'expérience, les premiers constats nous renseignent sur la réussite des binômes dans l'aboutissement de cette tâche. Ils nous informent aussi de leurs répartitions.



Graphique 31: Validation de la mise en service de la borne d'arcade par les binômes.

La graphique 31 ci-dessus indique que de façon générale, la majorité des binômes sont allés au terme de la tâche de mise en service de la borne d'arcade. Seuls les élèves faibles du groupe témoin (Tc) n'ont pu confirmer cette mise en service. Notons que le groupe RA performe mieux que le groupe T.

- **Consultation des ressources disponible selon RA et T.**

Les données récoltées dans les tableaux 10 et 11 ci-dessous nous indiquent la récurrence des consultations de la réalité augmentée par les binômes de chaque groupe et de chaque niveau lors de l'activité.

Nous nous attachons à regarder ici les écarts qui émergent entre différents binômes.

	Binôme RAa	Binôme RAb	Binôme RAc	Utilisation moyenne
Assembler carte/borne	2	7	36	15
Câbler carte/périphérique	15	18	42	75
Programmer le logiciel	0	0	0	0
Compléter le document élève	1	4	10	5

*Tableau 10 : Nombre de consultation des ressources virtuelles par binômes RA.*

	Binôme Ta	Binôme Tb	Binôme Tc	Utilisation moyenne
Assembler carte/borne	1	2	9	4
Câbler carte/périphérique	4	6	11	7
Programmer le logiciel	0	0	0	0
Compléter le document élève	0	1	3	2

*Tableau 11 : Nombre de consultation des ressources numériques par binômes T.*

Le premier constat que nous pouvons faire est que les élèves du groupe RA, recourent à la RA quel que soit leur niveau. Le recours moyen de la RA sur l'ensemble des tâches est de 23.75 pendant que le groupe témoin la mobilise 3.25 fois. Autrement dit, les élèves du groupe RA ont recours 7.3 fois plus souvent à la RA que leurs homologues du groupe T. Nous constatons ensuite que suivant les niveaux des élèves, les recours à la RA sont disparates. Regardons par exemple, les bons élèves de chaque groupe en comparaison aux élèves faibles de chaque groupe. Nous pouvons voir que les bons élèves RA mobilisent en moyenne 4.5 fois la RA alors que les élèves faibles RA le font 22 fois. En parallèle, les bons élèves du groupe témoin utilisent 1.25 fois la RA pendant que les faibles le font 23 fois. Ainsi nous pouvons dire que les bons élèves RA utilisent légèrement plus souvent la RA (3.6 fois plus) que les bons élèves du groupe témoin. L'information la plus importante que nous pouvons relever se situe sur les élèves RA et T de niveau faible. Nous constatons ici que le rapport entre les élèves de niveau faible RA et les élèves de niveau faible T n'est que de 1.04. La différence entre ces deux niveaux est

très faible, seulement de 1. Cette information confirme bien que les élèves de niveau faible sont ceux qui mobilisent le plus la RA, quel que soit leur groupe.

## 5.2.2. Régulations des interactions Élève/Tâche/Outil par la RA.

Les fonctions pragmatiques de régulation de la RA sont identifiées au travers des actions conduites par les élèves pour réaliser la tâche qui leur est proposée. C'est-à-dire : mettre en service de la borne d'arcade. Durant cette tâche, leurs sentiments de satisfaction et/ou d'insatisfaction par rapport aux résultats de l'action sont observés. Les questions qu'ils se posent, la recherche de solutions instrumentées ou pas nous permet également d'étayer les interactions Elève/Tâche/Outil.

- **Sentiments de satisfaction exprimés par les élèves.**

Nous cherchons, à travers cette analyse des interactions Elève/Tâche/Outil, à vérifier si la RA influence ou non les sentiments des élèves. Le tableau 12 ci-dessous nous permet de relever les échanges d'élèves ayant manifesté un sentiment de satisfaction à constater l'aboutissement de leur travail à travers le fonctionnement de l'ensemble du système technique.

Fonctions pragmatiques			Echanges des élèves			
Actions	Problèmes	N° Ligne	Code élèves	Grou pe	SATISFACTION	
Mise en service de la borne d'arcade.	Paramétrage logiciel et câblage des périphériques de la borne d'arcade.	9	E1RA a	RA	Ça a l'air bon.	
		10	E2RA a	RA	Ça y est, ça s'ouvre !	
		34	E1RA a	RA	Fiche N°1... c'est bon... fiche N°2, ça correspond... et fiche N°4 c'est bon aussi.	

40	E1RA	RA	<i>C'est bon, ça descend...</i> <i>a</i>
63	E1RA	RA	<i>Ben du coup, c'est bon maintenant.</i> <i>a</i>
65	E1RA	RA	<i>Yess, c'est pareil que sur l'appli...</i> <i>a</i>
72	E1RA	RA	<i>Ça y est tout est nickel !</i> <i>a</i>
79	E1RA	RA	<i>Excellent, c'est trop bon !!</i> <i>a</i> <i>On est trop fort !</i>
80	E2RA	RA	<i>En tout cas, avec l'appli, c'est nickel.</i> <i>a</i>
100	E2RA	RA	<i>Ah OK, C'est bon j'ai compris.</i> <i>b</i>
124	E2RA	RA	<i>Avec l'appli, on voit tout...</i> <i>b</i>
157	E2RA	RA	<i>OK... C'est bon, du coup B4 c'est bon aussi.</i> <i>b</i>
160	E2RA	RA	<i>Ça marche, on a fait notre première console...</i> <i>b</i>
179	E1RA	RA	<i>C'est bon, ça s'éclaire...</i> <i>c</i>
192	E2RA	RA	<i>Ah Ouaii j'adore ce jeu !</i> <i>c</i>
217	E1RA	RA	<i>Ouai, c'est bon !</i> <i>c</i>
221	E1RA	RA	<i>C'est tout bon !</i> <i>c</i>
224	E1RA	RA	<i>C'est bon, il l'a pris en compte.</i> <i>c</i>
230	E2RA	RA	<i>Tout est bon ! Allez, on teste !</i> <i>c</i>
231	E2RA	RA	<i>Ça bouge, parfait !</i> <i>c</i>

237	E1RA	RA	<i>Oui Monsieur, Regardez ! c</i>
282	E2Ta	T	<i>Oui Monsieur, ça va ! On regarde si c'est bon avec l'appli.</i>
294	E1Ta	T	<i>C'est bon Monsieur on a tout vérifié.</i>
301	E2Ta	T	<i>Ah Voilà, ça marche !</i>
312	E2Ta	T	<i>C'est bon !</i>
445	E2Tc	T	<i>Voilà c'est fini ! On a tout paramétré.</i>

Tableau 12 : Relevés des sentiments de satisfaction exprimés par les élèves

La mise en œuvre de la borne d'arcade constitue, lorsqu'elle est validée par le professeur, l'aboutissement de l'activité. A travers cet objectif à atteindre, les élèves font appels aux savoirs mis en jeu et orchestrés par le professeur pour développer leurs savoir-faire. Depuis leur entrée dans l'acte de dévolution et durant tout le déroulement de leur tâche, les élèves réagissent différemment mais dès lors qu'ils atteignent l'objectif fixé, le sentiment de satisfaction domine. L'exemple des échanges cités dans le tableau par le groupe RA en témoigne. Ligne 79 : « *Excellent, c'est trop bon !! On est trop fort !* » ; Ligne 230 : « *Tout est bon ! Allez, on teste !* » Si nous prenons l'exemple de la ligne 72, qui se réfère aux bons élèves du groupe RA, nous constatons que sa satisfaction est assez marquée à travers son exclamation : « *ça y est tout est nickel !* ». Celle-ci est d'autant plus satisfaisante car principalement liée à la correction d'une erreur de câblage sur le bouton « crédit ». Après avoir instrumentalisé la RA pour identifier et corriger son erreur, l'interaction Elève/Tâche/Outil a généré pour le groupe RA un sentiment de satisfaction du travail accompli : Ligne 160 : « *Ça marche, on a fait notre première console...* » ; Ligne 237 : « *Oui Monsieur, Regardez !* ». Quant au binôme moyen du groupe RA, il réalise l'activité sans rencontrer d'obstacle particulier. Ici, le recours à la RA intervient uniquement pour contrôler si le travail de câblage est correctement réalisé. Une fois le contrôle terminé, ce binôme RA ne constate aucune erreur et fait fonctionner

la borne d'arcade. Le groupe RA est plus expressif que le groupe T dans l'expression de sa satisfaction : Ligne 282 : « *Oui Monsieur, ça va ! On regarde si c'est bon avec l'appli.* ». De plus, le fait que le groupe RA dise à la ligne 160 : « *Ça marche, on a fait notre première console !* », laisse penser que sa satisfaction du travail accompli est enrichie par une sensation de découverte. Le fait d'avoir réussi à faire fonctionner la borne d'arcade pour la première fois a engendré chez cet élève RA une réelle satisfaction.

Constat : Le groupe RA éprouve majoritairement un sentiment de satisfaction à finaliser leur tâche. Pour les binômes bons et moyens du groupe RA, capables de réaliser la mise en service de la borne d'arcade sans trop de difficulté, les interactions Elèves/Tâches/Outils génèrent une grande satisfaction de soi et de la maîtrise du système.

- **Sentiments d'insatisfaction exprimés par les élèves.**

En poursuivant l'analyse des interactions Elèves/Tâche/Outils, nous vérifions maintenant si la RA influence ou non les sentiments d'insatisfaction des élèves. Le tableau 13 ci-dessous nous permet de relever les échanges d'élèves ayant manifesté un sentiment d'insatisfaction à constater le non fonctionnement du système technique au terme de l'activité.

Fonctions pragmatiques			Echanges des élèves		
Actions	Problèmes	N° Ligne	Code élèves	Groupe	INSATISFACTION
Mise en service de la borne d'arcade.	Paramétrage logiciel et câblage des périphériques de la borne d'arcade.	26	E1RA a	RA	<i>Mais non, il doit y avoir un problème de paramétrage.</i>
		37	E1RA a	RA	<i>Oh ça bouge, mais ça ne descend pas !</i>
		38	E2RA a	RA	<i>Retournes dans paramètres, On n'a pas du bien configurer le Joystick.</i>

43	E1RA a	RA	<i>Je croyais que c'était que le Joystick qu'il fallait régler.</i>
82	E1RA b	RA	<i>Heuu...Oui Monsieur, mais on n'est pas trop sûr là !</i>
105	E1RA b	RA	<i>Par contre, il y a un souci là !</i>
107	E1RA b	RA	<i>Non sérieux là... il n'y a rien qui bouge sur l'écran !</i>
195	E1RA c	RA	<i>Bon, déjà, je ne peux pas naviguer là... C'est le joystick qui m....</i>
196	E1RA c	RA	<i>Je ne comprends pas pourquoi le joystick ne marche pas !</i>
303	E1Ta	T	<i>Ben Oui, Après j'sais pas si on a besoin de tous les boutons en fait...</i>
337	E2Tb	T	<i>J'ai ouvert ça, mais il n'y a rien dedans...</i>
343	E1Tb	T	<i>J'hésite là !!</i>
386	E2Tb	T	<i>Tu vois, je te l'avais dit !</i>
450	E2Tc	T	<i>Ça bugg !!</i>
451	E1Tc	T	<i>J'suis dégouté !</i>
452	E2Tc	T	<i>Le bouton est cassé...</i>
457	E2Tc	T	<i>Monsieur on a tout fait, y a rien qui marche !</i>
467	E1Tc	T	<i>Après on a voulu tester le jeu, mais les boutons ne marchaient pas !</i>

Tableau 13 : Relevés des sentiments d'insatisfaction exprimés par les élèves.



A l'inverse de l'observation précédente, l'échec de la mise en œuvre de la borne d'arcade constitue, pour les élèves concernés, l'insuccès de l'activité. Malgré leurs aspirations à réaliser la tâche prescrite, les élèves n'ont pas suffisamment fait appels aux savoirs mis en jeux et orchestrés par le professeur. Ainsi, ils n'ont pas su développer leurs savoir-faire. Rapidement, leur entrée dans l'acte de dévolution est polluée par une attitude apathique qui freine l'avancement dans leur tâche. Les élèves réagissent différemment mais dès lors qu'ils se heurtent à un obstacle, le sentiment d'insatisfaction domine. Les exemples des échanges cités dans le tableau par les groupes RA et T, en témoignent : Ligne 107 : « *Non sérieux là... il n'y a rien qui bouge sur l'écran !* » ; Ligne 451 : « *J'suis dégouté !* ». Si nous reprenons le cas du groupe RA et de la ligne 38, qui fait référence au binôme des bons élèves du groupe RA, nous constatons que son insatisfaction est assez marquée : « *Retournes dans paramètres, On n'a pas du bien configurer le Joystick* ». Ici, le manque d'interaction Elève/Tâche/Outil n'a pas permis d'éviter l'erreur et a généré un sentiment d'insatisfaction dans la réalisation de la tâche prescrite. Quant au binôme RA moyen, il réalise l'activité avec quelques hésitations mais sans rencontrer d'obstacle particulièrement bloquant. Ligne 82 : « *Heuu...Oui Monsieur, mais on n'est pas trop sûr là !* ». Quant au binôme faible du groupe T, il témoigne son insatisfaction en supposant une défaillance matérielle. Ligne 452 : « *Le bouton est cassé...* » De plus, le fait que ce binôme T dise : « *Monsieur on a tout fait, y a rien qui marche !* », laisse penser que leur sentiment d'insatisfaction est véhiculé par une sensation de découragement. Pour ce binôme du groupe T, le fait de ne pas avoir réussi à déclencher les interactions Elève/Tâche/Outil a engendré le dysfonctionnement de la borne d'arcade à l'issue de l'activité. Et donc une réelle insatisfaction.

Constat : Le groupe T éprouve ce sentiment d'insatisfaction. Même si chez les binômes bons et moyens du groupe T, capables de réaliser la mise en service de la borne d'arcade, les interactions Elèves/Tâches/Outils ne génèrent pas de grande insatisfaction démesurée, il n'en est pas de même pour le binôme faible du groupe T. Ces élèves T sont, en effet, les plus à même d'exprimer un profond sentiment d'insatisfaction voir même de déception.

- **Interrogation de l'élève face à leurs insatisfactions.**

Nous nous intéressons maintenant aux interactions Elèves/Tâche/Outils lorsque les élèves rencontrent des difficultés à mettre en service la borne d'arcade. Pour cela, nous mettons en avant les échanges d'élèves qui s'interrogent sur leurs incapacités à réaliser la tâche de mise en service de la borne d'arcade. Le tableau N°14 permet de visualiser les principaux échanges d'élèves relevés en fonction de leurs actions et des problèmes qu'ils rencontrent.

Fonctions pragmatiques			Echanges des élèves		
Actions	Problèmes	N°	Code	Grou	INTEROGATIONS
		Ligne	élèves	pe	
Mise en service de la borne d'arcade.	Paramétrage logiciel et câblage des périphériques de la borne d'arcade.	3	E1RA a	RA	Pourquoi ?
		6	E1RA a	RA	Et les boutons ?
		19	E1RA a	RA	Mais t'es sûr qu'il faut le faire avant que le joystick soit branché ?
		60	E2RA a	RA	T'es bien sur le bouton Start ?
		64	E2RA a	RA	B1 c'est bon ?
		66	E2RA a	RA	B2, C'est bon ?
		68	E2RA a	RA	B3, c'est bon ?
		75	E2RA a	RA	Il n'y avait que le bouton « crédit » qui n'était pas bon... c'était fait exprès ?
		84	E2RA b	RA	Mais Monsieur, ça craint pas ? on risque pas de la faire

---

<i>bugger ?</i>			
88	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>T'es sûr de toi ?</i>
	<i>b</i>		
95	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>On est d'accord Monsieur, Faut régler les commandes ?</i>
	<i>b</i>		
98	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>On peut s'aider de la tablette ?</i>
	<i>b</i>		
126	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>Et sur l'appli, c'est pareil avec ce que l'on a là ?</i>
	<i>b</i>		
129	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>La fonction... Comme ce qu'on a vu dans les chaines d'infos et d'énergies ?</i>
	<i>b</i>		
136	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>Alors le joystick... le « Up » va là, c'est bon ?</i>
	<i>b</i>		
149	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>Alors il va où ?</i>
	<i>b</i>		
159	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>On remplit toutes les cases ?</i>
	<i>b</i>		
164	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>Faut allumer la borne d'arcade ?</i>
	<i>c</i>		
168	<i>E1RA</i>	<i>R</i>	<i>Déjà, faut voir si tout est branché ?</i>
	<i>c</i>		
170	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>T'as compris ?</i>
	<i>c</i>		
173	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>Il est où l'interrupteur ?</i>
	<i>C</i>		
177	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>Tu l'as branché avec l'USB ? c'est ça ?</i>
	<i>c</i>		
180	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>Et Maintenant ?</i>
	<i>c</i>		
183	<i>E1RA</i>	<i>RA</i>	<i>Tu veux faire quoi toi ?</i>
	<i>c</i>		
186	<i>E2RA</i>	<i>RA</i>	<i>T'es sûr ?</i>
	<i>c</i>		

---

189	E2RA c	RA	Mais comment on sait ce qu'il faut régler ?
200	E2RA c	RA	Monsieur, il est Plug ou Play ce joystick ?
204	E1RA c	RA	Et je fais comment ?
210	E2RA c	RA	Et avec la tablette, on peut pas voir ?
214	E2RA c	RA	On commence avec le joystick OK ?
240	E2Ta	T	T'es OK avec ça ?
247	E2Ta	T	On va paramétrer le joystick ?
253	E2Ta	T	Ça veut dire quoi « Hold » ?
255	E2Ta	T	T'a bien mis « down » pour en bas ?
263	E2Ta	T	Mais c'est juste ou pas ?
270	E2Ta	T	Heuuu... Oui la tablette, c'est ça ?
273 E1NR Aa	E1Ta	T	Attends, du coup, c'est cette tablette qu'il faut prendre ?
276	E2Ta	T	Tu le fais ou je le fais ?
285	E1Ta	T	T'as vu pour toutes les directions ?
302	E2Ta	T	Faut faire toutes les directions du Joystick et des boutons ?
316	E1Tb	T	Monsieur on vous fait voir quand c'est fait ?
349	E1Tb	T	Monsieur on peut rien écrire, c'est normal ?
365	E1Tb	T	C'est quoi déjà, en

<i>anglais ?</i>			
387	<i>E1Tb</i>	<i>T</i>	<i>Qu'est-ce que tu m'as dit toi ?</i>
389	<i>E2Tb</i>	<i>T</i>	<i>Ben faut voir avec la réalité augmentée si tout est bien connecté ?</i>
402	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>Après c'est où ?</i>
413	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>Dans la première ligne, c'est quoi, ça veut dire quoi ?</i>
416	<i>E2Tc</i>	<i>T</i>	<i>En fait pour mettre en marche la borne faut vérifier si tout est OK à chaque étape, c'est ça ?</i>
430	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>On essaye ?</i>
435	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>C'est lequel le premier ?</i>
449	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>Ne me dit pas que ça marche pas... fais voir ?</i>
455	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>Monsieur, vous pouvez venir ?</i>
459	<i>E1Tc</i>	<i>T</i>	<i>C'est possible que ce soit la borne ?</i>

*Tableau 14 : Relevés des interrogations des élèves*

Les exemples des échanges cités dans le tableau par le groupe RA et le groupe T (Ligne 60 : « *T'es bien sur le bouton Start ?* » ; Ligne 416 : « *En fait pour mettre en marche la borne faut vérifier si tout est OK à chaque étape, c'est ça ?* »), témoignent de ce sentiment d'étonnement éprouvé par les élèves. Si nous reprenons la ligne 19 : « *Mais t'es sûr qu'il faut le faire avant que le joystick soit branché ?* » (Qui fait donc référence au binôme bon du groupe RA), nous constatons qu'il s'interroge sur un point précis de l'opérationnalisation de la borne d'arcade. Il arrive à circonscrire le problème sans toutefois le résoudre. En effet, il identifie que l'incohérence se situe au niveau du

paramétrage du système mais il ne parvient pas à trouver la bonne solution. Ses différentes tentatives l'interrogent et par déductions successives parvient finalement à répondre aux objectifs de l'activité. L'utilisation de la RA n'étant pas plébiscitée par le binôme pour tenter de débloquer la situation. L'interaction Elève/Tâche/Outils a généré pour ce binôme des interrogations que l'on pourrait qualifier de « constructives ». Le binôme a plus éprouvé un sentiment de soulagement directement lié aux interrogations auxquelles il était confronté. Quant au binôme faible du groupe T, il réalise l'activité avec beaucoup trop d'hésitations dans l'itération des opérations de mise en œuvre (Ligne 416 : « *En fait pour mettre en marche la borne faut vérifier si tout est OK à chaque étape, c'est ça ?* » ; Ligne 435 : « *C'est lequel le premier ?* »). Il s'interroge sur la défaillance des périphériques remettant en cause leur fonctionnement plutôt que leur branchement. Ligne : 459 : « *C'est possible que ce soit la borne ?* ») Par ce type d'interrogations, il s'éloigne du problème réel et passe à côté de la solution.

Constat : Le recours à la RA intervient tardivement pour répondre aux dernières interrogations du groupe RA. Le travail de câblage et de paramétrage ne génère que très peu d'interactions Elèves/Tache/Outils. Il n'éprouve pas le besoin de s'appuyer massivement sur la RA pour avancer de façon chronologique dans sa tâche. Une fois la tâche terminée, le groupe RA constate que la borne d'arcade fonctionne et l'utilise. Ce groupe RA apparaît pour le moins hésitant tout au long de l'accomplissement de la tâche. Leur objectif semble être principalement focalisé sur l'accès à la fonction principale de la borne d'arcade plus qu'à la compréhension de son fonctionnement. Par comparaison, les élèves du groupe T, sont très dispersés dans leurs démarches de mise en œuvre. La RA qui a su recentrer la problématique en répondant aux interrogations du groupe RA, n'est pas assez mobilisée par les élèves du groupe T. Nous pensons que pour le binôme faible du groupe T, les interactions Elèves / Tache/Outils sont inexistantes et expliquent leur échec dans la mise en service de la borne d'arcade.

- **Recherche de solutions instrumentées.**

Dans cette partie, nous nous attachons à observer si la RA permet aux élèves de mieux concevoir les interactions pouvant exister entre les différentes fonctions de la borne

d'arcade. Dans un premier temps nous constatons à travers les échanges verbaux des élèves que certains signes permettent de penser que la RA agit comme un instrument de régulation et de contrôle de l'action de l'élève sur le système. Les échanges répertoriés dans le tableau N° 15, ci-dessous, en témoignent.

Fonctions pragmatiques			Echanges des élèves		
Actions	Problèmes	N° Ligne	Code élèves	Gr oupe	RECHERCHE DE SOLUTION
Mise en service de la borne d'arcade.	Paramétrage logiciel et câblage des périphériques de la borne d'arcade.	37	E1RAa	RA	<i>Oh, ça bouge... Mais Ça descend pas ... !</i>
		38	E2RAa	RA	<i>Retournes dans « Paramètres », On a pas du bien configuré le joystick... »</i>
		39	E1RAa		<i>OK, je refais la manip pour la position « vers le bas »</i>
		40	E1RAa	RA	<i>C'est bon ça descend !</i>
		202	E1RAc	RA	<i>Y a rien qui bouge...</i>
		203	E2RAc	RA	<i>Normal t'as pas réglé le joystick</i>
		205	E1RAc	RA	<i>Le prof a dit que c'était dans les paramètres de « Retropie »...</i>
		213	E2RAc	RA	<i>Bon ben ce qu'on va faire c'est voir avec la tablette si tout est branché comme il faut...</i>

239	E2RAc	RA	<i>Oui, on a contrôlé avec l'appli et puis après comme ça marchait sur l'écran, voilà quoi.</i>
259	E2Ta	T	<i>Alors, là on va faire pour le joystick. Faut dire quand ça monte et tout et tout...</i>
265	E2Ta	T	<i>Ça veut dire qu'il faut vérifier tous les composants</i>
271	E1Ta	T	<i>Ah Ouaii, c'est le truc avec la réalité augmentée qu'il faut utiliser..</i>
278	E2Ta	T	<i>Met la tablette devant la borne... Comme ça là...</i>
279	E1Ta	T	<i>Ah, ça y est, regardes le câblage des boutons...</i>
291	E1Ta	T	<i>Tiens, regardes si c'est bon pour les autres boutons...</i>
344	E1Tb	T	<i>Faut pouvoir associer les trucs</i>
354	E1Tb	T	<i>On commence par le joystick</i>
355	E2Tb	T	<i>Oui, fait la droite en premier, après on fait la gauche, haut et bas...</i>
358	E2Tb	T	<i>Ben non... si c'est pas cohérent et qu'on a tout réglé, faudra tout refaire...</i>
403	E1Tc	T	<i>Faut trouver le bon endroit...</i>
407	E1Tc	T	<i>Ça doit être lui.</i>
411	E1Tc	T	<i>C'est ça qu'il faut enregistrer.</i>
418	E1Tc	T	<i>Donc la première ligne,</i>



			<i>c'est le joystick</i>
<i>420</i>	<i>EITc</i>	<i>T</i>	<i>Mais attends, y a 4 trucs à régler et on a qu'une ligne...</i>

Tableau 15 : Recherche de solutions incluant la RA

Prenons le cas du groupe RA. Lorsqu'il s'exprime en disant : Ligne 37 : « *Oh, ça bouge... Mais Ça descend pas ... !* », il se positionne sur la fonction « Restituer ». Il a du mal à maîtriser les interactions qui se jouent entre le moment où les informations sont acquises puis restituées pour répondre correctement aux ordres initiés par le jouer. Le binôme RA confirme la zone de défaillance en citant : Ligne 38 : « *Retourne dans « Paramètres », On n'a pas du bien configurer le joystick...* ». Le binôme RA identifie globalement la zone de disfonctionnement de leur solution mais ce n'est qu'après l'intervention du professeur, qui agit ici en tant que « conseillé », que le binôme RA va s'approprier l'outil numérique pour tenter de surmonter cet obstacle. Ce n'est qu'à ce moment précis que les interactions Elève/Tache/Outils entrent suffisamment en jeu pour que le binôme RA puisse poursuivre l'activité. En effet dès lors que le professeur dit : « *Aidez-vous des outils que vous avez à disposition* », le binôme s'empare de la RA et, à travers l'écran de la tablette, vérifie les parties opératives liées aux fonctions « Acquérir » et « Restituer. De cette façon, et grâce à l'apport des informations embarquées par la RA, le binôme RA constate que le câblage des boutons n'est pas cohérent. Après rectification, le binôme RA réitère sa procédure opérative (Ligne 39 : « *OK, je refais la manip pour la position « vers le bas »* ») qui cette fois est concluante (Ligne 40 : « *C'est bon ça descend !* »). Nous pouvons aussi relever dans le groupe RA que le manque d'interactions suscite parfois des incompréhensions. Par exemple, la zone structurelle de la borne d'arcade où se concentrent les flux d'informations échangés entre la fonction « acquérir » et la fonction « restituer » interroge une majorité de binômes et plus particulièrement les binômes faibles RA et T. Par exemple, dans le groupe RA, le binôme faible constate le problème de restitution (Ligne 202 : « *Y a rien qui bouge...* »). Le groupe RA fait également le lien entre l'action et la réaction (Ligne 203 : « *Normal t'as pas réglé le joystick* »). C'est-à-dire, de façon fonctionnelle, entre

l'acquisition et le traitement. Malgré cette identification de la panne potentielle, le binôme faible du groupe RA n'est pas en mesure d'apporter une réponse. Au contraire, il s'interroge sur la façon de faire (Ligne 204 : *Et je fais comment ?*). En s'interrogeant de la sorte ce binôme RA fait appel à ses savoirs antérieurs et se remémore les connaissances acquises (Ligne 205 : « *Le prof a dit que c'était dans les paramètres de « Retropie... »* »). Par ce questionnement, le binôme RA débloque la situation en s'emparant de l'outil numérique (Ligne 213 : « *Bon ben ce qu'on va faire c'est voir avec la tablette si tout est branché comme il faut... »* »). En instrumentalisant la RA pour répondre à une action correctrice, les élèves de ce binôme sont parvenus à mieux comprendre les flux d'informations circulant entre « Acquérir » « Traiter » et « Communiquer ». Au terme de cette activité ce binôme RA déclare au professeur (Ligne 239 : *Oui, on a contrôlé avec l'appli et puis après comme ça marchait sur l'écran, voilà quoi.*).

Lors de nos observations, nous avons vu que le problème principal rencontré par les binômes RA et T se situait au niveau d'un périphérique bien précis, celui du joystick. Cet élément de la borne d'arcade retranscrit les ordres du joueur pour déplacer un élément affiché sur l'écran. Il transforme une grandeur physique analogique (La force et la direction) en une grandeur électrique puis numérique. A ce stade le joystick permet d'acquérir le déplacement souhaité par le joueur. Cette approche est perçue différemment selon les élèves. En effet, nous constatons une différence entre le groupe T et le groupe RA. Par exemple, le binôme faible du groupe T, cible le joystick comme l'élément à problème (Ligne 473 : « *C'est le joystick qui va pas... »* ; Ligne 475 : « *Ce n'est pas comme ce qu'on a vu au début ... »* »). Mais après l'intervention du professeur pour induire la solution (Pnc : « *Que dois-tu faire dans ta procédure et que tu n'as pas fait ?* ») Le binôme T propose une solution qui contourne le problème plutôt que de le résoudre (Ligne 477 : « *Heuuu... changer le joystick ?* »). Ainsi, il ne s'interroge pas sur les interactions qui lient le joystick avec le reste du système technique. Seulement en toute fin de l'activité le deuxième élève du binôme suggère une piste de réflexion sans toutefois la mettre en œuvre (Ligne 478 : *Non, je ne sais pas... Peut-être qu'il est débranché...*). Nous rappelons ici que ce binôme est le seul à ne pas être arrivé à finaliser dans les temps la mise en service de la borne d'arcade et qu'il n'a pas eu recours à la RA tout au long de l'activité. Par comparaison avec les élèves de niveau faible du groupe RA,

l'approche est quasiment la même dès lors qu'il est confronté à la problématique du joystick. Lorsqu'ils tentent de mettre en œuvre la borne, le binôme RA déclare : (Ligne 196 : « *Je ne comprends pas pourquoi le joystick marche pas....* » ; Ligne : 198 : « *Mais c'est ce qu'on a fait, le joystick est bien connecté à la carte électronique.* »). Là aussi le professeur intervient pour induire la solution (Pc : *Est-ce suffisant ?*) ce qui provoque chez les élèves, une tentative d'approche systémique plus cohérente (Ligne 201 : « *Heuu... on doit pouvoir le régler alors...* »). Ce binôme va même à s'interroger sur l'instrumentalisation de la réalité augmentée en citant : (Ligne 210 : *Et avec la tablette, on peut pas voir ?* »). C'est à ce moment précis que ce binôme RA entame le paramétrage méthodique du joystick en contrôlant chacune des positions qu'il peut offrir. (Ligne 216 : « *Alors la partie 'UP' correspond à ce numéro...* » ; Ligne 217 : « *Oui c'est bon.* » ; Ligne 218 : « *Down, ça va ici...* »). La différence notable entre les élèves faibles des groupes T et RA réside dans l'utilisation de la RA durant l'activité et donc des interactions Elève/Tache/Outils. Pour ces élèves de niveau similaire, l'appropriation de la réalité augmentée a engendré chez ceux du groupe RA l'artéfact nécessaire pour finaliser la mise en service de la borne d'arcade. Ceux du groupe T ne l'ayant pas mobilisé sont aussi ceux qui n'ont pas finalisé la mise en service.

Dès la mise en service de la borne d'arcade, la procédure inclue une opération bien particulière qui consiste à attribuer pour chaque périphérique, un port de communication. C'est-à-dire qu'il faut déclarer sur quelle entrée de la carte Raspberry Pi, est relié tel ou tel périphérique. Dans nos observations, les périphériques liés aux fonctions d'acquisition représentent les étapes les plus cruciales car elles impliquent de la part des binômes une vision systémique d'ensemble de leur borne d'arcade. En effet, ils doivent comprendre ce que chacun des périphériques doit pouvoir générer et comment vont circuler les informations à travers le système technique. A ce stade, nous observons dans les différents binômes RA et T, des interactions Elèves/Taches/Outils propres à l'opération de paramétrage de la borne d'arcade. Prenons par exemple le groupe RA et le binôme bon qui le constitue. Les interactions entre la structure du système (Ligne 24 : « *Oh, mais il part pas à gauche...* ») et sa gestion informatique sont correctement identifiées, sans difficulté. (Ligne 26 : « *Mais non, il doit y avoir un problème de paramétrage...* »). Nous notons également que ce binôme associe le

problème identifié directement sur l'écran est à l'origine un problème structurel (Ligne 25 : *Et voilà, t'as tout cassé...*). Ce binôme instrumentalise la RA (Ligne 58 : « *Attends, je refais sur l'appli...* »), et témoigne de l'interaction Elève/Tâche/Outil. Ce qui génère chez eux une progression cohérente et structurée dans l'opérationnalisation du système (Ligne 59 : « *Alors, sur l'appli, ils disent que ce fil va là... et l'autre... là...* »). Dans le même temps, le binôme moyen du groupe RA confirme cette tendance. Par exemple lorsque qu'il détaille à voix haute chaque opération de la procédure de mise en service. (Ligne 111 : « *Aller dans paramètres...* » ; Ligne 112 : « *Appuyer sur le joystick...* » ; Ligne 113 : « *Voilà c'est paramétré...* »). Nous notons pour ce cas précis, l'effet de surprise ressenti par ce binôme RA qui au moment de l'essai (Ligne 114 : « *Essaye pour voir....* »), se fait surprendre par le musique de présentation générée par la borne d'arcade, lors de son allumage. (Ligne 115 : « *Oh purée... c'est quoi c'te musique...ça m'a fait peur...* »). Cet artéfact sonore contribue au processus d'apprentissage, confirmant à ce binôme que les opérations précédentes sont correctes. Ces deux canaux, à la fois visuel (l'écran) et auditif (la musique), vont dans le sens de Mayer (2009). En effet, dans sa théorie, il pense que ces deux canaux communiquent l'un avec l'autre pendant le traitement de l'information. Ce qui est le cas ici puisque dans la foulée, et sur demande du professeur (Ligne 128 : « *Tiens... petite question... Pouvez-vous me donner la fonction réalisée par le joystick et les boutons dans ce système ?* »), le binôme moyen du groupe RA mobilise l'outil numérique et identifie clairement la fonction d'acquisition réalisée par les périphériques précédemment ciblés par le professeur. (Ligne 131 : « *Ah ben c'est la fonction Acquérir, Monsieur.* »). Les interactions Elèves/Tâche/Outils se sont révélées efficace pour ce binôme RA. Ensuite, le binôme confirme définitivement le bon fonctionnement de la borne d'arcade. (Ligne 160 : « *Ça marche on a fait notre première console...* »).

## **6. La RA, un instrument utile pour apprendre les systèmes en technologie**

Sans l'apport de l'application de réalité augmentée, les élèves activent leurs aptitudes de mémorisation des composants sans toutefois parvenir à retenir correctement les interactions qui les lient. Nous pensons qu'à ce niveau d'étude, les systèmes techniques sont perçus comme étant des ensembles de composants sans trop comprendre l'intérêt de les faire communiquer entre eux. Les traitements de données permettent de mettre en avant les liens qui se créent lorsque que les élèves ont recours à l'utilisation de la réalité augmentée. C'est le cas dans notre recherche dès leur appropriation de la consigne, au moment où ils prennent en main l'application de réalité augmentée pour modéliser la borne d'arcade. C'est à ce moment précis que les élèves ont pris conscience des interactions, parfois complexes, qui unissent les composants entre eux. Dans cette phase du processus de dévolution, les élèves orientent leurs réflexions pour répondre à la consigne donnée. Ainsi, ils délimitent les facteurs essentiels à la résolution du problème posé. Ce mécanisme laisse penser qu'il est lié à l'introduction de la réalité augmentée en tant qu'outil numérique car il ne semble pas opérer auprès des élèves s'étant affranchis de l'outil.

Le cadre théorique définit en amont de cette recherche nous a permis de prendre connaissance du processus d'enseignement apprentissage et de ses rouages parfois complexes. La présence d'artefacts dans ce processus est souvent liée à l'introduction d'instruments au moment où les élèves se dévolent dans la tâche. La réalité augmentée en tant qu'outil numérique est instrumentalisée par les élèves qui l'utilisent. Mais en détaillant ce constat, nous pouvons affirmer que cette instrumentalisation de l'application de réalité augmentée concerne majoritairement les élèves de niveau scolaire moyen voir faible. Ces mêmes élèves n'ont pas hésité à s'appuyer sur l'application de réalité augmentée pour produire la modélisation de la borne d'arcade en

tendant de mentionner les interactions fonctionnelles des composants entre eux. La sensibilisation des élèves à l'utilisation de cette application de réalité augmentée reste succincte. Le manque de pratique relatif à cet outil semble avoir généré un impact sur son instrumentalisation. Toutefois, nous avons constaté lors de l'activité de mise en service de la borne d'arcade que cette instrumentalisation par les élèves, avait été plus conséquente. La démarche de résolution de problème étant le cœur de cette activité de mise en service, nous pensons que sans l'appropriation de l'outil numérique, le système technique est difficilement modélisable par les élèves, sous son aspect fonctionnel.

## **6.1. Limites de la recherche**

Nous avons vu à travers chacune des expériences précédentes, que l'ensemble des moyens didactiques mis en œuvre par l'enseignant a pour objectif de faire grandir la connaissance des élèves. Les différents outils et concepts sont mobilisés pour accompagner les élèves tout au long du processus d'enseignement-apprentissage. Cependant, nous avons pu constater sur le terrain que l'utilisation de l'application de réalité augmentée, n'a pas permis à tous les élèves de l'échantillon d'atteindre la totalité des compétences visées par l'enseignant. Toutefois, lorsque nous croisons les données traitées dans chaque expérimentation mettant en œuvre l'application de réalité augmentée, nous pouvons dégager certaines interactions. Il semblerait en effet que cet outil numérique soit particulièrement bénéfique lorsqu'il est utilisé par des élèves apparentés dans nos expériences, à un niveau passable voir insuffisant. Au niveau purement descriptif, il semblerait que la réalité augmentée génère un apport dans les compétences des élèves. En effet, nous avons pu constater une évolution dans leurs modélisations passant progressivement d'une vision structurelle à une vision fonctionnelle. L'association de la consigne avec l'application de réalité augmentée serait à l'origine d'une prise de conscience des interactions agissant entre les différents composants du système technique. Ainsi nous allons dans le sens du programme officiel de l'enseignement technologique transversal STI2D qui incitent, par la démarche de résolution de problèmes, à placer l'élève dans un rôle de concepteur/réalisateur. Enfin, nous avons pu constater que le temps alloué à la prise en main de cette application de réalité augmentée n'a pas été suffisant. Du moins, la sensibilisation à son utilisation n'est

pas suffisante pour rendre instinctive sa mise en œuvre. Une réelle formation est donc nécessaire pour permettre à tous les élèves de transformer leurs habitudes de modélisation grâce à la multi modalité offerte par la réalité augmentée.

La figure 7 ci-dessous, retrace le parcours de la réalité augmentée depuis son origine industrielle jusqu'à son exploitation en laboratoire d'enseignement technologie transversal. Cette synthèse schématisée retrace séquentiellement les étapes empruntées par la réalité augmentée jusqu'à son utilisation par les élèves.

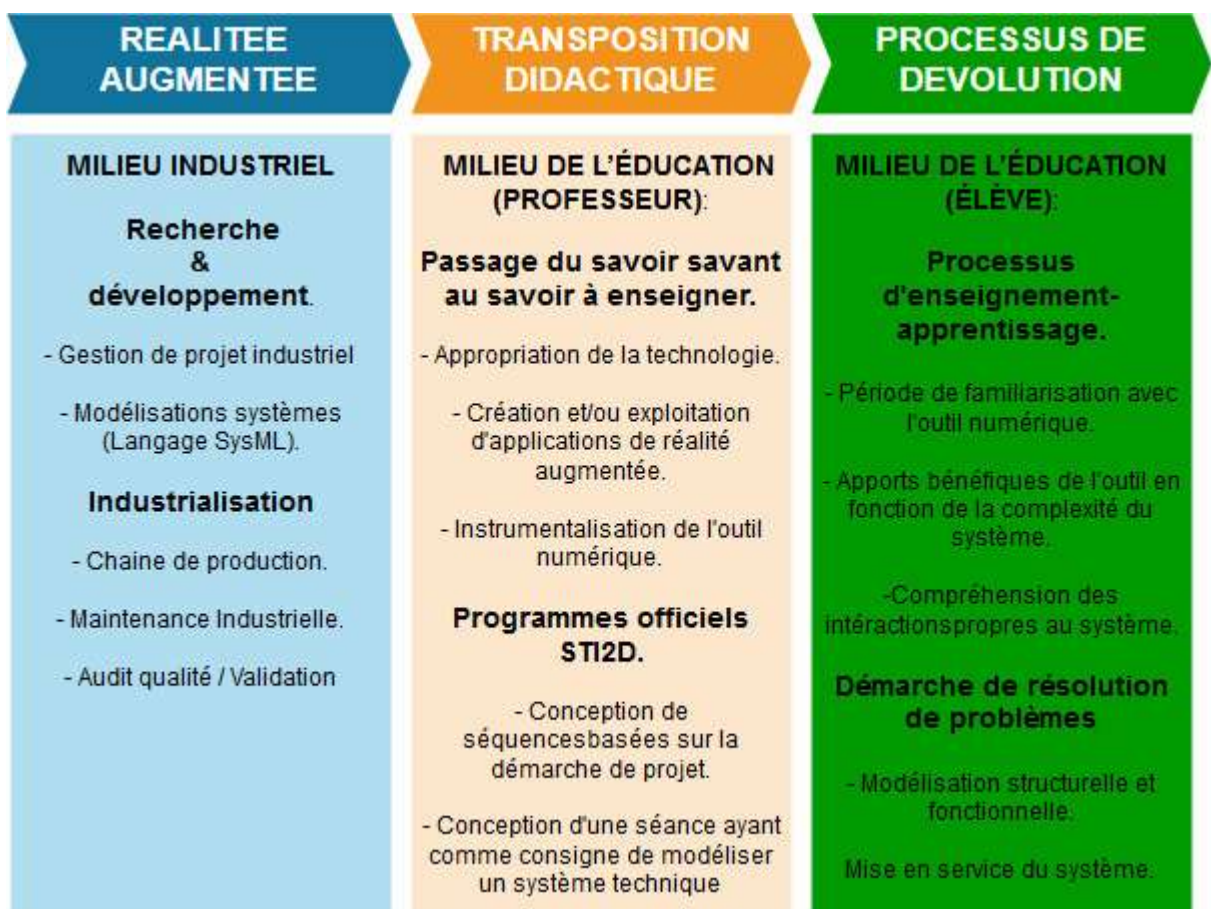


Figure 7: Continuum didactique de la RA

Comme nous l'avons vu dans l'introduction de ce travail de recherche, un nombre croissant d'acteurs de l'enseignement s'est emparé de la technologie de la réalité augmentée. Bien que son utilisation dans le corps enseignant ne soit pas encore très répandue, elle se développe en partie grâce à son aspect multimodal. Plus précisément,

dans l'enseignement technologique, elle semble répondre à un besoin lié à la représentation et au fonctionnement de systèmes techniques. Son utilisation par les élèves semble être efficace pour ceux que nous avons apparentés dans nos études à des niveaux scolaires passables et insuffisants. Ces élèves semblent trouver à travers elle un apport non négligeable pour répondre à une consigne de résolution de problème. Toutefois, nos expérimentations se sont réalisées dans un laboratoire d'enseignement technologique transversal spécifique au lycée du Rempart. Nous devons aussi tenir compte de la séquence dans laquelle s'inscrivent nos expérimentations. Ce qui ouvre cette recherche à d'autres approches pouvant étayer les données traitées et exploitées lors de ce travail.

Les données récoltées et analysées tout au long du protocole expérimental ont permis de traiter différents aspects de processus d'enseignement apprentissage. Toutefois, d'autres recherches peuvent venir compléter certains points de ce plan méthodologique. Il serait, par exemple, judicieux de confirmer ces données en menant ces mêmes expériences dans un lycée différent voir un laboratoire de recherche dédié aux études cognitives. Une étude quantitative approfondie menée auprès des professeurs, pourrait également venir étoffer notre exploration du processus d'enseignement apprentissage. Cette vision relative à l'utilisation de la réalité augmentée par le professeur n'a pas été abordée dans cette recherche et constitue une étape prioritaire dans la continuité de ce travail. Notre volonté, a été de s'attacher à mettre en avant les interactions entre savoir et savoir-faire, générées par l'introduction de la réalité augmentée dans le processus d'enseignement apprentissage. Ainsi, nous avons observé le moment précis où l'élève s'empare d'une consigne de modélisation de systèmes techniques. Des explorations plus détaillées, issues des expériences réalisées dans le laboratoire, peuvent certainement être menées afin de détecter d'autres mécanismes mis en place par les élèves. La détection de ces possibles mécanismes aurait pour objectifs d'améliorer les enseignements à dispenser lors de l'instrumentalisation de la réalité augmentée. De même l'aspect extra-scolaire n'a pas été étudié dans ces travaux. La connaissance de l'utilisation de la réalité augmentée par les professeurs et les élèves en dehors du contexte scolaire peut nous apporter certaines informations exploitables pour continuer



cette recherche. Dans la continuité de nos travaux, les liaisons créées par la réalité augmentée entre le professeur et les élèves n'ont pas été explorées. Il s'agit là d'une réelle ouverture de recherche. En effet, même si nous les avons quelque peu perçues, ces liaisons ont certainement des effets mesurables sur l'activité des élèves et constituent là une base pour mieux appréhender les processus d'enseignement apprentissage mis en jeu. Bien sûr, cela implique l'introduction de variables différentes de celles présentes dans notre recherche et dont il faudra tenir compte.

De façon générale, les effets induits par la réalité augmentée dans le processus de dévolution n'ont, à ce jour, pas, voire très peu été étudiés. Les travaux menés dans cette recherche ont tenté d'ouvrir cette voie et restent perfectibles. La sensibilisation à l'utilisation d'une application de réalité augmentée par les élèves nous a permis d'observer, dans nos résultats, la mise en place de structures cognitives. La duplication de nos expériences faisant intervenir des outils numériques différents mais toujours basés sur la technologie de la réalité augmentée, tels que des casques, pourrait permettre de confirmer ou d'infirmer les directions prises par nos recherches.

## **6.2. Conclusion et perspectives**

Nous avons vu, au fil des expérimentations, que l'application de réalité augmentée a engendré des résultats reflétant les performances propres à chaque catégorie d'élèves. Ces performances sont abordées dans notre cadre théorique à travers les notions d'efficacité. Nous pensons désormais que l'apport de la réalité augmentée dès leur entrée dans le processus de dévolution a nécessité une mobilisation conséquente des moyens mis en œuvre pour atteindre les objectifs fixés dans la consigne. En effet, son utilisation reste hétérogène en fonction des différents profils d'élèves. Par exemple, lorsque nous avons observé les élèves sensibilisés à l'utilisation de la réalité, nous avons relevé un taux de réinvestissement de cette technologie légèrement supérieur à 50%. Si l'on rajoute à cela les moyens nécessaires à la mise au point d'applications par le corps professoral, il nous semble opportun de penser que la réalité augmentée est à l'heure d'aujourd'hui un outil numérique efficace. Les résultats obtenus dans nos expériences témoignent du fait que cette technologie a globalement permis de générer

une modélisation de la borne d'arcade plus efficace. L'utilisation de la réalité augmentée semble avoir joué un rôle sur la structuration du savoir des élèves et en consolidant leur savoir-faire.

Nous supposons, à travers notre hypothèse de départ, que la réalité augmentée pouvait être perçue comme un outil numérique amenant l'élève à mieux s'approprier un système technique complexe, en vue de sa modélisation. A première vue, nous pouvons dire que la réalité augmentée possède les arguments pour satisfaire cette hypothèse. Mais il faut relativiser les effets inhérents à l'utilisation de cette technologie dans le processus d'enseignement apprentissage. En effet, lors de son introduction dès la diffusion de la consigne, les élèves qui l'utilisent le font principalement pour la multi modalité qu'elle offre à travers son interactivité. Les catégories d'élèves, apparentés dans notre recherche, à un niveau scolaire insuffisant sont ceux qui en tirent le plus de bénéfices. Même si ce n'est pas une généralité, certains de ces mêmes élèves ont su réinvestir leurs compétences. De plus, la sensibilisation à l'utilisation de la réalité augmentée n'est pas apparue suffisante pour permettre une utilisation homogène de cette technologie par tous les élèves. Ne garantissant pas une acquisition durable des savoirs mis en jeu. De façon générale, que ce soit à titre privé pour réparer un objet technique ou à titre professionnel pour concevoir un système technique, des modélisations de celui-ci sont nécessaires pour mieux comprendre son fonctionnement. Dans le cadre scolaire, les résultats que nous avons obtenus nous montrent que la seule manipulation du système technique n'est pas suffisante pour établir la modélisation de son fonctionnement. L'assemblage ou le désassemblage des sous-systèmes d'un objet technique ne permet pas de garantir la bonne compréhension de son fonctionnement. Les flux d'informations pouvant apparaître entre les différentes parties du système peuvent ne pas être assimilés par les élèves.

Ainsi, l'instrumentalisation de la réalité augmentée pour modéliser un système technique aussi complexe qu'il soit, constitue un apprentissage spécifique. De nos jours, ce type d'apprentissage faisant intervenir cette technologie reste marginal à l'échelle de l'éducation nationale. Conformément aux programmes officiels de STI2D et à la mise en place de la réforme du baccalauréat technologique, la formation des prochaines générations d'élèves devra être rompue à conceptualiser des systèmes de plus en plus

complexes de façon durable et donc responsable. Pour cela, des formations spécifiques sur l'utilisation de la réalité augmentée doivent être dispensées au niveau national. De façon générale, la démocratisation de cette technologie laisse augurer un accroissement de l'efficacité dans les apprentissages techniques et plus particulièrement dans les modélisations de systèmes complexes.

Ce travail de recherche effectué auprès d'élèves mis en situation de démarche de projet s'implémente aux travaux réalisés par nos pairs dans le domaine des sciences de l'éducation et plus précisément dans celui de l'apprentissage technologique. Nous avons mis en avant le travail didactique nécessaire à la transmission du savoir industriel vers le savoir à enseigner. Les perspectives d'ouvertures sont étroitement liées aux types d'objectifs visés par les apprentissages. Le lancement des nouveaux cursus IT / I2D / 2I2D qui succéderont au cursus STI2D sur lequel cette étude est fondée, enteront en vigueur dès la rentrée de septembre 2019 pour les classes de premières technologiques. Ce cursus ira encore plus loin dans la compréhension transversale relative aux fonctionnements des systèmes techniques. De ce fait la technologie en France conforte sa position de discipline scientifique se rapprochant encore un peu plus du concept américain des STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). L'éducation technologique en tant que science véhicule des savoirs étroitement liés aux différents milieux industriels. Le rapprochement de ces deux mondes doit favoriser l'utilisation d'outils communs pour permettre à cette discipline contemporaine, de se focaliser sur l'efficience de ses apprentissages.

# Bibliographie

Abdallah, F. (2009). *Meta-modélisation pour décrire et instrumenter une situation d'apprentissage de pédagogie par projet collectif*. Thèse de doctorat en informatique. Le Mans : Université du Maine, 2009.

Akrich, M. (1987). *Comment décrire les objets techniques ?* Techniques & culture. 49-64.

Anastassova, M., Burkhardt, J.-M., Mégard, C. et Ehanno P., (2007). *L'ergonomie de la réalité augmentée pour l'apprentissage : une revue*, Le travail humain 2007/2, Volume 70, p. 97-125.

Azuma, R.- T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*. Presence: Teleoperators and Virtual Environments 6, 4 (August 1997), pp. 355 - 385. Earlier version appeared in Course Notes #9: Developing Advanced Virtual Reality Applications, ACM SIGGRAPH 1995 (Los Angeles, 6-11 August 1995), 20-1 to 20-38.

Baber, C. (2001). *Wearable computers : a human factors review*. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 13, 123-145.

Baldisser, E. (2016). *Environnement de réalité augmentée pour la conception, la gestion et la maintenance d'ouvrages et de mobiliers urbains*. Synthèse d'image et réalité virtuelle [cs.GR]. Université de Bordeaux, 2016. Français. (NNT : 2016BORD0027).

Bandura, A. (1986). *L'apprentissage social*. Bruxelles : Mardaga.

Bart, M. (2015). A learner-centered syllabus helps set the tone for learning. Depuis [www.facultyfocus.com/articles/effective-classroom-management/a-learner-centered-syllabus-helps-set-the-tone-for-learning](http://www.facultyfocus.com/articles/effective-classroom-management/a-learner-centered-syllabus-helps-set-the-tone-for-learning)

Baum, L. F. (2020). *The wonderful Wizard of Oz / by L. Frank Baum ; with pictures by W. W. Denslow*. G. M. Hill Co.

Bessot, A. (2015). *Une introduction à la didactique*. Doctorat.Brésil. (cel-01528253)

- Bissonnette, S, Richard, M. & Gauthier, C. (2005). *Interventions pédagogiques efficaces et réussite scolaire des élèves provenant de milieu défavorisés*. Revue de pédagogie, 150, 87/141. DOI: 10.3406/rfp.2005.3229
- Bohler, S. (2013). Un appareil pour augmenter la mémoire. <https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/neurosciences/un-appareil-pour-augmenter-la-memoire-11609.php>
- Boyer, A., Givry, D. (2017). *Quel est l'impact de la formulation d'hypothèses écrites sur les idées des élèves et leurs actions de manipulation durant le moment d'investigation d'un enseignement de cinquième sur la flottabilité?* (Hal-01453394)
- Brandt-Pomares, P. (2012). *L'intégration des TICE dans les pratiques des enseignants de sciences et technologie à propos de la démarche d'investigation*. Sciences et technologies de l'information et de la communication en milieu éducatif : Analyse de pratiques et enjeux didactiques. Oct 2011, Patras, Grèce. pp.65-68.
- Brun, J. (1993). *Evolution des rapports entre la psychologie du développement cognitive et la didactique des mathématiques*, in Vingt ans de didactique des mathématiques en France, ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.
- Burkhardt, J.M., Lourdeaux, D. & Mellet-D'Huart, D. (2006). *La réalité virtuelle pour l'apprentissage humain*. In Moreau G., Arnaldi B., Guitton P., Le traité de la réalité virtuelle, vol4.
- Cambien, A. (2008). *Une introduction à l'approche systémique : appréhender la complexité*. [Rapport de recherche] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques (CERTU). (hal-02150426)
- Chatoney, M. (2003). *Construction du concept de matériau dans l'enseignement des « sciences et technologie » à l'école primaire : perspectives curriculaires et didactiques*. Thèse de doctorat. Aix Marseille : Université de Provence.
- Chatoney, M. (2010). *Primary school and technological education for everybody in France : a study on the role of technology in the educational system and changing in teacher training school theses last twenty years*. In C. Benson (Eds.), International primary technology handbook, 20 years on... , Birmingham : Sense publishers.

- Chatoney, M. (2013). *Etudier, concevoir, fabriquer & utiliser des artefacts techniques : Contribution à la constitution de faits didactiques en éducation technologique pour tous*. AixMarseille Université, 2013 HAL ID : tel-01490462, version1
- Chatoney, M., Hérold, J.-F. & Laisney, P. (2020). *L'enseignement-apprentissage un système complexe d'interaction : essai de modélisation du complexe*. *Regard sur le processus d'enseignement apprentissage*, A paraître. (hal-02473540)
- Cousinet. R. (1959), *Pédagogie de l'apprentissage*, PUF, Paris.
- Creemers, B.-P.-M., Kyriakides, L. (2008). *The dynamics of educational effectiveness: A contribution to policy, practice and theory in contemporary schools*. Abingdon, England: Routledge.
- Daverne, C. & Dutercq, Y. (2014). *Des bons élèves aux bons étudiants : Manières de vivre et d'étudier*. *Agora débats/jeunesses*, 67(2), 7-20. doi:10.3917/agora.067.0007.
- Deforge, Y. (1985). *Technologie et génétique de l'objet industriel*. Paris : Maloine.
- Dewey, J. (1916) *Démocratie et éducation. Suivi de l'expérience et éducation*, Paris, Armand Colin, 2011, 516 p., ISBN : 9782200272654.
- Dugas, J. (2016), newsletter *Telopea Topics*, 2015, [http://www.telopea.act.edu.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/350989/No\\_12\\_Telopea\\_Topics.pdf](http://www.telopea.act.edu.au/_data/assets/pdf_file/0007/350989/No_12_Telopea_Topics.pdf), page consultée le 1er juin 2016
- Dumas, B. (2002). *Les rôles de l'enseignant en pédagogie de projet*. *Québec français*, 126, 64-66.
- Duval, R. (2007). *La conversion des représentations : Un des deux processus fondamentaux de la pensée*. In *du mot au concept : conversion (vol.2)*. Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- Engeström, Y. (1987). *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*, Helsinki, Finland: Orienta-Kosultit Oy.

- Engeström, Y. (2001). *Expansive Learning at Work: Toward an activity theoretical reconceptualization*, Journal of Education and Work, 14:1, 133-156, DOI: 10.1080/13639080020028747
- Espinas, A. (1897). *Les Origines de la Technologie*. Étude Sociologique (Éd.1897). Hachette Groupe Livre, 2012
- Feiner, S., MacIntyre, B., Hollerer, T., Webster, A (1997). Proceeding ISWC '97 Proceedings of the 1st IEEE International Symposium on Wearable Computers Pages 74-81
- Freinet, C. (1964). *Les techniques Freinet de l'École moderne*, Paris, Librairie Armand Colin, collection Bourrelier, 144 p.
- Fuchs, P., & Chrétien, L. (2018). *Théorie de la réalité virtuelle : Les véritables usages*. Presses des Mines - Transvalor.
- Galpérine, P. (1966). *Essai sur la formation par étape des actions et des concepts*. In A.N. Léontiev, A. Luria, A. Smirnoff (dir.), *Recherches psychologiques en URSS* (pp.114-132). Moscou : Edition du progrès.
- Ginestié, J. (1999). La démarche de projet industriel et l'enseignement de la technologie. *Éducation technologique*, 24, 14-21.
- Ginestié, J. (2000). *Contribution à la constitution des faits didactiques en éducation technologique : curriculum vitae et publications*, HDR, Aix Marseille : Université de Provence.
- Ginestié, J. (2003). *Éducation technologique et systèmes automatisés à partir d'une expérience israélienne*. Education technologique, 2003, pp. 18-24. (Hal-01568194)
- Ginestié, J. (2008). *The cultural transmission of artefacts, skills and knowledge: Eleven studies in technology education* (R. Watson, Trans.) Rotterdam : Sense Publishers.
- Ginestié, J. (2009). *The Cultural Transmission of Artefacts, Skills and Knowledge: Eleven studies in technology education in France*. Design and Technology Education: an International Journal, 14(2).
- Ginestié, J., & Tricot, A. (2013). *Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologique*. RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies, (8), 9-22.

- Graube, G., Dyrenfurth, M.J., & Theuerkauf, W.E. (2003). *Technology education : international concepts and perspectives*.
- Grisson, E. (1996). L'étonnant parcours du républicain J.H. Hassenfratz (1755-1827): du faubourg Montmartre au Corps des Mines. *Collection Histoire et sociétés* Presses des MINES, 1996.
- Gunther, F. (2016). *Étude de l'efficacité des outils de l'analyse fonctionnelle dans l'enseignement et l'apprentissage de systèmes techniques au collège*. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille
- Hern, A. (2016). Robot maker Boston Dynamics put up for sale by Google, reports say. The Guardian. Consulté à l'adresse : <https://www.theguardian.com/technology/2016/mar/18/boston-dynamics-put-up-for-sale-google>
- Herniaux, G. (2001). *Commanditer un projet*. Insep Editions, 2001 - 119 pages
- Héroid, J.-F., & Ginesté, J. (2009). Help with solving technological problems in project activities. *International Journal of Technology and Design Education, On line first* (12/12/09), 1-16. Doi : 10.1007/s10798-009-9106-8.
- Heutte, J. (2003), *Institutionnaliser le management de la connaissance via des communautés virtuelles pour valoriser la richesse humaine des enseignants du 1er degré*. Mémoire professionnel 3e cycle, Campus Virtuel des TIC de l'université des sciences et techniques de Limoges.
- Jouineau, C. (1982). L'analyse de la valeur. Méthode, mise en œuvre, applications. *Entreprise moderne d'édition* 253 p.
- Kyriakides, L., Creemers, B., & Charalambous, E. (2018). *Equity and Quality Dimensions in Educational Effectiveness*. Cham, Switzerland: Springer.
- Lebahar, J.-C. (1983). *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*. Roquevaire : Éditions Parenthèses.
- Lebahar, J.-C. (2007). *La conception en design industriel et en architecture*. Désir, pertinence, coopération et cognition, Eds Lavoisier.



Lebeaume, J & Martinand, J.-L. (1998). *Enseigner la technologie au collège*, Paris : Hachette.

Lebrun, M. (2007). *Théories et méthodes pédagogiques pour enseigner et apprendre : Quelle place pour les TIC dans l'éducation ?* 2ème édition revue. De Boeck (Bruxelles), 206 pages.

Léontiev, A. N. (1978). *Activity, consciousness and personality*. London: Prentice-Hall.

Léontiev, A. N. (1981). *The problem of activity in psychology*. In J. V. Wertsch (ed.). *The concept of activity in Soviet psychology*. Armonk, NY: M. E. Sharpe. DOI: 10.2753/RPO1061-040513024

Leplat, J., & Hoc, J.M. (1983). *Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations*. *Cahiers de psychologie Cognitive*, 3, 49-63

Leplat, J. (2004). *Éléments pour l'étude des documents prescripteurs*. *Activités* 1-2 : DOI:10.4000/activités.1293

Leroi-Gourhan, A. (2014), *Libération de la main. Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, 16-3. Mis en ligne le 01 mai 2014, consulté le 16 août 2018. URL : <http://journals.openedition.org/pistes/3627> ; DOI : 10.4000/pistes.3627

Mann, S. (2014). *Wearable technologies as a human right* ; MIT technology review.

Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning (2nd ed.)*. New York, NY, US: Cambridge University Press.

MEN, (2008). Programmes de l'enseignement de technologie. [http://media.education.gouv.fr/file/special\\_6/53/1/Programme\\_technologie\\_33531.pdf](http://media.education.gouv.fr/file/special_6/53/1/Programme_technologie_33531.pdf)

Meirieu, P. (2001). *L'éducation et le rôle des enseignants à l'horizon 2020*. Paris: UNESCO

- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A. & Kishino, F. (1994). *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. Proceedings of Telem manipulator and Telepresence Technologies*. pp. 2351–34. Retrieved 2007-03-15.
- Millar, R. (2014). *Teaching and learning of energy in K-12 education*. Chan, R., Eisenkraft, A., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J. & Scheff, A. (eds.) New-York: Springer.
- Morge, L., & Buty, C. (2014). *L'énergie : vers des recherches plurididactiques*. Recherches en Didactique des sciences et des technologies, 10, 9-34.
- Musial, M., & Tricot, A. (2008). Enseigner pour que les élèves apprennent. 1) un modèle de l'apprentissage. *Technologie STI*, 156, 20-27
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement ?* Bruxelles.
- Neuhauser-Metternich, S. & Krummacker, S. (2007). *Girls and Boys Perceptions of science and of Science Teaching Practice* UPDATE Progress Report Germany, WP 5, Partner 7, <http://update.jyu.fi>; [www.ada-mentoring.de](http://www.ada-mentoring.de)
- Neumann, U. & Majoros, A. (1998). *Cognitive, Performance, and Systems Issues for Augmented Reality Applications in Manufacturing and Maintenance*, Proceedings of IEEE Virtual Reality Ann, pp.4-11, Los Alamitos, Calif.
- Olivier, M. (2014). *Faire connaître et partager les cultures scientifique, technique et industrielle : un impératif !*
- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). *La didactique professionnelle*. Revue française de pédagogie, 145-198.
- Perrenoud, Ph. (2002). *Les cycles d'apprentissage. Une autre organisation du travail pour combattre l'échec scolaire*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec.
- Perry, B., Dockett, S., & Harley, E. (2012). *The early learning framework for australia and the australian curriculum : Mathematics-linking educators practice through pedagogical inquiry questions*. In D.S.D. Siemon (Ed.), *Engaging the australian curriculum Mathematics : Perspectives from the field* (1 ed., pp. 153-174). Mathematics Education Research Group of Australasia.

- Proulx, J. (2004). *Apprentissage par projet*. Sainte-Foy : Presses de l'Université du Québec
- Raby, C., Beaudry, N., & Viola, S. (dir.) (2007). *Modèles d'enseignement et théories d'apprentissage : de la pratique à la théorie*. Anjou : Éditions CEC
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies ; approche cognitive des instruments contemporains*. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462/document>.
- Raynaud, D. (2016). *Qu'est-ce que la technologie ?* Paris : Editions matériologiques.
- Rogalski, J. (2008). *Le cadre general de la théorie de l'activité. Une perspective de psychologie ergonomique. Des complements sur les theories de l'activité et du développement, pour l'analyse des pratiques des enseignants et des apprentissages des élèves*. In F. Vandebrouck (ed.). *La classe de mathématiques: activités des élèves et pratiques des enseignants* (23-30 & 429-459). Toulouse: Octarès.
- Savoyant, A. (2006). *Tâche, activité et formation dans les actions de travail*. *Education permanente*, 166, 127-136
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir : Eléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur. doi :10.3917/dbu.sense.2011.01.
- Simon, H. A. (1991). *Sciences des systèmes Sciences de l'artificiel* (Réédition de 1969 ed.). Paris : Dunod.
- Simondon, G. (1958), *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier, 2012 (1<sup>re</sup> éd. 1958), 367 p.
- Simondon, G. (2012). *Du mode d'existence des objets techniques* (Réédition ed.). Paris : Aubier.
- Spaulding, W.M., Bridge, A. & Skitmore, R.M. (2005). *The use of function analysis as the basis of value management in the Australian construction industry*. *Construction Management and Economics*, 23 (7), 723-731.
- Taillard, P. (2012). *Le projet de conception en enseignement de spécialité*. *Technologie* N°179, avril 2012.

- Thomas, B., H. (2002). *ARQuake: The Outdoor Augmented Reality Gaming System*. In Communications of the ACM, Vol 45 No 1 January, 2002 - Copyright (C) 2001.
- Tricot, A. (2004). *Guidages, apprentissages et documents*. NEQ-Notions en questions, 8.
- Tricot, A. (2017). *L'innovation pédagogique*. Paris : Éditions Retz.
- Trouche, L. (2007). *Environnements informatisés et ressources pour l'apprentissage : conception et usages, regards croisés*. Hermès.
- Vergnaud, G. (1990). *La théorie des champs conceptuels*, Recherches en Didactique de Mathématiques, vol.10 n°2-3, pp.133-170, éd. La pensée Sauvage, Grenoble
- Viau, R. (2009). *La motivation en context scolaire*. De Boeck.
- Vygotski, L.-S. (1934/1985). *Pensée et langage*, traduction française de F. Sève. Paris: Messidor – Edition Sociales.
- Williams, P.-J., Nguyen, N. & Mangan, J. (2017). *Using technology to support science inquiry learning*. Journal of Technology and Science Education, 7(1), 26-57. DOI10.3926/jotse.234

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Gestion de projet vue par le professeur.....	31
Tableau 2 : Grille d'analyse des procédures fonctionnelles. ....	77
Tableau 3 : Blocs fonctionnels identifiés.....	81
Tableau 4 : Eléments identifiés.....	83
Tableau 5 : Niveau des élèves de notre échantillon.....	97
Tableau 6 : Répartition des erreurs dans les procédures.....	117
Tableau 7 : Données relatives aux élèves RA et nécessaires au calcul de l'écart-type. .....	121
Tableau 8 : Données relatives aux élèves T et nécessaires au calcul de l'écart-type.	121
Tableau 9 : Identification des différents binômes .....	128
Tableau 10 : Nombre de consultation des ressources virtuelles par binômes RA. ....	130
Tableau 11 : Nombre de consultation des ressources numériques par binômes T...	130
Tableau 12 : Relevés des sentiments de satisfaction exprimés par les élèves .....	133
Tableau 13 : Relevés des sentiments d'insatisfaction exprimés par les élèves. ....	135
Tableau 14 : Relevés des interrogations des élèves .....	140
Tableau 15 : Recherche de solutions incluant la RA.....	144

# LISTE DES GRAPHIQUES

Graphique 1 : Evolution de la compréhension de la consigne numérique – Groupe développement de l’application mobile.....	55
Graphique 2: Evolution de la compréhension de la consigne numérique – Groupe assemblage des cartes électroniques.....	56
Graphique 3: Evolution de la compréhension de la consigne numérique –Comparaison Réalité Augmentée Vs Flash.....	57
Graphique 4: Répartition du type d’usage de la Réalité Augmentée par les élèves. ....	59
Graphique 5: Approche de l’usage par les élèves de la Réalité Augmentée. ....	60
Graphique 6: Répartition du nombre de réponses données en fonction de leur représentation. ....	80
Graphique 7: Fonctions proposées par les deux groupes d’élèves.....	83
Graphique 8: Composants identifiés par les deux groupes d’élèves.....	85
Graphique 9: Répartition des 6 catégories dans le diagramme bulle.....	87
Graphique 10: Répartition des données du groupe RA dans les 6 catégories.....	88
Graphique 11: Répartition des données du groupe T dans les 6 catégories.....	89
Graphique 12: Comparaison du nombre de fonctions identifiées.....	91
Graphique 13: Comparaison du nombre de composants identifiés.....	92
Graphique 14: Répartition des élèves du groupe RA en fonction de leur degré d’analyse fonctionnelle.....	94
Graphique 15 : Répartition des élèves du groupe témoin T en fonction de leur degré d’analyse fonctionnelle.....	95
Graphique 16: Classification des bons élèves du groupe RA.....	98
Graphique 17: Classification des bons élèves du groupe témoin T.....	100
Graphique 18: Classification des élèves moyens du groupe RA.....	102
Graphique 19: Classification des élèves moyens du groupe témoin T.....	103
Graphique 20: Classification des élèves faibles du groupe RA.....	105
Graphique 21: Classification des élèves faibles du groupe témoin T.....	107

Graphique 22: Synthèse du pourcentage d'élèves du groupe RA répartis par catégories en fonction de leurs niveaux.....	110
Graphique 23: Synthèse du pourcentage d'élèves du groupe témoin T répartis par catégories en fonction de leurs niveaux.....	111
Graphique 24: Répartition des procédures de mise en service fonctionnelles et non fonctionnelles.....	116
Graphique 25: Nombre d'erreurs commises par opérations. ....	118
Graphique 26: Pourcentage de l'écart d'erreur pour chaque opération. ....	119
Graphique 27: Pourcentage d'erreurs dans l'opération D. ....	123
Graphique 28: Différence du taux d'erreurs entre les deux groupes dans l'opération D. .....	124
Graphique 29: Pourcentage d'erreurs dans l'opération E.....	125
Graphique 30: Différence du taux d'erreurs entre les deux groupes dans l'opération E. .....	127
Graphique 31: Validation de la mise en service de la borne d'arcade par les binômes. .....	129

# LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le continuum " Réel-Virtuel " (adapté de (Milgram et al., 1994)).....	23
Figure 2: Déroulement des conditions de réalisation de la tâche. ....	70
Figure 3: Plan de masse du laboratoire d'enseignement transversal lors des conditions de réalisations de la tâche.....	71
Figure 4: Borne ARCADE. ....	74
Figure 5: Extrait du document élève proposant la tâche de mise en service de la borne d'arcade .....	75
Figure 6: Extrait du document élève proposant la tâche de câblage de la carte. ....	76
Figure 7: Continuum didactique de la RA.....	150



# ANNEXES

## ANNEXE N°1 : Bulletin Officiel et référentiel STI2D.

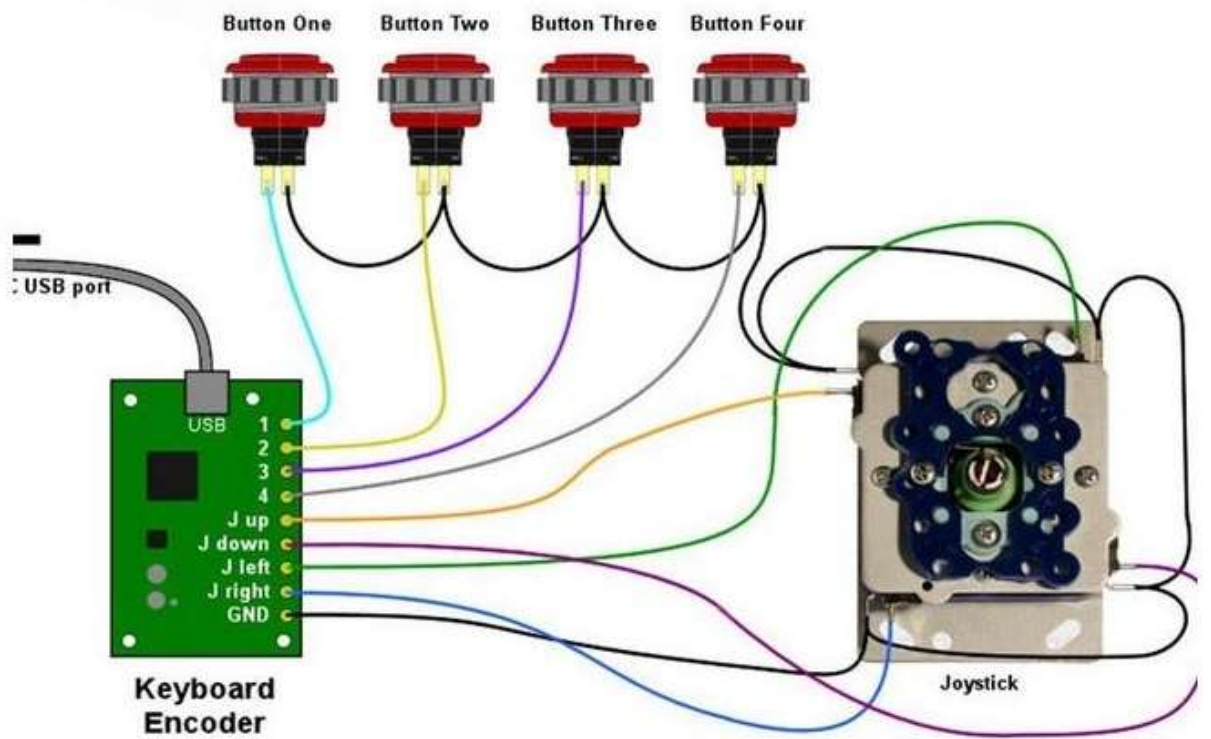
### A / Extrait du référentiel STI2D pour l'enseignement technologique transversal – Objectifs & Compétences.

Objectifs de formation	Compétences attendues
<b>O1 - Caractériser des systèmes privilégiant un usage raisonné du point de vue développement durable</b>	<p>CO1.1. Justifier les choix des matériaux, des structures d'un système et les énergies mises en œuvre dans une approche de développement durable Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue</p> <p>CO1.2. Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et d'effets sur la santé de l'homme et du vivant</p>
<b>O2 - Identifier les éléments permettant la limitation de l'Impact environnemental d'un système et de ses constituants</b>	<p>CO2.1. Identifier les flux et la forme de l'énergie, caractériser ses transformations et/ou modulations et estimer l'efficacité énergétique globale d'un système</p> <p>CO2.2. Justifier les solutions constructives d'un système au regard des impacts environnementaux et économiques engendrés tout au long de son cycle de vie</p>
<b>O3 - Identifier les éléments influents du développement d'un système</b>	<p>CO3.1. Décoder le cahier des charges fonctionnel d'un système</p> <p>CO3.2. Évaluer la compétitivité d'un système d'un point de vue technique et économique</p>
<b>O4 - Décoder l'organisation fonctionnelle, structurelle et logicielle d'un système</b>	<p>CO4.1. Identifier et caractériser les fonctions et les constituants d'un système ainsi que ses entrées/sorties</p> <p>CO4.2. Identifier et caractériser l'agencement matériel et/ou logiciel d'un système</p> <p>CO4.3. Identifier et caractériser le fonctionnement temporel d'un système</p> <p>CO4.4. Identifier et caractériser des solutions techniques relatives aux matériaux, à la structure, à l'énergie et aux informations (acquisition, traitement, transmission) d'un système</p>
<b>O5 - Utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance</b>	<p>CO5.1. Expliquer des éléments d'une modélisation proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système</p> <p>CO5.2. Identifier des variables internes et externes utiles à une modélisation, simuler et valider le comportement du modèle</p> <p>CO5.3. Évaluer un écart entre le comportement du réel et le comportement du modèle en fonction des paramètres proposés</p>
<b>O6 - Communiquer une idée, un principe ou une solution technique, un projet, y compris en langue étrangère</b>	<p>CO6.1. Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés</p> <p>CO6.2. Décrire le fonctionnement et/ou l'exploitation d'un système en utilisant l'outil de description le plus pertinent</p> <p>CO6.3. Présenter et argumenter des démarches, des résultats, y compris dans une langue étrangère</p>

## B / Taxonomie & Planification des apports de connaissances. (Voir 2.2.2).

<b>2. Outils et méthodes d'analyse et de description des systèmes</b>				
<i>Objectif général de formation : identifier les éléments influents d'un système, décoder son organisation et utiliser un modèle de comportement pour prédire ou valider ses performances.</i>				
2.1 Approche fonctionnelle des systèmes (3)	Ph.	1 <sup>re</sup> / T	Tax	Commentaires
<b>2.1.1 Organisation fonctionnelle d'une chaîne d'énergie</b>				
Caractérisation des fonctions relatives à l'énergie : production, transport, distribution, stockage, transformation, modulation.	*	1 <sup>re</sup>	3	On se limite à une caractérisation externe des fonctions.
<b>2.1.2 Organisation fonctionnelle d'une chaîne d'information</b>				
Caractérisation des fonctions relatives à l'information : acquisition et restitution, codage et traitement, transmission	*	1 <sup>re</sup>	3	On se limite au transfert de données en bande de base (pas de transposition de fréquence, pas de modulation).
2.2 Outils de représentation	Ph.	STI	Tax	Commentaires
<b>2.2.1 Représentation du réel</b>				
Croquis (design produit, architecture)		1 <sup>re</sup> /T	2	L'exploitation concerne uniquement les utilisations en moyen de communication : - réalisation d'une image selon un point de vue (du concepteur, du spécificateur, du fabricant, du commercial, du spécialiste de la maintenance, du monteur, de l'installateur, de l'utilisateur, etc.) ; - adaptation des formats de données ; - restitution associée à une représentation et choix du support.
Représentation volumique numérique des systèmes		1 <sup>re</sup> /T	3	
Exploitation des représentations numériques		1 <sup>re</sup> /T	3	
<b>2.2.2 Représentations symboliques</b>				
Représentation symbolique associée à la modélisation des systèmes : diagrammes adaptés SysML, graphe de flux d'énergie, schéma cinématique, schéma électrique, schéma fluide.		1 <sup>re</sup> /T	3	L'enseignement sur les schémas se limite au mode lecture et interprétation sur des systèmes ou sous-systèmes simples. Le schéma cinématique n'est pas obligatoirement le schéma minimal mais celui qui correspond le mieux à la description fonctionnelle du mécanisme étudié. Le schéma architectural permet de décrire l'organisation structurelle d'un produit industriel de manière non normalisée, il fait apparaître les composants et constituants (choix techniques).
Schéma architectural (mécanique, énergétique, informationnel)		1 <sup>re</sup> /T	3	
Représentations des répartitions et de l'évolution des grandeurs énergétiques (diagramme, vidéo, image)		1 <sup>re</sup> /T	3	
Représentations associées au codage de l'information : variables, encapsulation des données		1 <sup>re</sup> /T	2	

**ANNEXE N°2 : Plan de câblage du Joystick & boutons.**



**ANNEXE N°3 Vue réelle du câblage joystick & boutons (Réalisé par élève).**

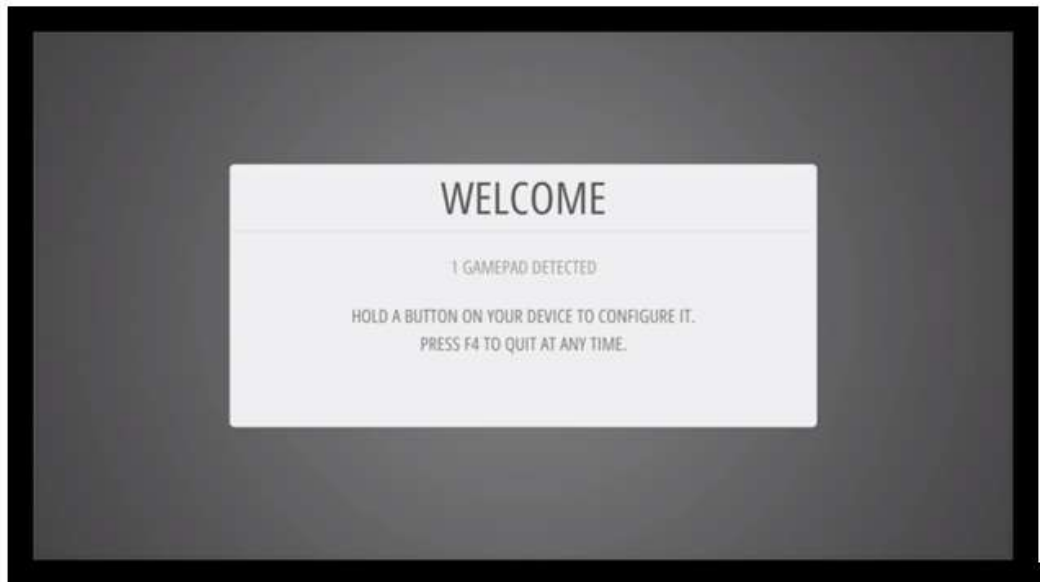


**ANNEXE N°4 : Fiche de configuration logicielle fournie aux élèves.**

**Configuration du joystick**

1

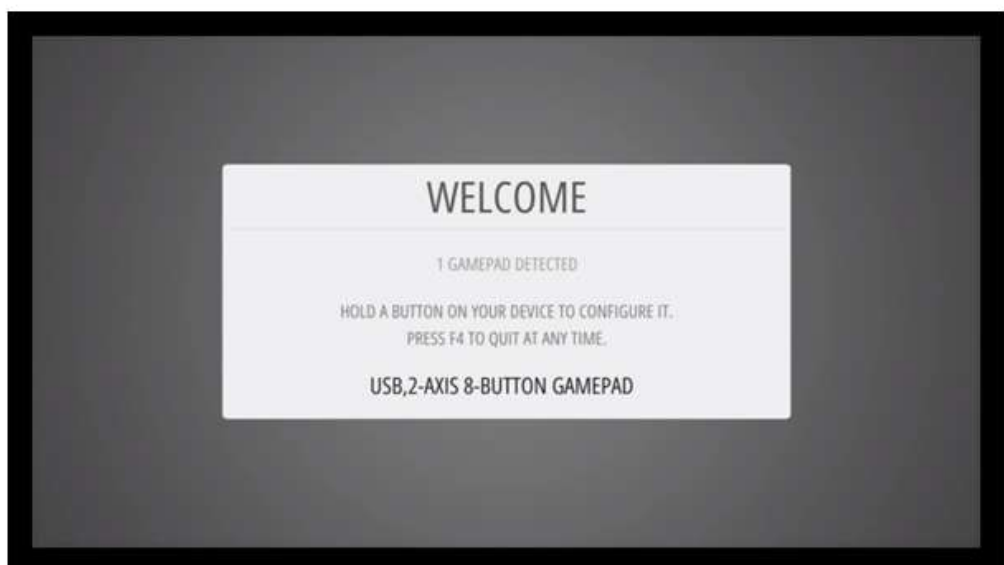
Quand l'écran suivant apparaît :



Laissez enfoncé 1 ou 2 secondes n'importe quel bouton de votre joystick

Retropie va alors indiquer le nom de celui-ci.

2



Laisser encore une fois enfoncé n'importe quel bouton de votre joystick

Retropie va alors vous demander d'assigner tous les boutons et toutes les directions de celui-ci

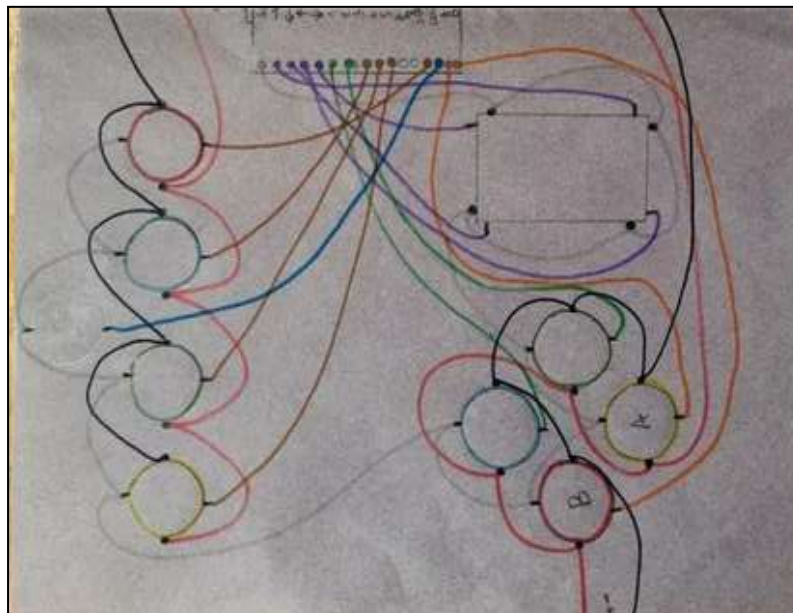


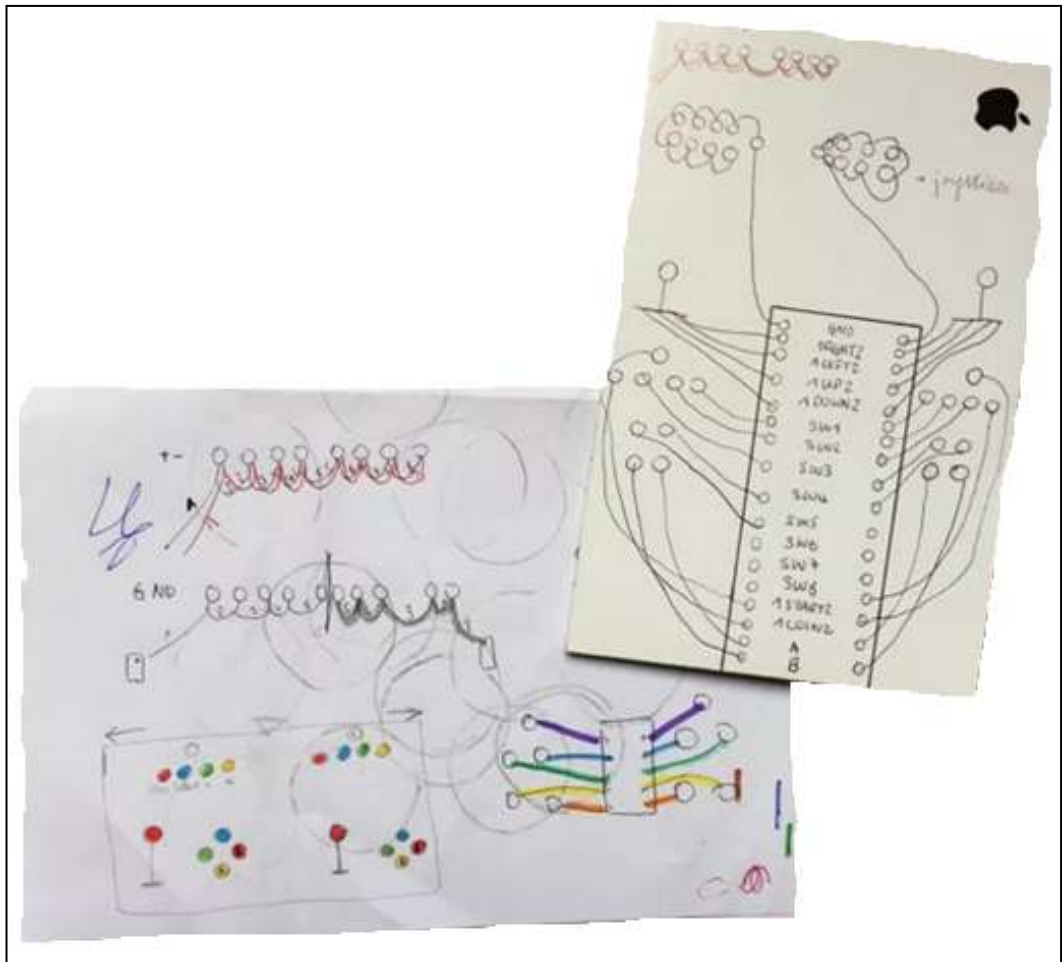
Appuyez sur les boutons correspondants.

**Pour passer un bouton ou une direction qui ne serait pas repris sur votre joystick il suffit d'enfoncer n'importe quel bouton pendant 1 à 2 secondes.**



**ANNEXE N°5 : Productions brutes des élèves (brouillons)**







**ANNEXE N°6 : Verbatim des échanges verbaux en fonction des groupes et sous-groupes d'élèves.**

Codification relative aux échanges des <b>élèves ayant été sensibilisé</b> à l'utilisation de la réalité augmentée et apparentés à un <b>niveau scolaire satisfaisant</b>		
ELEVE N°1	ELEVE N°2	PROFESSEUR
E1RAa	E2RAa	Pa

- 1 **E1RAa : Bon, faut allumer la borne d'arcade et aller dans « rétro pi ».**
- 2 **E2RAa : D'abord faut voir si y a tout qui est connecté.**
- 3 **E1RAa : pourquoi ?**
- 4 **E2RAa : Ben, faut pas allumer si c'est pas connecté. Le prof l'a dit tout a l'heure.**
- 5 **E2RAa : Tiens regardes, le joystick n'est pas connecté.**
- 6 **E1RAa : Et les boutons ?... Ouai ça à l'air bon.**
- 7 **E2RAa : OK, si tout est branché on peut l'allumer.**
- 8 **E1RAa : Vas-y, teste.**
- 9 **E1RAa : Ça a l'air d'être bon.**
- 10 **E2RAa : Ça y est ça s'ouvre !**
- 11 **E1RAa : Bon, et maintenant.... Faut faire quoi...**
- 12 **E1RAa : Faut trouver.... Ah c'est bon, c'est là.**
- 13 **E2RAa : C'est sur cet icone qu'il faut aller.**
- 14 **E1RAa : Dans « paramétrage » faut trouver le joystick.**
- 15 **E1RAa : Et après....**
- 16 **E2RAa : Et ouai, faut configurer là.**
- 17 **E1RAa : bon on commence par « Up ».**
- 18 **E2RAa : OK, après on fait « Down ».**
- 19 **E1RAa : Mais t'es sûr qu'il faut le faire avant que le joystick soit branché, ça ?**
- 20 **E2RAa : Non mais ça ce n'est pas un problème. Faut juste que les bonnes « pins » correspondent aux bons fils...**
- 21 **E2RAa : Après que t'allumes avant ou après c'est pareil...**
- 22 **E1RAa : Ouai mais c'est quand même plus logique de le faire quand tout est branché, comme ça on peut tester en « live ».**
- 23 **E2RAa : Si tu veux.**
- 24 **E1RAa : Oh, mais il part pas à gauche...**
- 25 **E2RAa : Et voilà, t'as tout cassé...**
- 26 **E1RAa : Mais non, il doit y avoir un problème de paramétrage...**
- 27 **Pa : Messieurs, de perdez pas de temps...**
- 28 **E1RAa : bon reprends la fiche de config'.**

29 E1RAa : comme ça on voit si on a pas oublié un truc.

30 E2RAa : Non mais c'est bon, je sais faire.

31 E1RAa : Oui c'est ça la dernière fois tu m'as dit pareil et ça marchait pas.

32 E2RAa : Ouai mais ça c'était avant...

33 E2RAa : Bon OK, on fait un contrôle comme ça tu seras rassuré.

34 E1RAa : Fiche N°1... c'est bon... Fiche N°2, ça correspond... Et fiche N°4 c'est bon aussi.

35 E1RAa : Allez on continue.

36 E2RAa : OK. Donc... Allumer la borne d'arcade c'est fait, lancer « rétropi » c'est fait. Configurer les commandes dans le menu « paramétrage » c'est fait aussi.

37 E1RAa : Oh ça bouge... Mais Ça descend pas !

38 E2RAa : Retourne dans « paramètres ». On a pas du bien configuré le joystick...

39 E1RAa : Ok, je refais la manip pour la position « vers le bas » ...

40 E1RAa : C'est bon ça descend...

41 E1RAa : Monsieur vous pouvez venir valider ?

42 Pa : Alors...borne OK, « retropi » OK, paramétrages.... Oh les gars, il faut tout vérifier.... Pas que le joystick....

43 E1RAa : Ah mais, il a quoi d'autres à faire, je croyais que c'était que le joystick qu'il fallait régler...

44 Pa : Relis ta consigne... à quel moment l'objectif final est de régler le joystick...

45 E1RAa : Ah faut mettre en service la borne d'arcade...

46 Pa : Aidez-vous de tous les outils que vous avez à disposition....

47 E2RAa : Vas-y prends la tablette on va « flasher » la borne.

48 E1RAa : Excellent y a tout là-dessus.

49 E1RAa : Tiens regardes, y a le joystick... ouai c'est bien ce qu'on a fait.

50 E2RAa : Regardes les boutons...

51 E1RAa : Ah ouai t'as raison... c'est pas pareil.

52 E2RAa : Sérieux... tout à l'heure tu m'as dit que c'était bon...

53 E1RAa : Et ouai mais j'avais pas vu. J'pensais pas que c'était pas bon.

54 E2RAa : Regardes sur l'appli, on voit que ça.... Les fils, c'est pas pareils...

55 E1RAa : Et ouai c'est clair... le nul...

56 E2RAa : Bon du coup, vaut mieux vérifier tous les boutons...

57 E2RAa : Tiens, on va commencer par celui-là.

58 E1RAa : Attends je refais sur l'appli.

59 E1RAa : Alors sur l'appli ils disent que ce fil va là... et l'autre...là...

60 E2RAa : T'es bien sur le bouton « Start » ?

61 E1RAa : Oui c'est bon.

62 E2RAa : Ok, on passe au bouton « Crédit »...

63 E1RAa : ben du coup c'est bon maintenant...

- 64 E2RAa : B1, c'est bon ?
- 65 E1RAa : Yess, c'est pareil que sur l'appli.
- 66 E2RAa : B2, c'est bon ?
- 67 E1RAa : Oui Chef !
- 68 E2RAa : B3, c'est bon ?
- 69 E1RAa : Oui Chef !
- 70 E2RAa : B4, c'est bon ?
- 71 E1RAa : Oui Chef !
- 72 E1RAa : Ça y est tout est nickel.... Monsieur...
- 73 Pa : Alors vous avez modifié ?
- 74 E1RAa : Oui... vous nous avez piégé Monsieur...
- 75 E2RAa : Il n'y avait que le bouton « Crédit » qui n'était pas bon.... C'était fait exprès ?
- 76 Pa : Oui c'était pour valider si vous comprenez bien ce que vous êtes en train de faire...
- 77 E2RAa : C'est bon tout est « nickel », on a les bonnes positions aux bons endroits...
- 78 E2RAa : Et oui. On est encore allé trop vite.
- 79 E1RAa : Excellent, c'est trop bon !!... On est trop fort !...
- 80 E2RAa : En tout cas, avec l'appli c'est nickel.

Codification relative aux échanges des élèves ayant été sensibilisé à l'utilisation de la réalité augmentée et apparentés à un niveau scolaire passable.		
ELEVE N°1	ELEVE N°2	PROFESSEUR
E1RAb	E2RAb	Pb

- 81 Pb : Vos procédures sont terminées ?
- 82 E1RAb : Heuu... Oui monsieur mais on est pas trop sûr là.
- 83 Pb : Allez-y, vous pouvez passer sur la mise en service réelle de la borne. Vous avez quasiment tout fait. Il n'y a que quelques détails à régler sur la fin... prenez le temps de réfléchir...
- 84 E2RAb : Mais Monsieur, ça crains pas ? on risque pas de la faire « bugger » ?
- 85 Pb : Allez-y et je vous rappelle que vous avez aussi des outils et des ressources pour vous aider à la mettre en service...
- 86 E1RAb : Merci Monsieur.
- 87 E1RAb : OK, alors on va commencer l'allumer.

88 E2RAb : T'es sûr de toi là... ?

89 E1RAb : Oui.

90 E1RAb : Vérifie derrière si l'USB est bien branché...

91 E2RAb : Oui ça y est c'est bon.

92 E1RAb : bon maintenant faut aller dans « retropi » ....

93 E1RAb : Voilà.

94 E1RAb : Dans « paramétrage » ...

95 E1RAb : On est d'accord Monsieur faut régler les commandes ?

96 Pb : Tout à fait.

97 Pb : Ayez une vision globale de la borne et des infos qui transitent à l'intérieur... Ça devrait vous permettre de ne rien oublier.

98 E2RAb : On peut s'aider de la tablette ?

99 Pb : Bien sûr c'est fait pour.... Surtout que vous l'avez déjà fait pour la carte Raspeberry pi...

100 E2RAb : Ah Ok, c'est bon j'ai compris...

101 E2RAb : Alors si je les mets comme ça...

102 E2RAb : Nickel, y a tout...

103 E2RAb : Tiens matte un peu on voit les boutons et le joystick.

104 E1RAa : Au top...

105 E1RAb : Par contre il y a un souci là...

106 E2Rab : C'est toi qui a un souci...

107 E1RAb : Non sérieux, y a rien qui bouge sur l'écran...

108 E2RAb : Normal on a rien réglé... lis un peu...

109 E1RAb : Ah oui c'est vrai...

110 E1RAb : Tiens dans la procédure il faut commencer par le joystick.

111 E1NRAb : Aller dans paramètres...

112 EN1RAb : Appuyer sur le joystick....

113 E1NRAb : Voilà c'est paramétré....

114 E2NRAb : Essaie pour voir...

115 E2NRAb : Oh « purée » c'est quoi c'te musique...ça m'a fait peur....

116 E2RAb : Bon alors.... Voilà il est là, maintenant je rentre dans « Down » ...

117 E1RAb : Voilà c'est ça et tu recommences pour tout le reste.

118 E2RAb : Pendant ce temps je contrôle si tout est bon...

119 E1RAb : ben on va vite le voir à l'écran si c'est pas bon....

120 E2RAb : Ouai c'est sûr...

121 E2RAb : Mais pas forcément en fait... Tu verras si ça bouge, mais tu verras pas si ça correspond au bon bouton....

122 E1RAb : Oh t'es intelligent toi !

123 E1RAb : Non mais t'as raison...

124 E2RAb : Avec l'appli on voit tout... déjà on va voir si ça bouge...

125 E2RAb Après, si ça bouge pas comme on veut, c'est juste qu'on a inversé des réglages...

- 126 E1RAb : Et sur l'appli c'est pareil avec ce qu'on a là ?
- 127 E2RAb : Ben faut contrôler toute la partie commande.
- 128 Pb : Tiens... petite question.... Pouvez-vous me donner la fonction réalisée par le joystick et les boutons dans ce système... ?
- 129 E1RAb : Heuu, la fonction.... Comme ce qu'on a vu dans les chaines d'info et énergie ?
- 130 Pb : Exactement.
- 131 E1RAb, Ah ben c'est la fonction Acquérir Monsieur.
- 132 Pb : C'est bien, c'est ça...
- 133 E1RAb : OK ... bon on va faire comme ça.... On contrôle tout avec l'appli et on teste sur l'écran.
- 134 E2RAb : Allez commence par les positions du joystick...
- 135 E2RAb : Après on se fera les boutons.
- 136 E1RAb : Alors le joystick, le « Up » va là.... C'est bon ?
- 137 E2RAb : Oui c'est ça.
- 138 E1RAb : Le « Down » là.
- 139 E2RAb : Yess.
- 140 E1RAb : Le « Left » C'est là...
- 141 E2RAb : C'est bon.
- 142 E1RAb : LE « Right » c'est le dernier donc c'est là...
- 143 E2RAb : Bon on verra, mais le joystick paraît bon.
- 144 E2RAb : Vas-y pour les boutons...
- 145 E1RAb : Aller le « Start », c'est ici.
- 146 E2RAb : Ok, pareil.
- 147 E1RAb : Le « Crédit ».... C'est quoi « credit » c'est pas un distributeur de billet non plus...
- 148 E2RAb : Ben normalement tu payes pour jouer, ben là non, t'appuis sur ce bouton !!
- 149 E2RAb : Alors il va où ?
- 150 E1RAb : Ben il est connecté là.
- 151 E2RAb : Donc c'est bon.
- 152 E1RAb : B1, là.
- 153 E2RAb : OK.
- 154 E1RAb : B2, là
- 155 E2RAb : OK.
- 156 E1RAb : B3, là.
- 157 E2RAb : OK.... C'est bon, Du coup B4 c'est bon aussi.
- 158 E1RAb : Allez enregistre et teste sur Mario....
- 159 E1RAb : On a rempli toutes les cases ?...
- 160 E2RAb : Ça marche, on a fait notre première console...

Codification relative aux échanges des <b>élèves ayant été sensibilisé</b> à l'utilisation de la réalité augmentée et apparentés à un <b>niveau scolaire insuffisant</b> .		
ELEVE N°1	ELEVE N°2	PROFESSEUR
E1RAc	E2RAc	Pc

- 161 E1RAc : Faut allumer la borne d'arcade ?
- 162 Pc : Que vous demande de faire la consigne ?
- 163 E1RAc : Heuu... Faut mettre en service la borne d'arcade.
- 164 Pc : Voilà.... Donc comment allez-vous faire pour mettre en service cette borne ?
- 165 E1RAc : ben on l'allume...
- 166 Pc : Ça serait trop simple....et vous risquez d'être rapidement confrontés à des problèmes que vous pouvez largement éviter si vous réfléchissez à la manière dont vous pourriez mettre en service la borne....
- 167 Pc : Rappelez-vous ce que nous avons fait pour la carte....
- 168 E1RAc : Déjà faut voir si tout est branché ?
- 169 Pc : Allez, je ne vous en dis pas plus.... Essayer de vous poser les « bonnes » questions....
- 170 E2RAc : T'as compris ?
- 171 E1RAc : Ouai j'crois...
- 172 E1RAc : Ben déjà faut qu'on puisse allumer l'écran.
- 173 E2RAc : Il est où l'interrupteur ?
- 174 E2RAc : C'est quoi ce machin...
- 175 E1RAc : Mais qu'est ce tu fais. C'est pas ce bouton...
- 176 E1RAc : Non mais de toute façon, si la carte n'est pas branchée, on allumera pas l'écran.
- 177 E2RAc : Tu l'as branché avec l'USB ? C'est ça ?
- 178 E1RAc : Oui.
- 179 E1RAc : C'est bon, ça s'éclaire...
- 180 E2RAc : Et maintenant ?
- 181 E1RAc : Je pense qu'il faut aller dans « retropi ».
- 182 E2RAc : Attends, faut peut-être faire un truc avant.
- 183 E1RAc : Et tu veux faire quoi, toi ?
- 184 E2RAc : Ben faut faire un truc avec les boutons là...
- 185 E1RAc : Et ben, c'est dans « retropi » qu'on le fait.
- 186 E2RAc : T'es sûr ?
- 187 E1RAc : Et tu veux le faire avec quoi, sinon.
- 188 E1RAc : Tiens regardes, y a tout pour régler là.
- 189 E2RAc : Mais comment on sait ce qu'il faut régler ?

- 190 Pc : Deux possibilités, soit vous relevez des incohérences entre l'acquisition et la restitution. Soit vous faites l'inverse. Vous réglez tout et vous validez à l'écran. A vous de voir...
- 191 E1RAc : Bon déjà faut voir si tout marche... on va lancer « Mario Kart » ...
- 192 E2RAc : Ah ouaii j'adore ce jeu !!
- 193 E2RAc : Vas-y prends « yochi »
- 194 Pc : Alors, ça avance ?
- 195 E1RAc : Bon déjà je peux pas naviguer là... c'est le joystick qui m....
- 196 E1RAc : Je comprends pas pourquoi le joystick marche pas...
- 197 Pc : Peut-être qu'il faudrait remonter l'information pour cibler le problème....
- 198 E1RAc : Mais c'est ce qu'on a fait, le joystick est bien connecté à la carte électronique. »
- 199 Pc : Est-ce suffisant ?
- 200 E2RAc : Monsieur, il est « plug and play » ce joystick ? ...
- 201 E1RAc : Heuuu... on doit pouvoir le régler alors...
- 202 E1RAc : y a rien qui bouge...
- 203 E2RAc : Normal t'as pas réglé le joystick.
- 204 E1RAc : Et je fais comment ?
- 205 E1RAc : Je crois que le prof a dit que c'était dans les paramètres de « Retropie » ...
- 206 E2RAc : Ah ouai je sais, il faut appuyer sur le joystick....
- 207 E2RAc : C'est bon, appui le encore un coup, on doit pouvoir régler la position...
- 208 E1RAc : Ça devrait être bon...
- 209 E2RAc : Ah ben va dans « paramétrage » alors, on va le régler.
- 210 E2RAc : Et avec la tablette, on peut pas voir ?
- 211 Pc : A vous de me dire...
- 212 E1RAc : ben, on verra si tout est bien branché, mais on verra pas si c'est bien réglé.
- 213 E1RAc : Bon ben ce qu'on va faire, c'est voir avec la tablette si tout est branché comme il faut. Si c'est bon, on règle tout et on valide à l'écran.
- 214 E2RAc : On commence avec le joystick ? ok ?
- 215 E1RAc : OK.
- 216 E2RAc : Alors la partie « Up » correspond à ce numéro.
- 217 E1RAc : Ouai c'est bon.
- 218 E2RAc : « Down », ça va ici.
- 219 E1RAc : Yess
- 220 E2RAc : « Left » et « Right » ça va là et là...
- 221 E1RAc : C'est tout bon.
- 222 E1RAc : Allez on paramètre tout.
- 223 E2RAc : Faut rester appuyé pour valider.

- 224 E1RAc : C'est bon, il l'a pris en compte.  
 225 E1RAc : Fais pareil pour « Down ».  
 226 E2RAc : C'est bon...  
 227 E1RAc : Bon après c'est pareil pour le reste...  
 228 E1RAc : Oh attends, tu te trompes de case là...  
 229 E2RAc : Ah ouai, voilà.  
 230 E2RAc : Tout est bon, allez on teste.  
 231 E2RAc : Ça bouge, parfait !...  
 232 E1RAc : ça y est-il avance  
 233 E1RAc : Vas y va là...  
 234 E1RAc : Fais tester...  
 235 E2RAc : cinq minutes...  
 236 Pc : Ça va vous vous amusez bien ? Alors ce paramétrage à l'air correct...  
 237 E1RAc : Oui monsieur, regardez !  
 238 Pc : Parfait... Et le câblage, ça allait ?  
 239 E2RAc : Oui on a contrôlé avec l'appli et puis après comme ça marchait sur l'écran, voilà quoi.

Codification relative aux échanges des élèves n'ayant pas été sensibilisé à l'utilisation de la réalité augmentée et apparentés à un niveau scolaire satisfaisant.

ELEVE N°1	ELEVE N°2	PROFESSEUR
E1NRAa	E2NRAa	Pna

- 240 E2NRAa : T'es OK avec ça ?  
 241 E1NRAa : Oui, OK.  
 242 E2NRAa : Brancher le câble.  
 243 E1NRAa : Oui, après faut naviguer sur l'écran.  
 244 E2NRAa : Oui, dans « retropi ».  
 245 E1NRAa : C'est ça.  
 246 Pna : OK, ça commence bien, qu'allez-vous faire ensuite ?  
 247 E2NRAa : On va paramétrer le joystick ?  
 248 Pna : Et toi, tu en penses quoi ?  
 249 E2NRAa : Oui pareil, faut régler les manettes...  
 250 Pna : vous êtes sûr ?  
 251 E2NRAa : Heuuu... Oui Monsieur.  
 252 E1NRAa : Va dans paramétrer...



- 253 E2NRAa : Ah c'est en anglais... je crois que le joystick n'est pas détecté.... Ça veut dire quoi « hold » ? ...
- 254 E1NRAa : J'sais pas, mais il faut que t'appui dessus.
- 255 E2NRAa : T'as bien mis « Down » pour en bas ?...
- 256 E2NRAa : Ah ouai, il est reconnu.... Il faut dire quand on va vers le haut et tout et tout...
- 257 E1NRAc : oui à chaque position faut enregistrer... sinon y a rien qui bouge.
- 258 Pna : c'est bien.
- 259 E2NRAa : Alors, là on va faire pour le joystick... faut dire quand ça monte et tout et tout.
- 260 Pna : Allez – y, vous pouvez commencer le paramétrage. Mais pensez aussi à vérifier si tout est conforme structurellement parlant.
- 261 E2NRAa : Comment ça...
- 262 Pna : Paramétrer c'est bien, mais encore faut-il être sûr de ce que l'on paramètre...
- 263 E2NRAa : Mais c'est juste ou pas ?
- 264 Pna : Nous allons vite voir si vous avez bien compris les interactions des différents éléments de la borne d'arcade. Si vous ne faite que paramétrer... on va voir. Ne pensez pas que « Software ». Pensez aussi « Hardware » !
- 265 E2NRAa : Ça veut dire qu'il faut vérifier les composants, ça.
- 266 E1NRAa : Attends tu veux vérifier tous les composants ???
- 267 E2NRAa : Ben ceux qu'on paramètre... déjà...
- 268 E1NRAa : Ouai c'est sûr.
- 269 Pna : Hop Hop Hop... attendez, vous vérifier tout à l'œil ? Mais nous n'avons pas un outil spécifique pour ça ?
- 270 E2NRAa : Heuuu oui la tablette c'est ça ?
- 271 E1NRAa : Ah ouai c'est le truc de réalité augmentée qu'il faut utiliser...
- 272 E2NRAa : Vas-y, passes moi la tablette.
- 273 E1NRAa : Attends, du coup c'est cette appli qu'il faut prendre. ?
- 274 E2NRAa : Ouai j'crois. Ouvre là pour voir ?
- 275 E1NRAa : Oui c'est bien celle-là.
- 276 E2NRAa : Tu le fais ou je le fais ?
- 277 E1NRAa : Vas-y j'essaye.
- 278 E2NRAa : Met la tablette devant la borne. Comme ça là.
- 279 E2NRAa : Ah ça y est, regardes on voit le câblage des boutons.
- 280 E1NRAa : Allez ben on peut vérifier là. On a tout pour...
- 281 Pna : Alors, c'est bon pour vous ? Ça avance ?
- 282 E2NRAa : Oui Monsieur, ça va. On regarde si c'est bon avec l'appli.
- 283 Pna : Quand vous aurez tout vérifié, continuer la config.
- 284 E2NRAa : Bon ben le joystick c'est bon, c'est connecté pareil que l'appli.
- 285 E1NRAa : T'as vu pour toutes les directions ?
- 286 E2NRAa : Et Oui ma fois...

- 287 E1NRAa : Bon passe au « start » alors.
- 288 E2NRAa : fais voir ?... Ouai c'est pareil.
- 289 E1NRAa : Le « crédit ».
- 290 E2NRAa : Nickel.
- 291 E2NRAa : Tiens, regardes si c'est bon pour les autres boutons....
- 292 E1NRAa : Touches pas trop les fils non plus, tu risques de tout péter...
- 293 E2NRAa : Ça va je touche avec les yeux....
- 294 E1NRAa : C'est bon monsieur on a tout vérifier y a pas de problème, on paramétré du coup... c'est bien ça ?
- 295 Pna : Si les infos données par l'appli de réalité augmentée sont les mêmes que votre borne réelle alors ok. Passez à la suite.
- 296 E2NRAa : Bon alors on avait dit paramétrage...
- 297 E1NRAa : C'est là.
- 298 E2NRAa : J'ai vu merci.
- 299 E2NRAa : Bon et là faut enregistrer les directions.
- 300 E1NRAa : Reste appuyé
- 301 E2NRAa : Ah voilà ça marche
- 302 E2NRAa : Faut faire toutes les directions du joystick et les boutons ?
- 303 E1NRAa : Ben oui, après j'sais pas si on a besoin de tous les boutons en fait...
- 304 Pna : Alors ça, ça dépendra des jeux.... Mais dans le doute, paramétrer les tous.... Comme ça, ça sera fait...
- 305 E2NRAa : Bon allez faut tous les faire.
- 306 E1NRAa : alors le bouton 1, vas y reste appuyé...
- 307 E2NRAa : Voilà il est là.
- 308 E2NRAa : Parfait.
- 309 E1NRAa : Allez le 2.
- 310 E2NRAa : C'est bon.
- 311 E1NRAa : le trois
- 312 E2NRAa : C'est bon.
- 313 E2NRAa : vas-y fini les autres.
- 314 E1NRAa : Sérieux je fais toujours tout...
- 315 E2NRAa : C'est bon, touche plus rien.

Codification relative aux échanges des élèves n'ayant pas été sensibilisé à l'utilisation de la réalité augmentée et apparentés à un niveau scolaire passable.

ELEVE N°1	ELEVE N°2	PROFESSEUR
E1NRAb	E2NRAb	Pnb

- 316 E1NRAb : Monsieur, on vous fait voir quand c'est fait ?
- 317 Pnb : Avancez en autonomie avec votre proposition de mise en service...
- 318 E1NRAb : Oui, mais si on s'est trompé...
- 319 Pnb : Ne vous inquiétez pas, déjà vous ne risquez rien, et je surveille en passant dans les rangs... Après, si vraiment vous bloquez, appelez-moi... mais je tiens compte de votre degré d'autonomie dans cette activité.... Donc si vous m'appellez, faites-en sorte d'avoir bien réfléchi à la question à poser... D'accord ?
- 320 E1NRAb : D'accord Monsieur.
- 321 E2NRAb : D'accord Monsieur.
- 322 E1NRAb : Vas-y recommence...
- 323 E2NRAb : Encore ?!
- 324 E1NRAb : Ben oui ça marche pas... c'est qu'il manque un truc là..
- 325 E2NRAb : Ben fais-le alors...
- 326 E1NRAb : Donne...
- 327 E2NRAb : Non mais ça je l'ai fait quarante fois...
- 328 E1NRAb : Tais-toi, t'es pas bon...
- 329 E2NRAb : Oh comment tu parles....
- 330 Pnb : Oh les gars Stop, concentrez-vous un peu, le temps passe...
- 331 E1NRAb : Bon déjà, le câble est bien branché... ça, ça va...
- 332 E1NRAb : Après c'est où... « retopi » ....
- 333 E2NRAb : Après tu vas là... je l'ai fait tout à l'heure ça.
- 334 E1NRAb : Tu m'énerves.
- 335 E2NRAb : C'est ça, il est lancé, maintenant ... c'est là que j'suis pas sûr...
- 336 E1NRAb : Qu'est ce t'a pris tout à l'heure...
- 337 E2NRAb : Ben j'ai ouvert ça, mais y a rien dedans...
- 338 E1NRAb : Ben c'est que c'est pas là alors...
- 339 E2NRAb : Ben va là pour voir...
- 340 E1NRAb : C'est ce que j'fais....
- 341 E1NRAb : Et ouaiiii c'est là... sérieux... t'es pas bon...
- 342 E2NRAb : Arrêtes...
- 343 E1NRAb : ... J'hésites là...
- 344 E1NRAb : Faut pouvoir associer les trucs.
- 345 E2NRAb : Ben t'as qu'à mettre un numéro...
- 346 E1NRAb : Mais non ça marche pas comme ça...
- 347 E1NRAb : Déjà tu peux rien écrire...

- 348 E2NRAb : Attends, je demande au prof...
- 349 E1NRAb : Monsieur, on peut rien écrire c'est normal ??
- 350 Pnb : Oui c'est normal, reprenez vos docs ressources...
- 351 Pnb : Et n'oubliez pas que vous avez plusieurs ressources... et différents outils pour vous aider...
- 352 E1NRAb : Ah d'accord.
- 353 E2NRAb : Bon ben en fait fallait juste rester appuyé....
- 354 E1NRAb : On commence par le joystick...
- 355 E2NRAb : Oui, fait la droite en premier, après on fait gauche, haut et bas....
- 356 Pnb : OK, pensez aussi à vérifier si les composants, tels qu'ils sont dans la borne, sont associés à leurs fonctions... regardez si tout est bien cohérent....
- 357 E1NRAb : Bon ben ça c sera à la fin.
- 358 E2NRAb : Ben non... si c'est pas cohérent et qu'on a tout réglé, faudra tout refaire...
- 359 E1NRAb : Ben c'est pareil... ça sera aussi long de toute façon...
- 360 E1NRAb : bon le « up » c'est bon, il est détecté....
- 361 E2NRAb : Voilà, c'est bon, enregistre !...
- 362 E1NRAb : On passe à « descendre » ....
- 363 E1NRAb : Voilà...
- 364 E2NRAb : Allez « gauche » maintenant.
- 365 E1NRAb : C'est quoi déjà en anglais ?
- 366 E2NRAb : C'est toi qui es nul...
- 367 E2NRAb : C'est « Left ».
- 368 E1NRAb : Ça va.... Monsieur l'Anglais...
- 369 E1NRAb : Voilà le joystick c'est bon...
- 370 E2NRAb : Ouai mais le prof a bien dit qu'il fallait voir si c'est cohérent... on l'a pas fait...
- 371 E1NRAb : Non mais on finit les boutons après on voit...
- 372 E2NRAb : Bon... si tu veux....
- 373 E1NRAb : On commence par lui.
- 374 E2NRAb : T'es sûr...
- 375 E1NRAb : Laisse comme ça... tu verras...
- 376 E2NRAb : Ouaiiii c'est ça...
- 377 E1NRAb : Voilà, là c'est détecté.
- 378 E2NRAb : Bon reste le bouton « crédit ».
- 379 E1NRAb : Voilà, il est là.
- 380 E2NRAb : et pareil, pour les autres...
- 381 E1NRAb : Allez c'est bon... vas-y on teste...
- 382 E2NRAb : Prends « Mario kart » paraît qu'il y est sur « retropi ».
- 383 Pnb : Alors vous avez tout paramétré... ?
- 384 E1NRAb : Oui monsieur. On va tester...

- 385 Pnb : Ok, mais ça aurait été judicieux de vérifier, avant, si les boutons correspondent bien aux fonctions qui leurs sont attribuées...
- 386 E2NRAb : Tu vois j'te l'avais dit...
- 387 E1NRAb : qu'est ce tu m'as dit, toi...
- 388 Pnb : Est-ce que vous avez bien compris ce que l'on attend de vous là... ?
- 389 E2NRAb : Ben faut voir avec la réalité augmentée si tout est bien connecté ? si le « haut » est bien branché aux bonnes broches. Le bouton « start » aux bonnes broches. Et tout et tout...

Codification relative aux échanges des élèves n'ayant pas été sensibilisé à l'utilisation de la réalité augmentée et apparentés à un niveau scolaire insuffisant.

ELEVE N°1	ELEVE N°2	PROFESSEUR
E1NRAc	E2NRAc	Pnc

- 390 Pnc : Pour vous assurer de bien répondre à la consigne, vous allez commencer par prendre le temps de repérer tous les outils et ressources que vous avez à disposition...
- 391 E2NRAc : Il faut allumer l'écran d'abord.
- 392 E1NRAc : Attends, il a dit de tout regarder avant.
- 393 E2NRAc : Comme elle est belle...Trop sympa cette console...
- 394 Pnc : On vous demande quoi dans la consigne ?
- 395 E1NRAc : Ben faut faire fonctionner la borne...
- 396 Pnc : Exactement donc pour faire cela, vous n'allez pas foncer tête baissée. Vous allez devoir réfléchir aux étapes de mise en service. D'accord ?
- 397 Pnc : Si tout est clair à ce niveau, vous devriez éviter les erreurs et peut être même modifier certaines choses, si cela est nécessaire...
- 398 E1NRAc : OK.
- 399 E2NRAc : Attends, avant faut brancher la carte.
- 400 E1NRAc : Tiens le câble est là...
- 401 E2NRAc : Voilà, y a la led qui s'éclaire... c'est bon l'écran s'allume.
- 402 E1NRAc : Après c'est où ?
- 403 E1NRAc : Faut trouver le bon endroit...
- 404 E1NRAc : Ça doit être lui...
- 405 E2NRAc : Donc, la carte est alimentée, l'écran est allumé... Y a « retropi » ...
- 406 E2NRAc : Et après... va dans le « setting » ....
- 407 E1NRAc : Ça doit être lui...
- 408 E2NRAc : T'es sur
- 409 E1NRAc : non ça c'est quoi ça... non là.

- 410 E1NRAc : Ouai regardes, y a des emplacements « undefined » ...
- 411 E1NRAc : C'est ça qui faut enregistrer.
- 412 E2NRAc : Ouai c'est pas mal ça...
- 413 E1NRAc : Là dans la première ligne... c'est quoi... ça veut dire quoi...
- 414 Pnc : excusez-moi, je vous coupe... mais si vous ne savez pas « qui » correspond à « quoi », suivez le flux de l'information... partez d'un point A que vous connaissez, que vous avez déjà identifié et suivez jusqu'au point B...
- 415 E1NRAc : Ok je crois que j'ai compris...
- 416 E2NRAc : En fait pour mettre en marche la borne, va falloir vérifier si tout est ok à chaque étape c'est ça ?
- 417 E1NRAc : Oui c'est ça.
- 418 E1NRAc : Donc la première ligne c'est le joystick...
- 419 E1NRAc : Faut appuyer sur le truc, là...
- 420 E1NRAc : Mais attends... y a 4 trucs à régler et on a qu'une ligne....
- 421 E2NRAc : Non mais on fait une direction par ligne c'est tout...
- 422 E1NRAc : Mais faut être sûr de ce qu'on enregistre...
- 423 E2NRAc : Ben on va essayer comme ça...
- 424 E1NRAc : OK.
- 425 E1NRAc : Là, on met haut
- 426 E1NRAc : Là on met bas
- 427 E1NRAc : Droite
- 428 E1NRAc : Gauche...
- 429 E2NRAc : Là c'est bon pour le joystick du coup....
- 430 E1NRAc : On essaye ??
- 431 E2NRAc : Ouai on va voir sur « Mario Kart ».
- 432 E1NRAc : Ah ouai mais c'est mort... vu qu'on n'a pas paramétré les boutons... On peut rien faire...
- 433 E2NRAc : C clair...
- 434 E2NRAc : Ben allez on fait les boutons aussi.
- 435 E1NRAc : C'est lequel le premier ?
- 436 E2NRAc : Non, mais on s'en f... du premier....
- 437 E1NRAc : Comment ça.
- 438 E2NRAc : Peu importe... du moment que ce qu'on règle le bouton... c'est pas l'ordre le plus important...
- 439 E1NRAc : OK.
- 440 E1NRAc : Du coup on va faire le « start ».
- 441 E2NRAc : Allez d'accord.
- 442 E1NRAc : Après on fait lui là, le « crédit ».
- 443 E1NRAc : OK.
- 444 E2NRAc : Le 1.... Le 2... Le 3...
- 445 E2NRAc : Voilà c'est fini on a tous paramétré...
- 446 E1NRAc : Vas-y on reste avec « Mario ».

- 447 E2NRAc : Oh sérieux... je le savais...
- 448 E1NRAc : Mais pourquoi il avance pas....
- 449 E1NRAc : Ne me dit pas que ça marche pas... fais voir ?
- 450 E2NRAc : ça bugg...
- 451 E1NRAc : J'suis dégouté.
- 452 E2NRAc : Le bouton est cassé...
- 453 E2NRAc : Mais pourquoi, on a tout fait...
- 454 E1NRAc : Ça doit être mal branché...
- 455 E1NRAc : Monsieur... Monsieur, vous pouvez venir ?
- 456 Pnc : Qu'est-ce qu'il vous arrive... ?
- 457 E2NRAc : Monsieur, on a tout fait y a rien qui marche...
- 458 Pnc : c'est que vous n'avez pas tout fait justement...
- 459 E1NRAc : C'est possible que ça soit la borne ?
- 460 E2NRAc : Ou que la carte n'est pas assez puissante... »
- 461 Pnc : Ça m'étonnerait elles ont toutes été vérifiée...
- 462 Pnc : Allez on reprend tout. En quelques mots, donnez-moi votre procédure....
- 463 E1NRAc : Ben on a tout branché.
- 464 Pnc : OK
- 465 Pnc : On a vu que la carte s'allumée en vert... et que l'écran a suivi...
- 466 Pnc : OK, c'est bon...
- 467 E1NRAc : Après, on a voulu testé le jeu mais les boutons marchaient pas...
- 468 E2NRAc : Du coup on a tout réglé...
- 469 Pnc : bon ben jusque-là ça va...
- 470 E1NRAc : Ben alors pour quoi ça marche pas...
- 471 Pnc : Alors déjà, je ne vous donnerai pas la réponse, c'est vous qui allez trouver tout seul et deuxièmement, c'est bien ce que je vous disiez tout a l'heure. Vous n'avez pas tout fait.... Il manque la dernière étape... celle qui vous fera comprendre ce qu'il se passe au niveau interne entre l'acquisition et la restitution....
- 472 Pnc : Allez, cherchez encore... il vous reste encore un peu de temps pour réussir à tout mettre en service. Allez...
- 473 E1NRAc : C'est le joystick qui va pas...
- 474 Pnc : Pourquoi ? Qu'est ce qui te fait dire ça ?
- 475 E1NRAc : Ce n'est pas comme ce qu'on a vu au début (dans la vidéo de présentation) ... »
- 476 Pnc : Que doit tu faire dans ta procédure et que tu n'as pas fait ?
- 477 E1NRAc : Heuuu... changer le joystick...
- 478 E2NRAc : Non, je sais... peut être qu'il est débranché...
- 479 E1NRAc : C'est bon, ça marche...
- 480 EN2Rac : Parfait....
- 481 E1NRAc : Voilà on a fini...