



HAL
open science

Implication des fonctions exécutives dans les activités de codage et de robotique : un effet de réciprocité ?

Karen Abou Assi

► To cite this version:

Karen Abou Assi. Implication des fonctions exécutives dans les activités de codage et de robotique : un effet de réciprocité ?. Education. Normandie Université, 2022. Français. NNT : 2022NORMR043 . tel-04717319

HAL Id: tel-04717319

<https://theses.hal.science/tel-04717319v1>

Submitted on 1 Oct 2024

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.



Normandie Université

THÈSE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité SCIENCES DE L'EDUCATION

Préparée au sein de l'Université de Rouen Normandie

Implication des fonctions exécutives dans les activités de codage et de robotique : un effet de réciprocité ?

**Présentée et soutenue par
KAREN ABOU ASSI**

**Thèse soutenue le 12/07/2022
devant le jury composé de**

M. VASSILIS KOMIS	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université de Patras	Rapporteur du jury
MME FRANÇOISE POYET	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, UNIVERSITE LYON 1 CLAUDE BERNARD	Membre du jury
M. JACQUES BEZIAT	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université de Caen Normandie	Président du jury
M. JEAN LUC RINAUDO	PROFESSEUR DES UNIVERSITES, Université de Rouen Normandie	Directeur de thèse

Thèse dirigée par JEAN LUC RINAUDO (Centre Interdisciplinaire de Recherche Normand en Education et Formation)

RÉSUMÉ

La présente recherche étudie les liens entre le codage et la robotique en tant que savoir à enseigner, et les fonctions exécutives froides et chaudes. L'enseignement du codage et de la robotique est encouragé par les institutions éducatives dans une perspective de développement des compétences du XXI^e siècle et de la littératie numérique à travers le développement d'une pensée informatique chez les élèves. Cet enseignement se base sur les principes du constructionnisme. Il implique un engagement actif de la part des élèves, privilégie l'apprentissage collaboratif et donne à l'enseignant un rôle d'enseignant-facilitateur. Ce dernier doit pousser les élèves à bricoler, créer et collaborer en utilisant des stratégies de métacognition. Un protocole de codage et de robotique a été conçu et présenté à 35 élèves âgés de 9 à 11 ans scolarisés en classe de CM1 et CM2, dans différents établissements scolaires des secteurs publics ou privés au Liban. Les défis présentés par les activités de codage et de robotique augmentaient en difficultés de séance en séance et nécessitaient un engagement actif et une collaboration de la part des participants. Des observations structurées et des mesures répétées ont permis de montrer que le protocole de codage et de robotique conçu dans le cadre de cette étude a permis l'engagement des fonctions exécutives dans l'apprentissage du codage et de la robotique, et que réciproquement, les séances de codage et de robotique présentées ont permis le développement des fonctions exécutives froides et chaudes. De plus, les données collectées ont permis de montrer que tous les participants pouvaient bénéficier des séances de codage et de robotique indépendamment de leur niveau socio-économique, de leur sexe, de leur participation antérieure à des séances de robotique ou à leur niveau exécutif.

MOTS CLÉS :

Codage et Robotique – Fonctions Exécutives – Apprentissage Collaboratif – Pratiques Pédagogiques.

ABSTRACT

The present research investigates the relationship between teaching coding and robotics and cold and hot executive functions. Integrating coding and robotics in school curricula is promoted by educational entities with the aim of working on the 21st century skills and digital literacy through the development of computational thinking in students. Teaching coding and robotics is based on the principles of constructionism. It implies an active engagement of the students, it privileges collaborative learning and gives the teacher the role of facilitator. The teacher is supposed to encourage students to tinker, create and collaborate using metacognitive strategies. A coding and robotics protocol was designed and presented to 35 students aged 9 to 11 years old in grade 2 and grade 3 in different public and private schools in Lebanon. The challenges presented by the coding and robotics activities increased in difficulty from session to session and required active engagement and collaboration from the participants. The data collected through structured observations and repeated measures showed that the coding and robotics protocol designed in this study allowed to engage the executive functions during coding and robotics activities, and that conversely, coding and robotics sessions allowed the development of both cold and hot executive functions. Furthermore, the data collected showed that all participants were able to benefit from coding and robotics sessions regardless of their socioeconomic level, gender, previous participation in robotics sessions, or executive level.

KEYWORDS:

Coding and Robotics - Executive Functions - Collaborative Learning - Educational Practices.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse Monsieur Jean-Luc Rinaudo, pour sa bienveillance, sa disponibilité, son accompagnement et ses précieux conseils tout au long du travail.

Je remercie Monsieur Jacques Béziat, Monsieur Vassilis Komis, Madame Rima Malek et Madame Françoise Poyet pour avoir accepté de participer à mon jury de thèse.

Je remercie également Madame Norma Zakaria pour ses conseils précieux.

Un profond remerciement est adressé à mes parents, je n'aurai pas été en capacité de me concentrer sur ma carrière professionnelle et académique et sur mon développement personnel sans leur soutien quotidien.

Je souhaite aussi remercier ma sœur et mon frère, Jeanine et Jean pour m'avoir donné un modèle extraordinaire à suivre et pour avoir fait de moi non seulement la plus chanceuse des petites sœurs, mais aussi la plus chanceuse des tantes. Merci pour leur présence durant toutes les étapes de ma vie. Je souhaite remercier aussi mon grand frère Amine, présent dans nos rassemblements et nos pensées. J'espère être à la hauteur des attentes qu'il avait.

Le plus profond des remerciements est destiné à mes quatre neveux. Vous êtes la source de ma force, de mon bonheur et de ma résilience. Charbel, Joe et Marc votre contribution à ce travail de recherche est inestimable ; je ne m'en serai jamais aussi bien sortie sans votre aide. Mathéo, ta présence durant ma dernière semaine de rédaction fut source de sérénité.

Un remerciement particulier est adressé à ma tante pour avoir toujours été d'un grand support et pour son amour inconditionnel.

Un dernier remerciement est adressé à mes meilleures amies. Merci pour leur qualité d'écoute, leurs encouragements, leur soutien et leur présence. Merci d'être les plus proches malgré la distance physique qui nous sépare.

« De la disparition du passé, on se console facilement ; c'est de la disparition de l'avenir qu'on ne se remet pas. Le pays dont l'absence m'attriste et m'obsède, ce n'est pas celui que j'ai connu dans ma jeunesse, c'est celui dont j'ai rêvé, et qui n'a jamais pu voir le jour. »

Amine Maalouf

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION	12
II. L'ENSEIGNEMENT / APPRENTISSAGE DU CODAGE ET DE LA ROBOTIQUE	19
II.1. DEFINITION ET HISTORIQUE	19
II.2. EXIGENCES SOCIETALES FACE AU NUMERIQUE	23
II.2.1. COMPETENCES DU XXI ^E SIECLE	23
II.2.2. LITTERATIE NUMERIQUE	24
II.2.3. PENSEE INFORMATIQUE	27
II.3. CONCEPTION ET ENSEIGNEMENT DE LA ROBOTIQUE ET DU CODAGE	34
II.3.1. CRITERES DE CONCEPTION DE BASE : LE SCENARIO PEDAGOGIQUE	35
II.3.2. THEORIES EN LIEN AVEC L'ENSEIGNEMENT/APPRENTISSAGE DU CODAGE ET DE LA ROBOTIQUE	36
II.4. ÉTAT DES LIEUX AU NIVEAU INTERNATIONAL	43
II.4.1. EN EUROPE	44
II.4.2. EN ASIE	48
II.4.3. EN AMERIQUE	50
II.4.4. EN OCEANIE	52
II.4.5. En Afrique	53
II.5. ÉTAT DES LIEUX AU LIBAN	54
II.5.1. LE CODAGE ET LA ROBOTIQUE AU SEIN DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES PUBLICS	56
II.5.2. LE CODAGE ET LA ROBOTIQUE AU SEIN DES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES PRIVES	58
II.6. RECHERCHES EFFECTUEES AU NIVEAU INTERNATIONAL	66
II.6.1. CLASSES MATERNELLES	66
II.6.2. CLASSES PRIMAIRES	68
II.6.3. Classes complémentaires et classes secondaires	71
II.7. SYNTHESE : LE CODAGE ET LA ROBOTIQUE ENTRE ATTENTES INSTITUTIONNELLES ET RECHERCHES	74
III. LES FONCTIONS EXECUTIVES	77

III.1. DEFINITION, EMERGENCE DU TERME ET CLASSIFICATIONS	77
III.2. CONTROLE INHIBITEUR	85
III.2.1. DEFINITION ET COMPOSANTES	85
III.2.2. Attention	87
III.2.3. Importance du contrôle inhibiteur	88
III.3. MEMOIRE DE TRAVAIL	91
III.3.1. DEFINITION ET SOUS-TYPES	91
III.3.2. IMPORTANCE DE LA MEMOIRE DE TRAVAIL	92
III.4. FLEXIBILITE COGNITIVE	94
III.4.1. DEFINITION	94
III.4.2. IMPORTANCE DE LA FLEXIBILITE COGNITIVE	95
III.5. RESOLUTION DE PROBLEMES ET PLANIFICATION	96
III.5.1. DEFINITION ET PROCEDURE	96
III.5.2. IMPORTANCE DE LA RESOLUTION DE PROBLEMES ET DE LA PLANIFICATION	98
III.6. FONCTIONS EXECUTIVES CHAUDES	99
III.6.1. DEFINITION	99
III.6.2. IMPORTANCE DES FONCTIONS EXECUTIVES CHAUDES	99
III.7. LES FONCTIONS EXECUTIVES : DES COMPETENCES NEUROLOGIQUES EN DEVELOPPEMENT	101
III.7.1. ORIGINE NEUROLOGIQUE DES FONCTIONS EXECUTIVES	101
III.7.2. DEVELOPPEMENT ET MATURATION DES FONCTIONS EXECUTIVES	102
III.7.3. MODELES DE FONCTIONNEMENT	104
A) MODELE DE BADDELEY	104
B) SYSTEME DE SUPERVISION ATTENTIONNELLE	105
III.8. ÉVALUATION DES FONCTIONS EXECUTIVES	107
III.9. ENTRAINEMENT CEREBRAL DES FONCTIONS EXECUTIVES	108
III.9.1. RENFORCEMENT INTENSIF D'UNE FONCTION EXECUTIVE	108
III.9.2. ENTRAINEMENTS METACOGNITIFS DES FONCTIONS EXECUTIVES	109
III.9.3. NIVEAU CHALLENGE DE L'ENTRAINEMENT DES FONCTIONS EXECUTIVES	109
III.10. REVUE DE LA LITTERATURE PORTANT SUR LES EFFETS DU CODAGE ET DE LA ROBOTIQUE SUR LES FONCTIONS EXECUTIVES	111
III.11. SYNTHESE : LIENS POSSIBLES ENTRE LE DEVELOPPEMENT DES FONCTIONS EXECUTIVES ET LES COURS DE CODAGE ET DE ROBOTIQUE	117

IV. HYPOTHESES	118
V. METHODOLOGIE	122
V.1. POPULATION	123
V.2. VARIABLES	125
V.3. MODELE DE RECHERCHE	128
V.3.1. APPROCHE METHODOLOGIQUE MIXTE	128
V.3.2. DONNEES QUANTITATIVES	129
V.3.3. DONNEES QUALITATIVES	136
A) LES OBSERVATIONS STRUCTUREES DES INTERACTIONS EN GROUPE.	136
B) LES TRACES INFORMATIQUES	137
C) LES COURTES ENTREVUES INDIVIDUELLES	137
V.4. PROTOCOLE DE CODAGE ET DE ROBOTIQUE	139
VI. RELEVÉ DES DONNÉES COLLECTÉES	143
VI.1. RELEVÉ DES DONNÉES QUALITATIVES	143
VI.1.1. RELEVÉ DES OBSERVATIONS STRUCTUREES DES INTERACTIONS EN GROUPE	143
A) OBSERVATIONS EFFECTUEES DURANT LA TROISIEME SEANCE D'ENTRAINEMENT :	143
B) OBSERVATIONS EFFECTUEES DURANT LA SIXIEME SEANCE D'ENTRAINEMENT :	146
C) OBSERVATIONS EFFECTUEES DURANT LA NEUVIEME SEANCE D'ENTRAINEMENT :	149
VI.1.2. RELEVÉ DES TRACES INFORMATIQUES	155
VI.1.3. RELEVÉ DES COURTES ENTREVUES INDIVIDUELLES	158
VI.2. TRANSCRIPTION DES DONNÉES QUANTITATIVES	161
VI.2.1. ANALYSE DESCRIPTIVE : LES INDICATEURS DE LA VARIABLE INDEPENDANTE	161
VI.2.2. MESURES REPETÉES : LES INDICATEURS DE LA VARIABLE DEPENDANTE EN T ₀ , T ₁ ET T ₂	162
VI.2.3. IMPACT DES VARIABLES INDEPENDANTES SUR LES VARIABLES DEPENDANTES	169
VI.2.4. LE QUESTIONNAIRE D'ENQUETE	175
VII. DISCUSSION	178

VII.1. SYNTHÈSE DES RESULTATS	178
VII.1.1. DEVELOPPEMENT DES FONCTIONS EXECUTIVES	178
VII.1.2. DIFFERENCES INDIVIDUELLES	180
VII.1.3. INFLUENCE DES VARIABLES PARASITES	181
VII.2. RELATION DE RECIPROCIÉTÉ ENTRE LES FONCTIONS EXECUTIVES ET LES SEANCES DE CODAGE ET DE ROBOTIQUE	182
VII.3. MODELISATION DE LA SITUATION PEDAGOGIQUE	184
VII.4. LIMITES	193
VII.4.1. LIMITES LIEES AUX CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES	193
VII.4.2. LIMITES LIEES AUX OUTILS D'ÉVALUATION	194
VIII. CONCLUSION	196
IX. BIBLIOGRAPHIE	203
X. ANNEXES	242

Table des figures

Figure 1 : Regroupement des compétences du XXI ^e siècle en 3 grands domaines (Pellegrino & Hilton, 2012).	23
Figure 2 : Attracteurs scolaires des technologies informatisées et processus ICA (instrumentation, contextualisation, acculturation).	26
Figure 3 : Modèle décrivant l'influence du codage sur les résultats scolaires (Popat & Starkey, 2019)	32
Figure 4 : Aperçu des cinq activités constituant le scénario de la robotique en Éducation	36
Figure 5 : Grilles de Bales (1950) intitulée « Le système des catégories utilisées en observation et leur relation avec les principaux référentiels ».	40
Figure 6 : Place des fonctions exécutives dans l'organisation des principales fonctions cognitives. Retiré de Moret A. & Mazeau M., Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent p.28.	81
Figure 7 : Traduction du modèle de Baddeley expliquant le fonctionnement de la mémoire de travail.	105
Figure 8 : Schéma représentant la collecte et l'analyse des données au niveau de l'approche méthodologique mixte à conception convergente.	129
Figure 9 : Démarche expérimentale suivie avec un plan intra-sujets.	135
Figure 10 : Le développement des fonctions exécutives grâce à des séances de codage et de robotique.	183
Figure 11 : Relation de réciprocité entre fonctions exécutives et codage et robotique.	183
Figure 12 : Modélisation de la situation pédagogique de l'enseignement-apprentissage du codage et de la robotique.	185

Figure 13 : Place de l'enseignant relativement aux attentes institutionnelles, au savoir à enseigner et aux pratiques pédagogiques. 186

Figure 14 : Le codage et la robotique outil de développement des fonctions exécutives de l'apprenant grâce à des pratiques pédagogiques adaptées. 188

Table des tableaux

Tableau 1 : Termes employés par les auteurs pour nommer l'inhibition du comportement et le contrôle des interférences.	86
Tableau 2 : Tâches cognitives utilisées.	107
Tableau 3 : Type de collecte des données pour les différents indicateurs.	126
Tableau 4 : Description du protocole implémenté	142
Tableau 5 : Nombres d'enfants exhibant les comportements cités dans la grille de Bales.	154
Tableau 6 : Nombres d'enfants exhibant au moins un comportement par type de fonctions selon la grille de Bales.	154
Tableau 7 : Commandes utilisées durant la onzième séance par les sept groupe.	156
Tableau 8 : Nombre de commandes correctement effectuées durant la douzième séance.	156
Tableau 9 : Mots parus d'une manière récurrente dans le discours des participants.	159
Tableau 10 : Mots parus d'une manière récurrente dans le discours des participants catégorisés selon le genre.	160
Tableau 11 : Croisements des indicateurs de la variables indépendante par rapport aux frais de scolarité.	162
Tableau 12 : Croisements des indicateurs de la variables indépendante par rapport aux frais du nombre de catégories trouvées au WCST-64.	162
Tableau 13 : Analyse statistique de l'influence des conditions des participants sur les scores et les taux d'évolution des fonctions exécutives.	172
Tableau 14 : Analyse statistique de l'influence des conditions des participants croisées entre elles sur les scores et les taux d'évolution des fonctions exécutives.	174

I. Introduction

Le 30 janvier 2019, une proposition de loi soutenant l'intégration des cours de technologies de l'information et de la communication (TIC) dans les programmes des écoles publiques libanaises a été présentée au conseil des ministères au Liban. Cette proposition de loi vise à rendre l'enseignement du codage, de la robotique, de l'intelligence artificielle et du *blockchain* obligatoire ainsi qu'à développer la pensée informatique sous la discipline des technologies de l'information et de la communication. Cette discipline serait au programme d'enseignement des classes de la maternelle jusqu'en terminale. En mars 2022, la proposition de loi a été validée par le conseil ministériel libanais sans toutefois définir le cadre et le programme d'enseignement de cette discipline. Des travaux de conception du cursus sont en cours de réflexion par des comités d'experts au sein du pays. Cette suggestion de loi était défendue par la nécessité de proposer des contenus d'enseignement qui évoluent relativement au déploiement technologique ainsi qu'à la transformation de la demande du marché.

Le curriculum scolaire libanais actuellement en cours a été élaboré et mis en place en 1997. Il existe dans ce programme un texte mentionnant l'importance des technologies éducationnelles sans que les objectifs des cycles n'appellent à l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement (TICE). Le programme mentionne la possibilité de présenter des cours optionnels d'informatique. Certaines écoles publiques sont équipées de salles d'informatique et tentent de recruter un enseignant afin de proposer ce cours aux élèves. Le défi majeur réside toutefois dans l'utilisation de ces outils de manière à guider l'élève à construire son savoir par un effort personnel et individuel. Ce programme ne cible par aucun de ses objectifs le développement des capacités de raisonnement critique afin de préparer les élèves à vivre et travailler dans une société moderne en mutation (Association Libanaise des sciences de l'éducation, 2006). Hélas, le programme d'enseignement actuel valorise les méthodes traditionnelles de transmission / appropriation passives alors qu'au niveau international les politiques éducatives visent des méthodes actives qui mobilisent les connaissances,

favorisent les interactions et mènent vers la construction d'un produit final (Meirieu, 2006 ; Lebrun, Smidts, & Bricoult, 2011).

La suggestion de loi visant l'intégration des cours de TIC dans les programmes était fortement médiatisée et mettait en valeur l'importance de la mise à jour du curriculum actuel qui devrait être accompagné d'une vision plus pertinente portant sur l'engagement actif des élèves et l'apprentissage collaboratif.

Ayant eu accès à des cours d'informatique assez développés durant ma formation scolaire et ayant pu investir les connaissances et compétences acquises grâce à ces cours, j'étais convaincue de la pertinence de cette suggestion de loi dans un pays où les inégalités sociales sont très importantes et où l'éducation dépend du milieu de scolarisation. En fait, les établissements scolaires au Liban ne suivent pas tous le même programme scolaire.

Par ailleurs, étant passionnée par les jeux de construction et les jeux de planification, ce sont le codage et la robotique qui m'ont le plus interpellée au niveau de cette suggestion de loi. Je me suis mise à découvrir différents sites web de codage et différents kits de robotique.

Ce n'était pour autant pas mon unique passion. J'avais des intérêts particuliers pour la neuroéducation¹. Exerçant durant cette période en tant que psychomotricienne auprès d'enfants et d'adolescents ayant des difficultés ou des troubles au niveau des fonctions exécutives, je me questionnais en continu sur le rôle des établissements scolaires envers le développement des fonctions exécutives des élèves. Que pouvait faire l'École pour permettre aux élèves d'évoluer au niveau du raisonnement logique et des compétences d'adaptation ? Quel rôle les établissements scolaires ont-ils relativement à l'autorégulation et au contrôle des émotions et des comportements ? Comment les enseignants peuvent-ils pousser les élèves à être créatifs et ingénieux ? Les programmes scolaires doivent-ils être uniquement centrés sur des compétences académiques ou

¹ La neuroéducation est une discipline qui consiste à adapter au mieux les méthodes d'enseignement au fonctionnement cérébral. Ces champs de recherches combinent les neurosciences, la psychologie, l'anthropologie et l'éducation (Masson & Borst, 2017).

doivent-ils viser les compétences cognitives ? Pourquoi dit-on que certains établissements scolaires forment des élèves autonomes et ayant un raisonnement pertinent ?

Ces questionnements autour de la neuroéducation et des fonctions exécutives, ma passion pour les jeux de construction et de raisonnement ainsi que les discours fréquents dans les médias sur l'importance de la mise à jour des programmes scolaires et sur l'intégration des TIC ont initié les premières réflexions autour de mon sujet de thèse. Mes premières réflexions peuvent être résumées par une affirmation de Kangas (2010), qui écrit que la robotique permet aux élèves de plonger dans un environnement d'apprentissage ludique, favorisant l'imagination, la créativité, le raisonnement, l'abstraction et la co-création collaborative.

La littérature évoquant l'importance de l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires défend son importance par la nécessité de développer la pensée informatique. Un cours permettant le développement de la pensée informatique signifie qu'un grand effort éducatif et pédagogique sera mis en jeu, pour viser non seulement une amélioration des performances scolaires, mais aussi la motivation, l'autonomie, le développement des compétences du XXI^e siècle, la pensée logique, l'innovation et, bien sûr, l'apprentissage pour l'avenir (Acevedo-Borrega, Valverde-Berrocoso, & Garrido-Arroyo, 2022).

Le codage et la robotique permettent de construire des environnements dans lesquels un apprenant est « l'artisan de sa propre formation en se posant lui-même ses problèmes » (Denis, 2000, p. 196) et où il peut « par un comportement actif et constructif acquérir des méthodes d'analyse et de résolution de problèmes » (Denis, 2000, p. 196). Durant ces activités, les élèves seront amenés à manipuler, construire, créer des algorithmes, raisonner et concevoir des plans (Depover, Karsenti, & Komis, 2007).

Papert (1980), pionnier du constructionnisme et de l'utilisation du codage et de la robotique à des fins éducatives, encourageait l'apprentissage par la découverte grâce à la robotique. Selon lui, les étudiants doivent être poussés à manipuler des objets matériels (les robots) et à investir ce qu'ils ont déjà comme connaissances pour évoluer au niveau de leurs apprentissages. Selon Papert, la peur de se tromper empêche les élèves

d'apprendre. Or, lorsqu'ils construisent un robot, les élèves doivent commettre des erreurs et apprendre à les identifier (Papert & Harel, 1991). Le processus itératif qu'implique généralement la construction et la programmation d'un robot permet aux élèves d'expérimenter et d'observer les effets tangibles de leur expérimentation. Le résultat transmis par le robot servira de *feedback* qui permettra aux élèves de corriger leurs erreurs. Cela encourage les élèves à réfléchir de manière critique à ce qu'ils construisent et à essayer et réessayer jusqu'à ce qu'ils aboutissent à un résultat fonctionnel (Papert, 1980). Par ailleurs, il serait important de pousser les élèves à travailler en groupe, à partager leurs idées, à concrétiser leurs pensées et à construire ensemble (Papert, 1980).

En d'autres termes, les cours de codage et de robotique seraient un espace motivant où les élèves sont menés à raisonner, créer et collaborer. Raisonner nécessite une inhibition des réflexions automatiques pour être en capacité de trouver une solution adéquate ainsi qu'une mémorisation de la consigne à résoudre. Créer nécessite une flexibilité mentale pour trouver des alternatives et donner un sens au produit construit. Collaborer nécessite une autorégulation du comportement, une prise de décision et des interactions. Ces trois mots évoqués « raisonner, créer et collaborer » rappellent les fonctions exécutives froides qui sont le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail, la flexibilité mentale, la résolution de problème et la planification ainsi que les fonctions exécutives chaudes qui sont l'autorégulation du comportement, la cognition sociale et la prise de décision affective.

Les fonctions exécutives sont au cœur de multiples aspects du fonctionnement cognitif, social et affectif quotidien (Ganesan & Steinbeis, 2022). Elles permettent la réalisation d'objectifs immédiats ou à long terme, le contrôle des pensées et des actions, la manipulation et la restitution des informations pertinentes pour atteindre un but et une adaptation fluide face aux changements environnementaux (Roy, Fournet, Le Gall, & Roulin, 2021 ; Diamond A. , 2013). Elles sont impliquées à des degrés variés dans toute sorte d'apprentissages (Houdé & Borst, 2018).

Une étude récente a montré que l'exposition à des activités moins structurées que les tâches académiques est bénéfique pour les fonctions exécutives lorsque les élèves peuvent explorer, faire des choix et se poser des objectifs (Stucke, Stoet, & Doebel, 2022). En suivant le modèle du constructionnisme, le codage et la robotique pourraient prendre le modèle d'activités peu structurées. Mais pourraient-ils être bénéfiques pour le développement des fonctions exécutives ?

De ces réflexions découlent plusieurs questionnements. À quel degré les cours de codage et de robotique nécessiteraient-ils une mobilisation des fonctions exécutives ? L'intégration du codage et de la robotique dans les curricula scolaires pourrait-elle être un moyen de développement des fonctions exécutives par le biais de jeux de construction et de raisonnement proposés aux élèves ? Si c'est le cas, quels types d'élèves pourraient bénéficier de ces cours pour le développement des fonctions exécutives ?

Pour répondre à ce questionnement, se référer aux sciences de l'éducation et à la psychologie du développement s'avère nécessaire et c'est d'ailleurs du terrain commun à ces deux disciplines qu'est née la neuroéducation. Cette nouvelle discipline favorise le dialogue entre les chercheurs en psychologie et neurosciences d'une part et les enseignants et pédagogues d'autre part dans le but de concevoir de nouveaux dispositifs pédagogiques efficaces. Le travail effectué au niveau de cette recherche est ancré dans ces disciplines. Une situation pédagogique basée sur les avancées dans le champ des sciences de l'éducation sera proposée, expliquée et modélisée. Elle sera évaluée entre autres grâce à des outils et à une démarche, puisés du champ de la psychologie du développement.

Un protocole de codage et de robotique conçu en se basant sur les avancées dans les sciences de l'éducation sera proposé à 35 enfants libanais. Comme suggéré par les théories du constructionnisme, les participants auront un rôle central dans l'apprentissage du codage et de la robotique, ils pourront bricoler et créer. Un apprentissage collaboratif sera favorisé et l'enseignant prendra le rôle d'enseignant-facilitateur et accompagnera les participants grâce à des stratégies de métacognition. Les fonctions exécutives des participants seront évaluées afin de comprendre si les séances

de codage et de robotique pourraient permettre le développement des fonctions exécutives. De plus, les caractéristiques présentées par les élèves quant au niveau socio-économique, le genre, la participation antérieure à des séances de codage et de robotique et enfin le niveau exécutif seront évalués. Cela, afin de repérer si dans le cadre de cette étude, le développement des fonctions exécutives dépend des caractéristiques présentées par les participants.

L'écrit présenté dans ce manuscrit permettra d'apporter des réponses aux questionnements exposés.

Dans une première partie sera présenté le cadre théorique en lien avec le codage et la robotique. Nous détaillerons les attentes institutionnelles sur ce nouvel enseignement, nous présenterons ensuite les pratiques pédagogiques en lien avec l'enseignement/apprentissage du codage et de la robotique et nous exposerons un état des lieux international relatif à l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires. Ensuite, nous nous centrerons sur l'état des lieux au Liban et nous finirons par la présentation des recherches et études en lien avec le codage et la robotique.

Dans la deuxième partie, seront présentées les fonctions exécutives. Nous définirons le contrôle de l'inhibition, la mémoire de travail, la flexibilité mentale et la résolution de problèmes et la planification qui constituent les fonctions exécutives froides. Ensuite seront présentées les fonctions exécutives chaudes, notamment l'autorégulation du comportement, la cognition sociale et la prise de décision affective. Nous détaillerons également les outils et moyens permettant d'évaluer les fonctions exécutives. Subséquemment, nous expliciterons le lien entre les fonctions exécutives et le fonctionnement neurologique, puis nous expliquerons les stratégies permettant de développer les fonctions exécutives pour finir par les études mentionnant un lien entre le développement des fonctions exécutives et le codage et la robotique.

Dans la troisième partie sera présentée la méthodologie suivie. Dans cette étude, le chercheur prend une posture double : une posture d'observation participante comme il détient le rôle d'enseignant-facilitateur des ateliers de codage et de robotique présentés,

ainsi qu'une posture de recherche. Pour limiter les biais liés à la posture d'observation participante qui limite la distanciation au terrain, une triangulation au niveau de la collecte des données aura lieu, et l'approche méthodologique mixte sera adoptée.

Dans une quatrième partie seront exposées la transcription, l'analyse des données et enfin la discussion des résultats obtenus. Les données qualitatives sont présentées en premier pour répondre à la première hypothèse et sont suivies des données quantitatives qui permettent de répondre aux deux autres hypothèses. Les données quantitatives et qualitatives ont été croisées, analysées et discutées pour répondre à la problématique de cette recherche. La discussion proposera une modélisation des liens entre les attentes institutionnelles, la situation pédagogique d'apprentissage/enseignement du codage et de la robotique et des fonctions exécutives. Elle présentera aussi la portée et les limites de cette recherche, et sera suivie d'une conclusion qui permettra de synthétiser le travail effectué et d'exposer les futures perspectives en lien avec l'étude menée.

II. L'enseignement / apprentissage du codage et de la robotique

La partie qui suit permet de définir le codage et la robotique, de présenter l'évolution qui a eu lieu au niveau de leur enseignement et d'expliquer les enjeux en lien avec l'introduction du codage et de la robotique en tant que contenu dans les programmes scolaires. Le lien entre le codage et la robotique d'une part et la pensée informatique d'autre part sera ensuite expliqué afin de comprendre l'utilité du développement de la pensée informatique grâce aux cours de codage et de robotique.

Dans cette partie seront également exposées les pratiques éducatives en lien avec l'enseignement/apprentissage du codage et de la robotique. Nous débuterons par la scénarisation pédagogique qui permet de construire et planifier la situation pédagogique d'apprentissage du codage et de robotique pour continuer avec les stratégies indiquées par le constructionnisme, ensuite l'apprentissage collaboratif et enfin la métacognition.

Ensuite, nous présenterons l'état des lieux de l'intégration des cours de codage et de robotique dans les programmes scolaires sur un niveau international et au niveau du territoire libanais.

Cette partie sera suivie d'une présentation des recherches en lien avec le codage et la robotique dans les établissements scolaires en fonction des cycles de scolarisation.

II.1. Définition et historique

De nombreux chercheurs déclarent que l'apprentissage du codage et de la robotique ont un potentiel d'influence significatif sur l'éducation et ce depuis au moins 40 ans. En effet, Papert (1980) l'un des pionniers de ce domaine affirme que les ordinateurs ne devraient pas seulement changer la façon dont nous enseignons, mais qu'ils devraient aussi modifier le contenu des enseignements. Pour comprendre ces affirmations, les définitions du codage et de la robotique seront données et leurs utilisations croissantes au niveau de l'enseignement seront analysées dans ce qui suit. Il faut noter que les auteurs anglo-saxons ne différencient pas entre les termes anglais *coding* et *programming*. Ainsi certaines références proposées dans cette thèse peuvent provenir d'articles ou livres discutant de la programmation plutôt que du codage proprement dit.

Papert (1980), affirmait que lorsque la programmation serait vue selon ce qu'il nommait dans la bonne perspective, tout le monde en comprendrait sa nécessité. Selon Papert, programmer un ordinateur signifie communiquer avec cet ordinateur dans une langue que cette machine et l'utilisateur humain peuvent tous les deux « comprendre ». Il atteste qu'apprendre les langues se fait d'une manière très naturelle chez les enfants et que ces derniers apprennent dès leur premier âge à parler. Pourquoi alors ne devraient-ils pas apprendre à « parler » à un ordinateur ?

38 ans plus tard, Bugmann et Karsenti (2018) donnent la définition suivante au terme coder :

Coder, c'est dire à un ordinateur, à un téléphone intelligent, à une application ou à un site internet ce qui doit être fait, à un moment donné, en réponse à telle ou telle action d'un utilisateur. Lorsque l'on code, on dirige le comportement de l'outil utilisé. (p. 27)

En d'autres termes coder c'est dicter à un outil numérique des actions à entreprendre en utilisant des instructions numériques qui sont les codes.

Papert, a inventé une tortue programmable pour fournir une représentation physique de l'effet du codage en utilisant le langage LOGO (Alimisis, Moro, & Menegatti, 2016). Ceci dans le but d'apprendre aux enfants les mathématiques en codant un ordinateur pour résoudre des problèmes et d'expérimenter leurs productions en dehors des ordinateurs. Il se basait sur les théories du constructionnisme, inspirées par la théorie du constructivisme de Piaget et qui suppose que la meilleure façon de s'assurer que le savoir est construit adéquatement chez l'apprenant est de créer activement un outil qui peut être partagé, ici la tortue.

Cette tortue utilisée par Papert est un robot qu'on définit comme étant « un appareil mécatronique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable. Alimenté en énergie, il est formé d'un microcontrôleur ainsi que d'un ou plusieurs capteurs et actionneurs » (Groupe de travail numérique OCEAN, 2017). Au fil des années, la tortue de Papert s'est métamorphosée ; plusieurs créateurs de jeux s'en sont inspirés pour créer différents types de robots appelés communément robots de sol. Certains ressemblent à la tortue au niveau de la

forme, mais comprennent des caractéristiques plus développées dont Bee-bot, Pro-bot, Sphéro et Bottley. D'autres prennent la forme de robots de construction formés de petites pièces à rassembler, d'un ou plusieurs moteurs, de capteurs et de serveurs comme par exemple le WeDo 2.0 et le Mindstorm de la compagnie Lego ou bien le Vex. Ces derniers mettent en jeu une nouvelle compétence qui est la conception de ses propres robots par l'utilisateur ; c'est à ce niveau qu'entre en jeu le terme de robotique.

La robotique serait donc un ensemble de techniques permettant de concevoir, construire et piloter un robot en utilisant un langage de programmation. « La construction d'un robot est une succession de problèmes concrets qu'il faut résoudre avec sa propre culture technologique et son propre mode de pensée » (Marchand, 1992). Cette activité « transversale » comme l'écrit Marchand, met en jeu plusieurs compétences ralliant plusieurs domaines tels que la mécanique, les sciences informatiques et la créativité.

La robotique a été intégrée dans les cursus scolaires et a pris dans ce contexte le nom de robotique pédagogique ou éducative selon les pays ou les auteurs. Ces dénominations ne sont pas conventionnelles et une confusion entre les deux termes peut se faire communément. Nous pouvons aussi trouver dans certains articles le terme de robotique éducationnelle. Au niveau de cette thèse, nous utiliserons les termes comme expliqués ci-dessous.

La robotique pédagogique englobe divers domaines comme « la mécanique pour la conception de l'infrastructure, la technologie pour la construction proprement dite, les sciences physiques pour l'électronique, le dessin technique pour les plans, les arts plastiques pour l'esthétique et l'informatique pour le pilotage du robot » (Komis & Misrili, 2011). Dans l'application de la robotique pédagogique, les robots sont considérés comme étant des outils permettant de « susciter l'intérêt vis-à-vis des activités de programmation, la découverte de la pensée algorithmique et l'initiation à l'intelligence artificielle » (Groupe de travail numérique OCEAN, 2017). Le but serait donc l'apprentissage de la robotique comme discipline professionnelle chez les étudiants. On commence à l'introduire dès les petites classes afin de développer l'apprentissage par la conception de projets, en utilisant des objets concrets pour construire et explorer le

monde (Bers, Ponte, Juelich, Viera, & Schenker, 2002). Certains considèrent l'introduction de la robotique en bas âge comme un moyen qui permet de construire une pensée d'ingénierie chez les élèves en développant leur créativité dans ce contexte particulier (Ospennikova, Ershov, & Iljin, 2015). Ceci constitue une base pour les apprentissages professionnels ultérieurs.

Quant à la robotique éducative, elle vise plutôt l'utilisation de la robotique comme outil pour expliciter certaines notions ou compétences visées par les apprentissages scolaires notamment en mathématiques et en physique. Les fins de la robotique éducative sont pédagogiques et non professionnelles (Groupe de travail numérique OCEAN, 2017). Dans ce cadre, le codage et la robotique visent à introduire dans les écoles une variété technologique d'intelligences artificielles afin de favoriser l'utilisation de nouvelles méthodes et d'améliorer la qualité des enseignements / apprentissages.

Le codage et la robotique mis en œuvre dans ce travail de recherche se font dans le cadre de la robotique pédagogique puisque les ateliers présentés sont indépendants des matières régulièrement enseignées

Le codage et la robotique forment donc un contenu d'enseignement en pleine émergence qui pourrait avoir une influence importante dans le milieu de l'éducation. Afin de comprendre sa grande médiatisation, le chapitre qui suit exposera les exigences sociétales face à l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires. Il présentera les compétences du XXI^e siècle qui incluent la littératie numérique et les fonctions exécutives, pour détailler ensuite ce concept de littératie numérique et présenter enfin la pensée informatique.

II.2. Exigences sociétales face au numérique

Dans le cadre de cette recherche, l'implémentation des ateliers de codage se fait dans le but de concrétiser le lien entre ces ateliers de codage et de robotique et les fonctions exécutives. Toutefois, comme l'apprentissage des bases du codage et de la robotique prennent une grande ampleur face au développement des compétences du XXI^e siècle, nous allons présenter ces compétences et montrer pourquoi les experts en technologies éducationnelles valorisent leur importance.

II.2.1. Compétences du XXI^e siècle

Les compétences du XXI^e siècle sont des habiletés que le système scolaire doit développer chez les élèves selon les commissions et organisations spécialisées dans l'éducation dont le ministère de l'éducation et de l'enseignement au Québec, le ministère de l'Éducation de l'Ontario, le ministère de l'Éducation nationale et de la jeunesse en France et le département d'éducation aux États Unis. Ces compétences regroupent des interactions au niveau de trois domaines : le domaine cognitif, le domaine intra-personnel ainsi que le domaine interpersonnel. Les compétences relevées peuvent faire partie de plusieurs domaines à la fois (La fonction publique de l'Ontario, 2016), et la figure qui suit présente les trois domaines et les différentes compétences requises au XXI^e siècle.

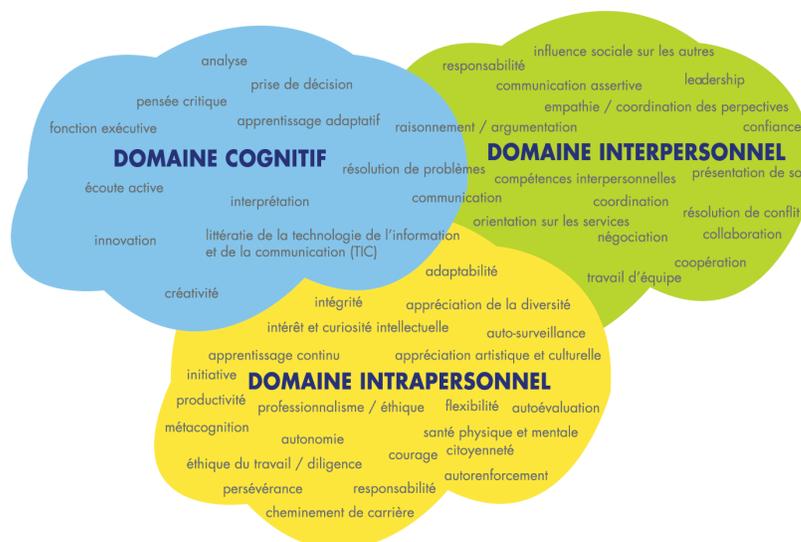


Figure 1 : Regroupement des compétences du XXI^e siècle en 3 grands domaines (Pellegrino & Hilton, 2012).

Ces compétences doivent être jointes aux enseignements de base à l'école, parce qu'elles permettent aux élèves d'explorer leur potentiel d'une manière optimale. C'est pour cette raison que le terme *deep learning* (apprentissage en profondeur) est utilisé pour décrire les compétences du XXI^e siècle en anglais (Fullan & Langworthy, 2014). Ces compétences sont importantes parce qu'elles permettent au sujet de s'adapter en premier lieu aux changements des modèles de développement économique et social dynamiques et imprévisibles, d'innover en deuxième lieu au niveau des technologies utiles aux apprentissages et enfin de satisfaire les attentes des apprenants qui réclament des modifications au niveau du système éducatif pour le rendre plus fonctionnel. Dans le cadre des compétences du XXI^e siècle, la résolution de problèmes et la créativité sont couplées à la diligence, à la persévérance et au courage qui deviennent des indicateurs de réussite dans le domaine de l'éducation et de la vie professionnelle (Pellegrino & Hilton, 2012). En d'autres termes les compétences du XXI^e siècle englobent la création, la construction, le développement des fonctions exécutives (froides et chaudes) et la littératie numérique dont la pensée informatique qui seront définies dans la partie qui suit. Elles sont associées ainsi dans ce travail à l'implémentation des ateliers de robotique dans les écoles.

II.2.2. Littératie numérique

Comme il a été mentionné, la littératie numérique fait partir des compétences du XXI^e siècle. Jusqu'à nos jours, il n'existe pas encore de définition conventionnelle de la littératie numérique. Hoehsmann et DeWaard (2015) affirment que c'est « la capacité de participer à une société qui utilise la technologie des communications numériques dans les milieux de travail, au gouvernement, en éducation, dans les domaines culturels dans les espaces civiques, dans les foyers et dans les loisirs » (p. 2). La littératie numérique se fonde sur trois éléments qui sont l'utilisation adéquate des outils et des applications numériques, la compréhension du contenu et des outils des médias numériques et enfin l'expertise au niveau de la création d'outils grâce aux technologies du numérique. De ces trois éléments découlent une douzaine de dimensions proposées par Karsenti (2019) :

- 1- Agir en citoyen numérique éthique
- 2- Exploiter le potentiel du numérique pour l'apprentissage
- 3- Développer et mobiliser sa culture informationnelle
- 4- Collaborer à l'aide du numérique
- 5- Communiquer à l'aide du numérique
- 6- Produire du contenu avec le numérique
- 7- Mettre à profit le numérique en tant que vecteur d'inclusion et pour répondre à des besoins diversifiés
- 8- Adopter une perspective de développement personnel et professionnel avec le numérique dans une posture d'autonomisation
- 9- Résoudre une variété de problèmes avec le numérique
- 10- Développer sa pensée critique envers le numérique
- 11- Innover et faire preuve de créativité avec le numérique
- 12- Développer et mobiliser ses habiletés technologiques

Ces dimensions dépassent la maîtrise d'outils informatiques ; il ne suffit plus de savoir utiliser un ordinateur, un téléphone intelligent ou les réseaux sociaux d'une manière superficielle. D'une part, tout utilisateur devrait par exemple être conscient des enjeux liés aux réseaux sociaux quant au partage d'information, aux droits d'utilisateurs, au respect de la diversité sociale... D'autre part, l'usage du numérique commence à se propager et inclut d'une manière directe ou indirecte plusieurs types d'utilisateurs et nous citons parmi une grande panoplie d'exemples les commerçants et les clients sur le web, les médecins qui utilisent le numérique pour synchroniser les données qu'ils recueillent sur leurs patients, les ingénieurs qui construisent leurs plans grâce à des outils digitaux, les apprentis-pilotes qui s'exercent au pilotage d'un avion dans des situations de réalité virtuelle et les enseignants qui utilisent le numérique au service de l'éducation.

Vue de cette perspective, ce n'est pas à l'âge adulte que la littératie numérique doit être enseignée ou acquise, mais plutôt à partir du moment où l'enfant commence à être exposé au monde digital. Se basant sur le fait que la littératie numérique devient un outil nécessaire pour s'adapter aux changements prévus pour les décennies à venir, plusieurs

chercheurs encouragent l'implémentation de plusieurs facettes du numérique dans l'éducation.

Béziat et Villemonteix (2016) considèrent que la littératie numérique représente les savoirs liés à ce qui est à comprendre des TICE et l'introduisent en tant qu'attracteur² de l'utilisation scolaire des technologies informatisées, au sein d'une triade d'aspects intégrés dans la pratique des enseignants. Les deux autres attracteurs de la triade sont les outils TICE et la didactique de l'informatique. Ainsi, pour ces deux chercheurs la littératie numérique est une composante nécessaire à l'implémentation des technologies informatisées en classe menant à l'appropriation des innovations technologiques dans l'éducation. La triade d'attracteurs est visualisée de la manière suivante :

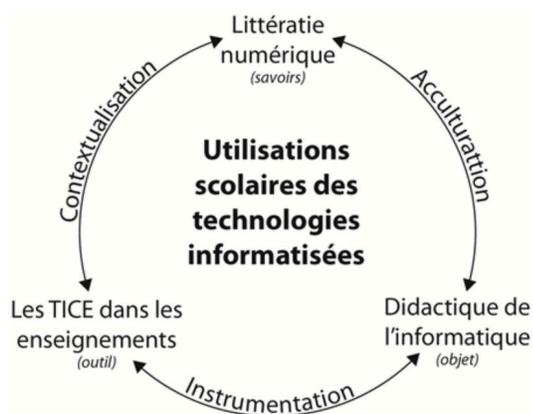


Figure 2 : Attracteurs scolaires des technologies informatisées et processus ICA (instrumentation, contextualisation, acculturation).

Ainsi, la littératie numérique est un élément essentiel pour les enseignants aussi et non seulement pour les apprenants et permet d'améliorer la conceptualisation de l'utilisation ainsi que la mise en place des TICE. Elle fait partie des compétences du XXI^e siècle, notion définie dans ce qui suit.

² « Quand nous parlons d'attracteurs ici, il s'agit bien de ce vers quoi tend la pratique pédagogique, pour parfois, arriver à des activités clairement tournées vers les aspects épistémiques et didactiques » (Béziat & Villemonteix, 2016).

II.2.3. Pensée informatique

Faisant partie des dimensions de la littératie numérique, la pensée informatique traduite du terme anglais *computational thinking* est un ensemble d'attitudes et d'acquis universellement applicables que tous, et non seulement les informaticiens, devraient apprendre et maîtriser (Wing, 2006). Elle est considérée comme étant une compétence vitale au XXI^e siècle et s'ajoute ainsi à l'écriture, à la lecture et à l'arithmétique (Qualls & Sherrell, 2010).

Le terme *computational thinking* est apparu au XIX^e siècle en référence à l'utilisation de l'analyse quantitative en sciences, et a été par la suite utilisé pour mettre l'accent sur le raisonnement dans l'enseignement de l'arithmétique. L'association du terme avec les ordinateurs et l'éducation a été effectuée grâce à Papert qui a utilisé la première fois le terme en 1980 et puis en 1996 (Kong, Abelson, & Lai, 2019). La pensée informatique implique la résolution de problèmes, la conception de systèmes et la compréhension du comportement humain, en s'appuyant sur les concepts fondamentaux de l'informatique. Elle ne suppose pas de penser comme un ordinateur, mais conduit à penser à la façon dont les humains résolvent les problèmes d'une manière qui peut être opérationnalisée grâce aux ordinateurs (Wing, 2006). Elle mobilise à la fois les compétences cognitives et les habiletés informatiques (Ambrosio, Almeida, Macedo, & Franco, 2014).

Les définitions du terme continuent à évoluer. Aho (2012) définit la pensée informatique comme étant un processus de pensées impliqué dans la formulation des problèmes dans le but de représenter leur solution par des étapes de calculs et des algorithmes. Développer la pensée informatique veut dire permettre aux étudiants d'accroître la capacité d'identifier un problème, de le décomposer en étapes gérables, d'extraire les détails ou les modèles importants, de façonner les solutions possibles et de présenter ces solutions d'une manière compréhensible par un ordinateur et un homme. La pensée informatique peut également impliquer une structuration et une manipulation de l'ensemble des données pour soutenir le processus de solution (Labusch, Eickelmann, & Vennemann, 2019).

La pensée informatique s'avère ainsi être basée sur le principe de concrétisation et d'externalisation de concepts ou d'idées dans un support informatique. Elle suppose donc une correspondance étroite entre la cognition incluant la métacognition et le modèle informatique. Cette correspondance a permis l'émergence du terme anglais *computational metacognition* (ou métacognition informatique) qui est l'analyse des techniques permettant de générer les produits informatiques (les programmes et les algorithmes par exemple) (Hoppe & Werneburg, 2019). En d'autres termes, c'est le fait de réfléchir à l'action cognitive à entreprendre lors de la génération de programmes et d'algorithmes ou d'autres activités impliquant la pensée informatique. Ceci sera pris en compte dans la gestion du groupe d'apprenants au niveau de notre recherche. Le concept de métacognition sera détaillé dans une des parties qui suivent.

La pensée informatique a été intégrée dans plusieurs programmes scolaires de trois manières différentes (Eickelmann, 2019) :

1. Approche transversale : la pensée informatique est une compétence transversale qui peut être enseignée dans différents thèmes en reconnaissant que chaque sujet présente une vision et contribution particulières (Barr & Stephenson, 2011).
2. Approche informatique : la pensée informatique est considérée comme faisant partie du cours d'informatique (Kong C. S., 2016).
3. Matière scolaire indépendante : la pensée informatique est considérée comme compétence clé dans le domaine de l'utilisation des nouvelles technologies et est enseignée d'une manière indépendante obligatoire, comme par exemple dans les classes secondaires au Royaume Uni (Département d'Éducation au Royaume Uni, 2013) ou bien facultative comme dans certaines écoles danoises (Rich & Hodges, 2017).

La pensée informatique implique six concepts différents qui sont la logique, les algorithmes, la décomposition, les modèles, l'abstraction et l'évaluation. La décomposition est considérée comme étant la compétence la plus difficile à maîtriser et l'abstraction est considérée comme étant la compétence la plus importante à acquérir (Se, Ashwini, Chandran, & Soman, 2015).

Il existe cinq manières utilisées par les enseignants pour l'application d'activités de pensée informatique en classe : le bricolage, la création, le débogage, la persévérance et la collaboration³ (Kalelioğlu, 2018 ; Hunsaker, 2018).

Le bricolage (*tinkering*) permet aux apprenants d'expérimenter et de développer leur imagination et leur créativité en construisant leurs robots. Il a une plus-value surtout pour les apprenants qui ont besoin de passer par le concret et d'explorer les nouveaux concepts pour les comprendre (Zaharin & Mariappan, 2018). Lévi-Strauss (1962) affirme que le bricolage est une « science première » qui est définie par le dialogue avec la matière et les moyens d'exécution ; pour lui, bricoler signifie produire avec ce que l'on possède. Le bricolage est ancré dans le constructionnisme et l'élève devient bricoleur des connaissances à construire. Cet état d'esprit de bricoleur⁴ (Dougherty, 2013) permet le développement de la résolution de problèmes grâce à un apprentissage fondé sur l'exploration, l'expérimentation, l'acquisition de nouvelles compétences et la collaboration (Martin, 2015). Ainsi, le bricolage qu'il soit numérique ou manuel apporte une puissance d'agir sur le réel (Plantard, 2013). Il permet l'acquisition des connaissances par le biais de l'expérimentation.

La création (*creating*) englobe les compétences de planification, d'élaboration et d'évaluation des procédures dans un projet. Cette approche est généralement associée à la conception de jeux et de design. À partir des techniques de création, la pensée créative peut être affinée ce qui permet de développer la pensée informatique (Shell, et al., 2014). La pensée informatique incite à la nécessité d'être capable de créer de nouvelles inventions au lieu d'être uniquement un utilisateur numérique et de former une génération de créateurs numériques dans tous les domaines. Pour cela, cette approche « créatrice » encourage les initiatives de formulation de solutions de la part des étudiants. D'une certaine manière, les élèves seront motivés pour terminer les tâches données car ils n'auront pas de limites ou de règles à respecter (Zaharin & Mariappan, 2018) et déploieront leur créativité. Suivant les théories psychanalytiques, selon Winnicott (1970),

³ En anglais : *tinkering, creating, debugging, persevering, collaborating*.

⁴ De l'anglais *maker's mindset* (p. 61) (Dougherty, 2013).

la créativité témoigne que l'individu non seulement existe, mais qu'il est vivant, parce que c'est un acte qui émane de l'être. Il considère que la créativité est « la capacité de conserver tout au long de la vie quelque chose qui est propre à l'expérience du bébé : la capacité de créer le monde » (Winnicott D. W., 1988, p.39). En associant la définition psychanalytique de la créativité au concept de créativité sous-jacent de la pensée informatique, nous pouvons supposer que les élèves seront motivés pour créer, car leurs exécutions émanent de leur propre être, sans limites ou règles qui les restreignent.

Le débogage (*debugging*) fait partie des techniques permettant d'acquérir les compétences de la pensée informatique. Il s'agit d'un processus d'analyse minutieuse de l'algorithme et de correction de toute erreur présente (Turchi, Fogli, & Malizia, 2019). D'ailleurs l'erreur représente les obstacles contre lesquels se heurte la pensée des apprenants et prend un rôle central dans le processus d'apprentissage (Astolfi, 1997). Le terme débogage donne à l'erreur le statut de bogue, terme défini par les behavioristes comme étant un défaut de planification. Ainsi, déboguer voudrait dire chercher l'erreur de planification, cette recherche d'erreurs constituant une opportunité d'apprentissage. Proposer des changements et adapter des outils maîtrisés aux nouvelles situations rencontrées permettraient à l'apprenant de progresser (Meirieu, Delevay, Durand, & Mariani, 1996) et d'apprendre grâce à ses erreurs. Toute erreur nécessite donc une évaluation et une formulation d'une solution, le débogage et la recherche d'erreurs pourrait améliorer ainsi la résolution des problèmes chez les apprenants.

La persévérance est importante pour le développement de la pensée informatique parce qu'au niveau de la résolution, certains projets ou problèmes peuvent parfois être ardues et ennuyeux. Les penseurs informatiques doivent être en mesure de poursuivre leur travail malgré les obstacles qu'ils peuvent rencontrer et ceci doit être développé chez les jeunes apprenants (Hunsaker, 2018).

La collaboration est une approche à encourager pour optimiser le développement de la pensée informatique. Elle renvoie à un engagement mutuel des membres d'un groupe où prime la construction collective des connaissances. Son but serait de résoudre un problème et d'atteindre un objectif commun en partageant différentes visions et en

exploitant plusieurs manières constructives de résolution. Ces différentes perspectives résultant de la collaboration vont au-delà des possibilités individuelles de chaque membre isolé du reste du groupe (Henri, 2010). Il est vrai que la pensée informatique ne nécessite pas un travail collaboratif continu, mais elle implique de nombreuses situations où la collaboration peut aider à produire de meilleures solutions. Les personnes qui conçoivent et déboguent des algorithmes ou celle qui évaluent les solutions informatiques peuvent par exemple améliorer leur conception ou la perfectionner en partageant leurs idées avec autrui (Hunsaker, 2018). D'où l'importance d'initier les jeunes apprenants à la collaboration et au travail en groupe dans le cadre d'activités de pensée informatique surtout que le travail collaboratif nécessite de l'autorégulation du comportement, des prises de décisions et des interactions entre les participants. Cette notion de travail collaboratif sera traitée dans le chapitre qui suit.

Selon Popat et Starkey (2019), le développement de la pensée informatique grâce au codage et à la robotique met en jeu plusieurs compétences qui s'échafaudent les unes sur les autres. Ces compétences sont regroupées sous trois grandes rubriques : les compétences de réflexion d'ordre inférieur telles que la compréhension, les compétences de réflexion d'ordre supérieur telles que la pensée critique et la résolution de problèmes par le biais de concepts mathématiques, et enfin les compétences personnelles qui comprennent les compétences sociales et l'autorégulation. Ces deux chercheurs présentent un modèle décrivant les compétences mobilisées par l'apprentissage du codage pour le développement de la pensée computationnelle. Ce modèle évoque le rôle de facilitateur que prend l'enseignant ainsi que l'importance de l'environnement d'apprentissage et de la conception du modèle pédagogique, éléments explicités dans notre recherche. La traduction en français de ce modèle est présentée dans la figure suivante.

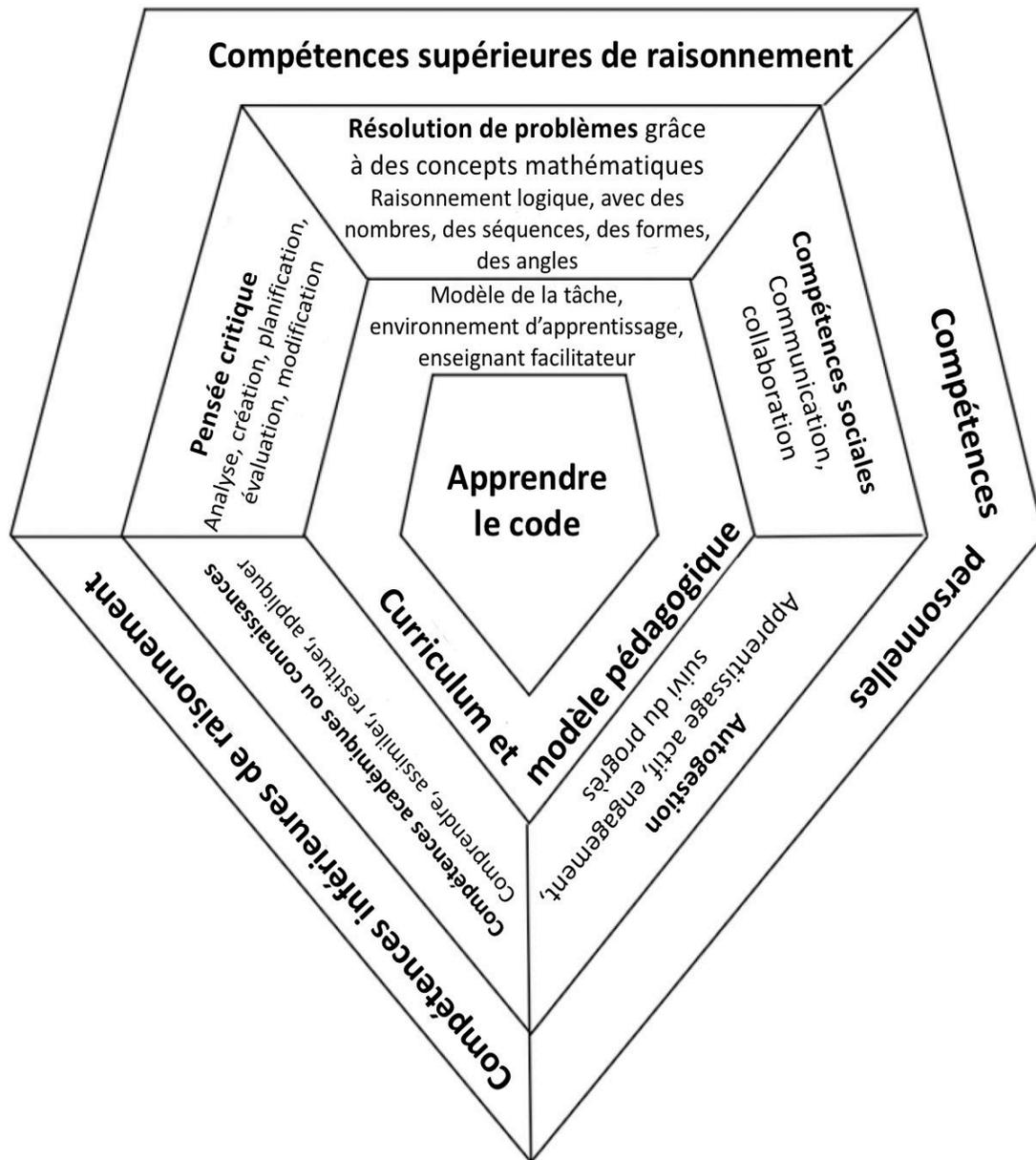


Figure 3 : Modèle décrivant l'influence du codage sur les résultats scolaires (Popat & Starkey, 2019)

Pour résumer, les institutions gouvernementales et éducatives encouragent l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires pour le développement des compétences du XXI^e siècle qui incluent la littératie numérique et les fonctions exécutives. La littératie numérique se travaille notamment grâce à la pensée informatique. Le développement de la pensée informatique implique du bricolage, de la création, du débogage, de la persévérance et de la collaboration.

Ainsi, pour travailler la pensée informatique en apprenant à coder, les élèves utilisent une variété de compétences qui vont au-delà du codage, notamment la pensée critique, la résolution de problèmes, les compétences sociales, l'autogestion et les compétences académiques.

Pour développer ces compétences d'une manière optimale, il est nécessaire d'avoir un enseignant-facilitateur qui met en place la conception pédagogique adaptée et il est aussi important d'intégrer ces cours dans les programmes scolaires (Popat & Starkey, 2019). Les techniques de développement de la pensée informatique mentionnées dans ce chapitre seront proposées dans le protocole d'intervention conçu pour cette recherche d'une manière adaptée à l'âge et aux compétences des participants. Le chapitre qui suit permettra de recenser les stratégies issues du savoir scientifique présentées sous le nom de pratiques pédagogiques permettant de proposer un enseignement/apprentissage adéquat du codage et de la robotique.

II.3. Conception et enseignement de la robotique et du codage

L'enseignement-apprentissage du codage et de la robotique est une situation pédagogique nécessitant des réflexions au niveau de la conception et de l'animation des séances et ces réflexions doivent se baser sur des études et des théories reconnues. La littérature scientifique montre l'importance que prennent les pratiques pédagogiques pour la réussite des situations d'apprentissage. L'expression pratiques pédagogiques employée dans ce travail prend la définition suivante : actions mises en place par l'enseignant au niveau de la transmission du savoir, le niveau d'exigence, l'importance des activités, la gestion des comportements des élèves ainsi que les conditions matérielles, cognitives, temporelles et relationnelles permettant aux élèves de réussir la situation pédagogique proposée (Morlaix & Duguet, 2017). Dans la littérature, les termes pratiques enseignantes, pratiques éducatives et méthodes pédagogiques sont définis chez certains auteurs de la même manière que la définition présentée pour le terme pratiques pédagogiques (Bru, 2021 ; Piquée, 2010). Dans la partie empirique de ce travail, les pratiques pédagogiques prises en compte sont le travail collaboratif, la métacognition, la fréquence des séances, les exigences qui évoluent d'une séance à l'autre, les situations réelles présentées ainsi que la motivation suscitée chez les participants grâce au matériel et aux interactions.

Afin de construire la situation pédagogique et de définir l'ancrage des pratiques pédagogiques, une scénarisation pédagogique devrait avoir lieu. La partie qui suit présente en un premier temps les critères de conception requis pour le bon fonctionnement de l'apprentissage du codage et de la robotique et ensuite le constructionnisme et la métacognition qui exposent les pratiques pédagogiques pertinentes pour l'apprentissage du codage et de la robotique selon les avancées du savoir scientifique.

II.3.1. Critères de conception de base : le scénario pédagogique

L'étude effectuée vise à étudier les liens que peuvent avoir les ateliers de robotique et de codage avec les fonctions exécutives, et n'est pas centrée sur l'apprentissage du codage ou de la robotique d'une manière isolée. Pour cela, l'enseignant⁵ doit se baser sur certaines théories de transmission de l'information pour concevoir et animer les séances d'une manière convenable.

La transmission de l'information doit être claire et l'enseignant doit tenter de réduire l'ambiguïté et la confusion. Les plans de la leçon devraient inclure la modélisation des capacités de réflexion, des exemples de pensée appliquée, une pratique guidée et des adaptations possibles selon les besoins des élèves. Les stratégies d'apprentissage utiles à appliquer comprennent la répétition, l'élaboration, l'organisation et la métacognition. Le travail en petit groupe peut être efficace dans le développement des capacités de réflexion à condition que les activités assurent un niveau de défi et qu'un encouragement et une rétroaction continus soient donnés par l'enseignant (King, Goodson, & Rohani, 2012).

La conception étant un élément clé pour la réussite des ateliers de robotique éducative, un modèle conceptuel visant la minimisation des défauts méthodologiques et la maximisation de la validité des résultats de recherche associée à l'enseignement de la robotique a été proposé par Komis, Romero et Misirli (2017). Ce modèle regroupe des activités préparatoires, des activités pour la construction des connaissances de base, des activités de consolidation de la construction des connaissances, des activités d'évaluation et des activités de métacognition⁶. La figure présentée ci-dessous détaille le contenu de ces activités. Nous nous sommes inspirés de ce modèle conceptuel au niveau de la création du protocole implémenté dans notre recherche.

⁵ La personne qui conçoit et anime l'atelier de robotique pédagogique dans cette recherche est nommée enseignant puisqu'elle prend le rôle d'enseignant facilitateur.

⁶ De l'anglais, *preparatory activities, activities for the initial knowledge construction, activities for knowledge construction consolidation, evaluation activities, activities for cognition and metacognition.*

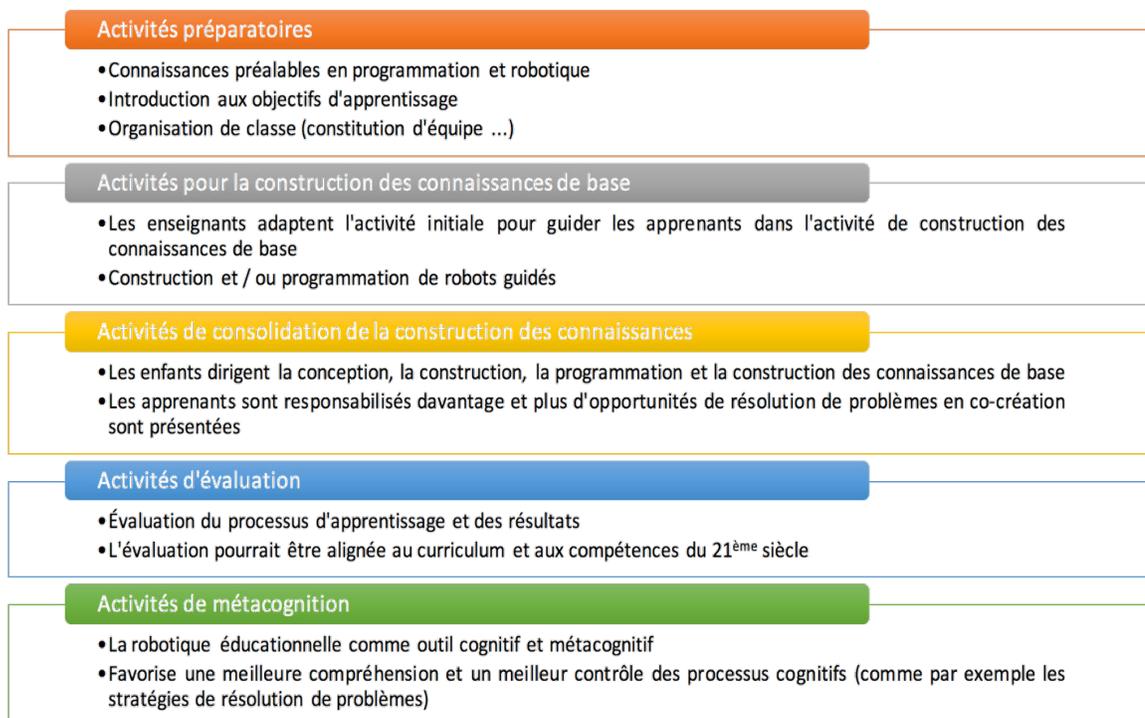


Figure 4 : Aperçu des cinq activités constituant le scénario de la robotique en Éducation

II.3.2. Théories en lien avec l'enseignement/apprentissage du codage et de la robotique

Ruschoff et Ritter (2001) soulevèrent depuis une vingtaine d'années la nécessité d'un changement radical dans les approches utilisées dans l'enseignement/apprentissage afin de préparer au mieux les générations futures à vivre et travailler dans le monde de demain. Ainsi, l'enseignement du numérique comme l'enseignement des autres matières scolaires doit se faire en permettant à l'élève d'être au centre du processus d'apprentissage et en lui donnant la chance d'expérimenter, de concevoir, de réfléchir et de discuter le contenu à apprendre. Plusieurs théories de l'apprentissage expliquent comment doit se dérouler le processus d'enseignement/apprentissage pour constituer un environnement idéal à l'apprenant. Nous discuterons dans ce qui suit le constructionnisme et la métacognition pour décrire notre vision du contexte « utopique » à créer lors de l'implémentation des ateliers.

a) Constructionnisme

Le terme constructionnisme fait directement penser au constructivisme de Piaget. En effet, le constructionnisme partage la connotation constructiviste de l'apprentissage au niveau de la construction de structures de connaissances indépendamment des circonstances de l'apprentissage. La différence au niveau de la théorie de constructionnisme réside dans le fait que l'apprenant est consciemment engagé dans la construction d'une entité, qu'elle soit simple comme un château de sable sur la plage ou complexe comme une théorie de l'univers (Harel & Papert, 1991).

Le constructionnisme repose sur deux idées clés : la construction d'apprentissage et la culture de l'apprentissage (Kafai, 2006). La construction des connaissances est l'apprentissage par la construction de ses propres connaissances en créant des produits significatifs. L'appropriation est importante à ce niveau et repose sur le fait de pousser les apprenants à profiter des nouvelles connaissances et à s'y identifier. Quant à la culture de l'apprentissage, elle veut explicitement dire la création d'une cohésion sociale, d'un sentiment d'appartenance à un groupe et de valeurs communes (Parmaxi & Zaphiris, 2014).

Ainsi, selon Papert les apprenants apprennent en faisant (de l'anglais *learning through making*). La théorie du constructionnisme incite l'apprenant à s'impliquer dans les contextes d'apprentissage plutôt que de les observer à distance, et suppose une connectivité avec le phénomène à apprendre. Selon cette perspective, toute idée peut devenir concrète à condition qu'une personne développe un ensemble de représentations, d'interactions et de connexions avec l'idée, le concept ou la connaissance (Wilensky, 1991). L'expression des réflexions et des idées est une clé importante pour l'apprentissage selon le constructionnisme et le partage de pensées rend les réflexions plus tangibles et permet donc à l'apprenant de les améliorer et de les rendre plus solides après les avoir partagées avec autrui.

Pour résumer, le constructionnisme met en valeur l'engagement actif de l'apprenant dans le savoir à construire. Il ne suffit donc plus à l'apprenant d'internaliser les informations, mais il doit les concrétiser en créant un produit tangible qui les explicite.

Selon cette perspective, les ateliers de codage et de robotique devront permettre aux enfants en s'aidant d'un robot de sol, d'externaliser des connaissances activement construites dans plusieurs domaines.

b) Dynamique de groupe et l'apprentissage collaboratif

Dans cette recherche les ateliers de robotique et de codage se feront en petits groupes, et par ailleurs les fonctions exécutives permettent une meilleure adaptation dans le groupe. Il s'avère nécessaire de définir ce qu'est la dynamique de groupe et comment la littérature définit les différentes interactions et relations pouvant être mises en place au sein d'un groupe. Les chercheurs en psychologie sociale et en éducation étudiant le groupe-classe utilisent l'expression *apprentissage collaboratif*, attribuable à l'utilisation des ordinateurs dans les classes par des groupes, ainsi qu'à la conception de la collaboration comme une forme d'activité humaine essentielle au développement culturel et à la base de la vie au sein de la société (Henri, 2010). La collaboration se différencie de la coopération qui désigne la répartition des tâches entre les différents membres du groupe sans la nécessité de travailler ensemble.

Selon les approches américaines, l'apprentissage collaboratif est qualifié de collaboration constructive, de co-construction (Damon, 1984), de coordination des actions, de dialogue entre pairs et de partage de savoir. Ce type d'apprentissage est plus efficace que l'activité individuelle (Baudrit, 2007). Les apprenants partagent ensemble leurs idées, leurs réflexions et leurs actions afin d'aboutir à un but commun qui peut être anticipé et défini pendant les interactions et les échanges qu'ils mènent entre eux. La collaboration peut aussi se mettre en place grâce à une activité guidée d'un partenaire à un apprenant ayant besoin d'aide grâce à « une intervention, une démonstration ou un soutien socio-émotionnel assuré par le partenaire aidant »⁷ (p. 134) faisant partie du groupe (Verba, 1994).

Une définition commune d'un groupe est qu'il est composé de trois personnes ou plus, réunies pour une raison commune et dont les activités engendrent un produit. Les

⁷ Traduction trouvée dans le livre intitulé *L'apprentissage collaboratif* (Baudrit, 2007).

membres du groupe partagent une identité commune au groupe et s'engagent dans une interaction interpersonnelle continue. Ils contribuent à une production pertinente et importante au groupe et aux individus qui le composent (Parks & Tasca, 2020). Selon le courant dynamiste, le groupe ne se définit pas « par la simple proximité ou la simple ressemblance de ses membres, mais comme un ensemble de personnes interdépendantes. C'est en ce sens qu'il constitue vraiment un organisme et non un agrégat, une collection d'individus » (Maisonneuve, 2011, p. 15). Ce sont les définitions du groupe et des membres du groupe qui permettent de définir la dynamique de groupe qui représente les contextes au sein desquels les individus interagissent au sein du groupe (Tasca, 2020). La première utilisation du terme dynamique de groupe revient à Kurt Lewin (1959) qui affirme que ce sont les interactions entre les membres, les processus sociaux et les changements qui permettent de déterminer la dynamique de groupe.

Afin de comprendre la dynamique des interactions dans un groupe, il s'avère nécessaire d'analyser les échanges ayant lieu en notant la nature de la participation de chaque membre et le contenu de l'information partagée. La grille de Bales propose 12 critères qui permettent d'analyser la dynamique de groupe durant l'exécution d'une tâche et permet de comprendre le fonctionnement du groupe (Bales, 1950). Elle sera utilisée au niveau de ce travail de recherche pour tenter de comprendre les effets du travail de groupe sur les fonctions exécutives durant les séances de codage et de robotique.

Cette grille permet de relever les types de comportements mis en place dans le groupe et qui peuvent être des comportements opératoires visant à atteindre les objectifs collectifs ou bien des comportements socio-affectifs relatifs aux aspects socio-émotionnels visant à renforcer la motivation de l'équipe et le sentiment d'appartenance au groupe (Gronier & Giraudon, 2013). Il serait donc possible d'établir les profils des membres grâce à l'analyse des interactions (Amado & Guittet, 2017). Les six types de problèmes attachés aux douze indicateurs de cette grille nous permettront de mettre en relief l'utilisation des fonctions exécutives chaudes par les enfants afin de s'adapter dans

un groupe et d'achever les tâches demandées puisqu'elles impliquent motivation, échanges et prises de décision. La grille est présentée dans la figure suivante :

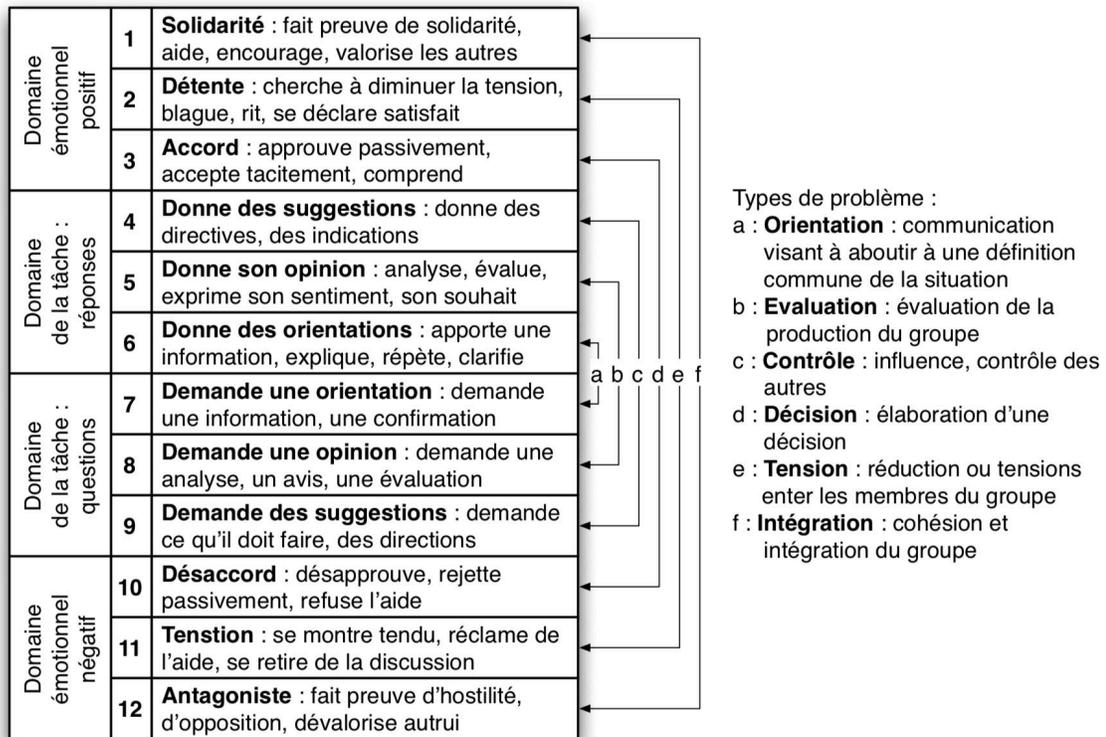


Figure 5 : Grilles de Bales (1950) intitulée « Le système des catégories utilisées en observation et leur relation avec les principaux référentiels ».

Ce ne sont pas seulement les membres du groupe qui peuvent être catégorisés suite à certains profils, mais le groupe en tant qu'entité peut être catégorisé. Selon Bion (1961), il existe des forces émotionnelles qui animent la plupart des groupes et qui permettent de partager les groupes en deux types celui régi par la mentalité de groupe de travail et celui régi par la mentalité de supposition de base.⁸

La mentalité de groupe de travail qui recouvre une activité mentale collective, se forme dès que les membres sont en groupe ; elle possède une fonction de conteneur pour entraîner le groupe à fonctionner en tant qu'unité d'une manière inconsciente et involontaire. Lorsqu'un équilibre se crée entre la volonté collective inconsciente du

⁸ De l'anglais *work group mentality* et *basic assumption mentality*.

groupe et les désirs et besoins individuels des membres, cette mentalité groupale se transforme en culture groupale (Fognini, 2011). Tous les membres du groupe travaillent dans l'intention de réaliser une tâche spécifique et d'évaluer leur capacité à l'exécuter (Dal Forno & Merlone, 2013). La capacité de collaboration au niveau du groupe est importante et l'effort de chaque membre est fructueux (Bion, 1961).

Les groupes fonctionnant selon les suppositions de base sont envahis par des émotions et des comportements comme l'anxiété, la peur, la haine, l'amour, l'espoir, la colère, la culpabilité et la dépression et par conséquent ces groupes perdent le contact avec leur objectif principal (French & Simpson, 2010). Le groupe ne peut travailler d'une manière efficace à cause de trois suppositions de base qui sont la dépendance, l'attaque/fuite et le couplage. Le travail du groupe ne se traduit pas en action ou en une production et le résultat serait plutôt une stagnation (Bion, 1961). Les membres du groupe montrent des tendances inconscientes et irrationnelles à accomplir un désir ou à réussir une mission qui s'éloignent de leur objectif primaire (Fognini, 2011). La participation à une supposition de base ne nécessite aucune formation, expérience ou développement mental, elle est instantanée, inévitable et instinctive⁹ (Bion, 1961).

L'apprentissage collaboratif prend de plus en plus de poids dans les méthodes d'enseignement et il s'avère également important d'apprendre aux élèves à résoudre des problèmes en collaborant les uns avec les autres (OECD, 2017). Le constructionnisme et les stratégies de développement de la pensée informatique mettent aussi l'accent sur l'importance de la collaboration au niveau de la résolution de problèmes en lien avec le codage et la robotique. Romero, Giauffret et Komis (2020) travaillent aussi sur la collaboration et le codage et la robotique et proposent quant à eux des activités de robotique qui permettent de favoriser la collaboration entre les élèves.

⁹ *“Participation in basic-assumption activity requires no training, experience, or mental development. It is instantaneous, inevitable, and instinctive.”* (p.153)

c) Métacognition

Apprendre requiert des actions cognitives de la part de l'apprenant. En effet, il est vital pour l'élève de comprendre comment réussir à apprendre et de juger de la faisabilité et du succès de l'action cognitive à entreprendre pour effectuer les apprentissages d'une manière efficiente. Le cerveau de l'apprenant doit prédire « automatiquement l'effort requis, l'intérêt de l'activité, l'importance qu'elle a et la possibilité d'y réussir » (Proust, 2018, p. 207). Le moteur de l'apprentissage est la métacognition. C'est un ensemble de processus permettant à la personne de réguler son activité cognitive et de choisir les stratégies convenables aux apprentissages en cours (Shannon, 2008). Introduite par Flavell (1976), la métacognition est la connaissance et cognition des phénomènes cognitifs. Elle désigne donc deux concepts : la conscience qu'une personne a de sa propre cognition ainsi que l'utilisation de processus cognitifs pour piloter le fonctionnement intellectuel et donc les autres processus cognitifs (Vianin, 2020). Elle inclut donc la manière dont l'élève construit ses apprentissages, le niveau de conscience qu'il a concernant sa manière d'apprendre et la façon dont il contrôle la sélection de stratégies et modification de ses plans.

La métacognition permet donc d'apprendre à apprendre. Le rôle de l'enseignant serait d'aider les apprenants à identifier leurs objectifs durant la résolution d'un problème, de contrôler le progrès des élèves, de questionner un apprenant pour le pousser à aller dans un sens déterminé ou de fournir à un élève une méthode en réponse à une difficulté précise rencontrée en modélisant par exemple à voix haute l'usage de stratégie en relation avec le problème à résoudre sans donner directement une solution (Zepeda, Hlutkowsky, Partika, & Nokes-Malach, 2019). Le *feedback* différé donné par l'enseignant à l'élève serait une méthode efficace pour le développement de la pensée computationnelle durant l'enseignement/apprentissage du codage et de la robotique alors que le *feedback* immédiat permettrait de faciliter le raisonnement à effectuer (Chevalier, et al., 2022).

Durant les séances de codage et de robotique, nous veillerons à présenter un environnement où les apprenants pourront en se basant sur leurs connaissances

découvrir et créer pour construire de nouveaux savoirs. Le rôle de l'adulte serait d'assurer un engagement actif de la part des apprenants, de guider leur progrès au niveau de la réflexion aux solutions et d'encourager la communication et les interactions entre les différents membres du groupe permettant ainsi l'application de la métacognition informatique susmentionnée.

Ainsi, la littérature montre que pour l'enseignement/apprentissage du codage et de la robotique, il est nécessaire de construire un scénario pédagogique solide, de permettre à l'apprenant de construire, bricoler et interagir avec ses pairs, de favoriser l'apprentissage collaboratif et de mettre en place des stratégies de métacognition. Ces différents critères constituent les pratiques pédagogiques nécessaires à la réussite de l'enseignement/apprentissage des ateliers de codage et de robotique. Qu'en est-il de ces pratiques au niveau mondial ? Sont-elles favorisées et respectées par les établissements scolaires qui ont intégré les cours de codage et de robotique dans leurs programmes ? Sont-elles homogènes partout dans le monde ou existe-t-il des disparités selon les pays ?

II.4. État des lieux au niveau international

L'intégration de la robotique et du codage ou de la pensée informatique dans les programmes scolaires est un intérêt commun partagé par la majorité des systèmes responsables de l'Éducation dans le monde. Même l'UNESCO¹⁰ encourage le développement de la pensée informatique dans le cadre des compétences du XXI^e siècle pour permettre à chaque élève « de créer avec du code et de résoudre des problèmes à l'aide d'algorithmes » (UNESCO, 2019).

La partie exposée ci-dessous constitue un état des lieux non exhaustif au niveau de l'intégration des cours de robotique et de codage dans les programmes scolaires et relève uniquement les décisions ministérielles et gouvernementales relatives à ces cours. En d'autres termes, des initiatives provenant de secteurs privés peuvent être en cours dans

¹⁰ *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.*

certaines pays sans toutefois avoir des répercussions sur les programmes scolaires proposés au niveau national et ne seront donc pas mentionnées.

II.4.1. En Europe

En octobre 2014, l'ancien vice-président de la Commission européenne Neelie Kroes a lancé la *Coding Initiative* pour encourager l'intégration des cours de codage au sein des curricula scolaires. Il s'était avéré que l'Autriche, la Bulgarie, la République Tchèque, le Danemark, l'Estonie, la France, la Hongrie, l'Irlande, La Lituanie, Malte, l'Espagne, Pologne et le Portugal la Slovaquie et le Royaume-Uni avaient déjà démarré l'intégration des cours de codage dans les écoles avant cette initiative (Balanskat & Engelhardt, 2015). Depuis, plusieurs autres pays ont suivi et ont révisé leurs curricula.

En Russie, depuis 2012 une réforme a été effectuée et les curricula scolaires déterminés par des normes éducatives fédérales présentent plusieurs objectifs liés au codage et à la pensée informatique. Parmi ces objectifs, nous citons le développement des fondements de la pensée logique et algorithmique, l'écriture et l'exécution d'algorithmes à partir de l'âge de 7 ans, le développement d'une capacité à créer et à écrire un algorithme pour un exécuteur précis et la familiarité avec un langage de programmation et avec des structures algorithmiques un peu plus complexes à partir de l'âge de 11 ans. À l'âge de 16 et 17 ans, les objectifs deviennent beaucoup plus minutieux et les compétences deviennent complexes. Nous citons quelques objectifs de la grande panoplie proposée, dont la capacité à utiliser des compétences de pensée algorithmique, la capacité à comprendre des programmes écrits dans un langage algorithmique sélectionné, l'utilisation de méthodes standard de création de programmes dans un langage algorithmique, le débogage de programmes, l'acquisition des connaissances sur les algorithmes de base pour le traitement numérique et textuel ainsi que la création et l'exploitation des applications Internet (Kiryukhin & Tsvetkova, 2016). Les petites classes suivent 105 heures d'informatique par année dont 26% réservées au codage et à la pensée informatique, alors que les plus grandes classes suivent 280 heures d'informatique par année, dont 48% réservées à la programmation et à la pensée informatique. Outre les écoles ordinaires, la Russie dispose d'un système d'enseignement

extracurriculaire, partiellement financé par l'État. Ces établissements d'enseignement proposent aux enfants plusieurs domaines tels que les arts créatifs, les sports, les sciences, les études sociales, etc. Les inscriptions dans le domaine des technologies de l'information dont la programmation est très fréquente et très demandée (Khenner & Semakin, 2014).

Au Royaume Uni, le programme national a été réformé en 2014 pour intégrer la pensée informatique dans les curricula (Duncan, Bell, & Tanimoto, 2014). Ceci s'est fait en quatre étapes clés sur la durée de l'enseignement formel de la maternelle aux classes secondaires (Bocconi, Chiocciariello, & Earp, 2018) . Entre 5 et 7 ans, les élèves créent et corrigent des programmes simples, entre 7 et 11 ans ils peuvent concevoir, écrire et déboguer des programmes pour atteindre des objectifs spécifiques. Le troisième niveau entre 11 et 14 ans, consiste en la conception, l'utilisation et l'évaluation des abstractions de calcul qui modélisent le comportement des problèmes et au dernier niveau, les élèves développent et appliquent les compétences d'analyse et la résolution de problèmes complexes (Département de l'Éducation au Royaume Uni, 2013). Ces cours sont intégrés dans le programme des matières quotidiennes, ouvrant la voie à une réforme de l'enseignement de matières telles que la langue, les mathématiques et les sciences.

En France, le codage est implémenté dans plusieurs cycles depuis 2016 (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2019) et l'État accorde une grande importance à toutes les facettes du numérique dont le codage. Le ministère de l'Éducation nationale en collaboration avec le ministère de l'enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation (2019) affirme dans le rapport « le numérique au service de l'école de la confiance » ce qui suit :

L'acquisition de compétences dans le domaine du numérique, et plus particulièrement de l'informatique, passe souvent par des expériences concrètes que les élèves peuvent vivre et poursuivre, dans un cadre scolaire ou hors temps scolaire. La fabrication numérique, la robotique, l'électronique sont des leviers importants de motivation, de valorisation voire d'inclusion. Le ministère souhaite donc développer très largement les activités de fabrication et de création autour des objets numériques dès

l'école primaire (programmation de robots par exemple). Dans ce type d'activités qui favorisent les nouvelles compétences du XXI^e siècle, l'apprentissage du code informatique permet de découvrir et d'acquérir des modes de résolution de problèmes différents des approches scolaires classiques. Hors temps scolaire, le ministère encouragera également la mise en place d'ateliers d'apprentissage du codage dans le cadre du Plan Mercredi.¹¹ (p. 21)

Dans un rapport concernant le développement du numérique éducatif partagé en 2019, le ministère met en relief l'importance du développement des compétences numériques dans le but de garantir un usage raisonnable et responsable des outils et des services d'une part et pour optimiser les possibilités d'insertion professionnelle d'autre part. L'initiation au codage démarre ainsi dans les petites classes elle est suivie par l'apprentissage du code au collège et par un nouvel enseignement obligatoire en seconde ainsi qu'un enseignement de spécialité en première et en terminale (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2019). Selon le projet de réforme du programme du cycle 2 de 2015, en classe de CE1, les élèves sont poussés à coder des déplacements à l'aide d'un logiciel de programmation adapté pour arriver en fin de CE2 à comprendre et à produire des algorithmes simples (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2015). Ces tâches sont intégrées au niveau des compétences de géométrie plane. Dans le cycle 3, les élèves apprennent à utiliser des logiciels d'initiation au codage durant les séances de mathématiques. Cette tâche est classée sous la compétence de maîtrise des techniques et connaissance des règles des outils numériques (Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse, 2015).

En septembre 2015, le gouvernement suédois a lancé le travail sur la stratégie nationale des TICE avec une mise à jour du programme d'études pour l'enseignement primaire et secondaire annoncée en 2017 (Ministère Suédois de l'Éducation, 2017). Le gouvernement a explicitement exigé que les curricula renforcent les compétences

¹¹ Le plan mercredi propose un financement et une organisation des accueils de loisirs de qualité en France.

numériques des élèves et introduisent la programmation d'une manière obligatoire. En 2017, le gouvernement suédois a publié le curriculum révisé, avec une définition de la compétence numérique qui comprend la programmation (Agence Nationale Suédoise de l'Éducation, 2017). Le nouveau programme a été implémenté durant l'année scolaire 2018-2019 (Heintz F. , Mannila, Nordén, Parnes, & Regnell, 2017) et les cours de codage sont en train d'être intégrés dans trois matières qui sont la technologie, les mathématiques et les sciences sociales. L'importance de la programmation est principalement discutée en sciences sociales. Durant les séances de technologie, les étudiants apprennent à contrôler des objets au moyen de la programmation puis démarrent à effectuer leurs propres constructions pour les contrôler d'une manière sophistiquée et complexe (Balanskat, Engelhardt, & Licht, 2018).

En Finlande, le développement d'un nouveau programme national de base pour les écoles primaires et secondaires en 2014 comprenait 347 objectifs d'apprentissage liés aux aspects de la pensée informatique et de la programmation (Seow, Looi, & Bimlesh, 2019). En 2016, le codage a été intégré dans le programme national de base au niveau des compétences générales en technologies de l'information et de la communication ainsi qu'au niveau de l'enseignement des mathématiques (Bocconi, Chiocciariello, & Earp, 2018). L'initiation à la programmation démarre dès l'âge de six ans et évolue en fonction de l'âge et des compétences des apprenants. Le développement des compétences en codage se fait d'une manière transversale dans le cadre de plusieurs matières scolaires. La robotique est introduite à partir de la troisième année pour développer le sens de la construction et de la création. À partir de la septième année, les apprenants finlandais apprennent à mettre en œuvre des systèmes ou des programmes intégrés dans la conception et la fabrication de produits. Durant les séances de mathématiques, l'accent est mis sur le développement des compétences de réflexion algorithmique et de la pensée computationnelle. Les élèves apprennent d'abord à créer des séquences d'instructions de base et progressent graduellement pour arriver enfin de leur parcours à appliquer les principes de la pensée algorithmique dans la création de programmes simples (Société Finlandaise de l'Éducation, 2017).

En Norvège, une révision du programme national est en cours, dans le but de relever les défis posés par des changements rapides et de grande ampleur dans la société. Le ministère de l'éducation a publié une stratégie de numérisation pour l'enseignement primaire, secondaire et professionnel pour la période 2017-2021 (Ministère Norvégien de l'Éducation, 2017). Selon la stratégie, la pensée informatique et la programmation devraient être intégrées dans le programme d'étude et le choix des matières doit être étudié (Balanskat, Engelhardt, & Licht, 2018). La Direction norvégienne de l'éducation et de la formation a entamé le processus de révision de l'ensemble du curriculum de l'enseignement primaire et secondaire et de la formation. Le gouvernement a mis en œuvre un projet pilote proposant le codage en tant que matière élective dans le premier cycle du secondaire, qui deviendra une matière permanente au choix.

II.4.2. En Asie

Dans les pays de l'Asie de l'Est, la pensée informatique est une question émergente au niveau de la recherche et des pratiques pédagogiques et politiques (Wong, et al., 2015). En raison de leur progrès dans l'industrie des technologies de l'information et de la communication, des pays comme la Corée du Sud, Taiwan et la Chine ont lancé des réformes nationales des curricula scolaires pour intégrer la pensée informatique incluant le codage dans l'éducation (So, Jong, & Liu, 2020).

En Chine, le gouvernement encourage les écoles à s'ouvrir à l'éducation dans le domaine des sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (STIM ou STEM en anglais) qui inclut l'intégration du codage dans les curricula. Un nouveau cours sur la conception de jeux informatiques visant à enseigner aux apprenants à créer une histoire et des interactions dans un jeu est enseigné par exemple durant les séances de codage (May Lee & Yuan, 2018).

En 2014, Singapour a lancé l'initiative Smart Nation, des programmes ont été mis en œuvre pour introduire et développer les compétences de la pensée informatique et les capacités de programmation chez tous les apprenants des classes préscolaires aux classes secondaires (Seow, Looi, & Bimlesh, 2019). Pour améliorer le projet, le gouvernement a introduit en 2018 une évaluation des cours de codage dans dix-neuf établissements

scolaires pour trouver la manière optimale d'implémenter ces cours et d'améliorer l'enseignement (May Lee & Yuan, 2018). Dans les écoles maternelles, la pensée algorithmique est enseignée grâce à des jouets électroniques et à la robotique en utilisant les circuits stickers, Beebot et Kibo (Seow, Looi, & Bimlesh, 2019). Au niveau des classes primaires, le programme Code for fun a été implémenté en parallèle au codage en utilisant Scratch et MoWay. Au niveau des classes secondaires la programmation se fait grâce au langage Python (Division de Planification et de Développement des curricula, 2016).

La Corée du Sud prépare les étudiants à son économie créative avec des stratégies telles que son initiative d'éducation aux logiciels (So, Jong, & Liu, 2020). Les changements dans le programme sont axés sur le développement des compétences, de la tomodensitométrie et de l'expression créative par le biais de programmes, qui sont mis en œuvre à tous les niveaux, du primaire à l'enseignement universitaire d'une manière obligatoire depuis 2018 (Choi & Kim, 2017).

Le Japon envisage de faire de la programmation une composante obligatoire de l'éducation dans les écoles. L'état a récemment annoncé son intention à rendre la programmation informatique obligatoire pour tous les apprenants avant 2022. Le conseil central de l'éducation du ministère de l'éducation, de la culture, des sports, des sciences et de la technologie a présenté un rapport mentionnant l'introduction du codage à l'école primaire en indiquant que les cours ne devraient pas viser à enseigner aux élèves le codage, mais devrait plutôt favoriser la réflexion requise pour coder (Maruyama, 2018).

En Malaisie, la pensée informatique a été intégrée dans la réforme des curricula scolaire effectuée en 2017 dans les classes du primaire et du secondaire. En 2018, les enfants âgés de 11 ans et plus avaient accès à ces cours et à partir de l'année 2020 les cours ont commencé à être offerts aux classes de 4^{ème} et 5^{ème} niveau donc à partir de l'âge de 9 ans. Dans les classes primaires (niveau 4-5-6) ces cours sont donnés durant la matière de *design technology* où les élèves apprennent à créer des algorithmes et à développer des programmes simples. Ils doivent également programmer en utilisant Arduino et Micro Bit. Dans les classes secondaires (à partir de l'âge de 12 ans) le codage est enseigné à

travers les matières de base en informatique grâce à l'utilisation de logiciels d'application tels que Microsoft Visual Basic, JAVA, HTML, Javascript, Microsoft Access, MySQL, XAMPP et Notepad (Département de Révision des Curricula, Ministère de l'Éducation en Malaisie, 2016).

Concernant les pays arabes asiatiques, peu nombreux sont les pays ayant officiellement intégré le codage dans leurs programmes officiels. Certaines initiatives sont prises d'une manière ponctuelle tels que la semaine de la robotique en Arabie Saoudite, au Qatar et au Koweït, ou des formations proposées aux enseignants dans des écoles au Bahreïn (Ministère de l'Éducation du Bahreïn, 2019). Une étude effectuée auprès de 263 enseignants en Arabie Saoudite montre que malgré les fonds déposés par le gouvernement sur les innovations dans le domaine de l'éducation, les enseignants ne peuvent pas prendre seuls l'initiative de l'intégration de la robotique dans leurs classes. Ceci, à cause de leur manque de connaissances dans le domaine et de l'inadéquation du contexte éducatif. Pour résoudre ce problème, un changement dans la politique éducative de l'Arabie saoudite doit être effectué (Alsoliman, 2018).

Les Émirats Arabes Unis se distinguent du reste des pays asiatiques arabes par le fait qu'ils ont intégré depuis 2017 des cours de codage et de robotique sous la compétence *design technology*, à partir de l'âge de 8 ans (Ministère de l'Éducation des EAU, 2017). Cette matière est enseignée d'une manière intensive et directe. De plus, les écoles sont très bien équipées en termes de TICE et plusieurs innovations technologiques sont mises à la disposition des enseignants et des apprenants.

II.4.3. En Amérique

Au Canada, le premier ministre Justin Trudeau encourage depuis 2016 l'intégration du codage dans les curricula et affirme qu'il faut faire beaucoup plus d'effort pour amener les jeunes à comprendre ce qu'est le codage, comment programmer, comment résoudre

les problèmes, et comment créer des algorithmes¹² (Kitchener Post, 2016). Dans la Colombie Britannique, la pensée informatique et la robotique sont introduites en tant que contenu relatif à la compétence des technologies appliquées depuis septembre 2016 (Ministère de l'Éducation de la province de la Colombie Britannique, 2016). La Nouvelle Écosse a lancé les cours de codage dans toutes les classes (Niveau 1 jusqu'au niveau 12) en septembre 2016 (Ministère de l'Éducation et du Développement de la Petite Enfance, Province de la Nouvelle-Écosse, 2015) et l'Ontario les a intégrés dans les séances de mathématiques pour les classes du niveau 1 jusqu'au niveau 8 depuis septembre 2017 (Gadanidis, 2017). Au Québec, depuis 2018 (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur au Québec, 2018), la robotique est incluse dans les classes primaires et secondaires au niveau du domaine des mathématiques et des sciences et technologies (Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur au Québec, 2020).

Aux États Unis, le département d'éducation conseille vivement l'utilisation de la technologie au niveau de l'enseignement, en spécifiant que par technologie, ils ne veulent pas dire outils technologiques, mais plutôt l'initiation à la pensée informatique qui lorsque développée permet de meilleures performances au niveau de la totalité des matières scolaires et permet aussi le développement de la curiosité scientifique (Département des Technologies Éducationnelles aux EUA, 2017). Depuis 2015, le développement de la pensée informatique s'est fait grâce à l'initiation des jeunes au codage et à la création de produits numériques. Ceci, grâce à des outils comme Makey-Makey, scratch et code.org pour les petites classes ainsi qu'Arduino et Raspberry pour les plus âgés (Département des Technologies Éducationnelles aux EUA, 2016). Dans le plan national de l'éducation effectué en 2017, le codage, la robotique et la pensée computationnelle figurent sous plusieurs rubriques ce qui montre l'importance que porte l'initiation à la pensée informatique aux yeux du département d'éducation américain.

¹² *We need to do a lot better job of getting young people to understand what coding is and how it's important, how to program, how to problem solve, how to create the most elegant algorithm possible.*

Au Brésil, un programme appelé *Programming literacy* a permis d'intégrer dans certaines écoles publiques la pensée informatique grâce au codage et à la robotique depuis 2015 (da Silva Eloy, Martins, Pazinato, Lukjanenko, & Lopes, 2017). Quelques années plus tard, le document BNCC (Base Nacional Comum Curricular) est paru. Ce document détaillant l'enseignement proposé par les écoles brésiliennes de la maternelle au lycée, implique l'intégration de la pensée informatique au sein des curricula à partir de l'année 2020 (Brackman, Barone, & Boucinha, 2019). Selon ce document, les élèves doivent développer dix compétences générales à la fois cognitives et socio-émotionnelles, qui incluent le développement de la curiosité intellectuelle et l'utilisation des technologies de communication numérique (Ministère de l'Éducation au Brésil, 2018).

Le Mexique, a tenté d'améliorer les objectifs nationaux de l'éducation aux TICE et a abouti à la création d'un nouveau curriculum scolaire basé sur les normes ISTE NETS¹³, à la fois au primaire et au secondaire. Ces normes visent à développer des compétences dans six domaines, dont ceux de la créativité et l'innovation, la pensée critique, la résolution de problèmes et la prise de décision. Cependant, le nouveau programme ne se traduit pas par des activités spécifiques permettant la transversalité et le développement réel des capacités. Cette lacune majeure et les nombreux défis qui ne sont pas encore résolus par les programmes existants, supposent de nouvelles réformes pour arriver à développer des capacités de haut niveau dans les domaines susmentionnés (Escherle, et al., 2016).

II.4.4. En Océanie

En Australie, les réformes des programmes effectuées en 2015 incluent l'introduction de la programmation dans les écoles primaires et secondaires (Vivian, Falkner, & Falkner, 2014). La réforme met fortement l'accent sur les compétences de la pensée informatique et sur le développement de la culture numérique. Les interventions partent de la description et représentation d'une séquence d'étapes et de décisions algorithmiques

¹³ Les normes de l'ISTE définissent les compétences nécessaires pour apprendre, enseigner utiliser efficacement les technologies dans les écoles. Ces normes sont adoptées dans les 50 États américains.

nécessaires pour résoudre des problèmes simples, jusqu'à l'apprentissage et l'utilisation de langages de programmation sophistiqués à l'aide de la technologie afin de garantir une compréhension des processus complexes et abstraits (Autorité d'Évaluation et de Communication du Curriculum Australien, 2015). L'apprentissage comprend des jeux dirigés pour développer la compréhension de la relation entre les mondes réel et virtuel ainsi que l'utilisation et de la technologie dans le but de formuler des instructions précises et de résoudre des problèmes simples dans le monde numérique (Heintz, Manila, & Färnqvist, 2016).

La Nouvelle Zélande a effectué une réforme au curriculum scolaire en 2018 afin d'améliorer le domaine d'apprentissage des technologiques. Le ministère a intégré l'initiation à la pensée informatique pour permettre aux élèves de formuler des solutions à des problèmes grâce au code et de développer des connaissances et des compétences liées à la conception et à la production de résultats numériques (Ministère de l'Education - Nouvelle Zélande, 2018).

II.4.5. En Afrique

Dans les pays africains, des projets et plans d'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires sont discutés par plusieurs gouvernements. L'Afrique du Sud envisage par exemple un démarrage de l'implémentation de ces cours en 2023 et planifie de les proposer à partir de l'âge de 5 ans jusqu'à l'âge de 15 ans (BusinessTech, 2020). Au Nigeria, le gouvernement annonce un partenariat avec un organisme privé afin d'introduire les classes de codage et de robotique dans les programmes scolaires sans toutefois préciser une date (Coderina, 2020). Plusieurs défis se présentent et le gouvernement fédéral nigérien doit pouvoir gérer le budget alloué au matériel, les structures physiques des établissements scolaires qui présentent rarement des espaces convenables ainsi que les problèmes au niveau des coupures du courant électrique et l'absence de source d'électricité alternative (Fabiyyi, Abdulmalik, & Tiamiu, 2016). Des initiatives prises par des organismes privés et des centres de loisirs ont lieu dans plusieurs pays d'Afrique comme par exemple en Côte d'Ivoire ou en Égypte, mais les cours ne sont pas encore introduits au niveau des programmes officiels des écoles.

Cet état des lieux international montre une disparité et des inégalités entre les pays et les continents qui remettent en cause l'appellation génération digitale donnée aux jeunes d'aujourd'hui. Des disparités peuvent exister au sein d'un même pays comme dans le cas du Liban où s'est déroulée la partie empirique de cette recherche. Un état des lieux de l'intégration des cours de codage et de robotique dans les programmes scolaires de différents établissements est effectué dans le chapitre qui suit.

II.5. État des lieux au Liban

Les disparités face au numérique et au codage et à la robotique existant au niveau mondial peuvent se retrouver au sein d'un même pays. Le Liban en est l'exemple. Ces inégalités sont représentatives de la situation éducationnelle dans le pays.

Afin de décrire la situation de l'intégration des cours de codage et de robotique au sein des établissements scolaires au Liban, il est nécessaire d'explicitier la manière suivant laquelle sont répartis les établissements scolaires et les conditions sociales et économiques qui régissent cette répartition. En effet, il existe des établissements scolaires publics et des établissements scolaires privés sur tout le territoire Libanais ; et il existe aussi des écoles sponsorisées par des ONG et par le gouvernement au sein des camps de réfugiés. Les élèves participant à notre étude sont exclusivement scolarisés dans des établissements publics et privés puisque, d'une part, les camps de réfugiés ne sont pas facilement accessibles et, d'autre part, afin de réduire les variables exogènes à contrôler.

Durant l'année scolaire 2020-2021, 1 053 956 élèves âgés de 3 à 17 ans étaient inscrits aux établissements scolaires. 36,5% des élèves étaient inscrits dans des établissements publics, 48,86% étaient inscrits dans des établissements privés et 11,07% dans des établissements privés semi-gratuits. Examinant la tranche d'âge choisie pour cette étude, 31,13% des élèves de la classe de CM1 étaient inscrits dans le secteur public et 64,62% dans le secteur privé. Concernant la classe de CM2, 29% des élèves étaient scolarisés dans des établissements publics et 65,23% dans des établissements privés. Le nombre total d'élèves scolarisés en CM1 au Liban est de 90331 avec 48,1% de filles et le nombre total d'élèves scolarisés en CM2 est de 76514 avec 47,9% de filles (CRDP, 2020).

2796 établissements scolaires existent en 2020 au Liban, dont 44,21% d'établissements publics, 41,63% d'établissements privés et 11,84% d'établissements privés semi-gratuits. La majorité des établissements scolaires privés présentent tous les cycles dans un même campus et sous le nom du même établissement. Ainsi, les élèves n'auront pas à changer d'établissement en passant d'un cycle à un autre. Qu'ils soient publics ou privés, les établissements scolaires ont le choix entre un programme scolaire ayant le français ou l'anglais en tant que langue d'enseignement première. Ainsi, à l'exception des cours de langue, les matières sont dispensées en français ou en anglais. 49,6% des élèves sont scolarisés dans des établissements francophones et 50,4% dans des établissements anglophones (CRDP, 2020). Suite à la classe de Terminale plusieurs types d'examen officiels sont présentés : l'examen officiel du baccalauréat libanais qui se passe en français ou en anglais, le baccalauréat français qui suit les règles régies par le ministère de l'Éducation en France ainsi que le baccalauréat international qui est régi par la *International Baccalaureate Organization*. De plus, l'enseignement technique est proposé à partir de la classe de 3^{ème} (à l'âge de 14 ans). Les écoles publiques suivent le programme officiel validé par le ministère d'éducation et d'enseignement supérieur, alors que les écoles privées suivent des programmes relatifs aux accréditations qu'elles possèdent.

Les écoles publiques sont gratuites pour tous les âges alors que les frais de scolarité des écoles privées peuvent varier de frais symboliques de 500 000 LL à des frais assez élevés approchant les 18 000 000 LL. Notons que le salaire mensuel minimum au Liban est de 675 000 LL (Le monde, 2020) et qu'un grand écart existe au niveau des revenus mensuels moyens puisque les 10% des adultes les plus riches au Liban détiennent 40% du revenu national selon des statistiques effectuées en 2014 (Le Commerce du Levant, 2017).

Ainsi, l'intégration des cours de codage et de robotique au sein des établissements scolaires ne dépend pas entièrement des initiatives gouvernementales, mais elle est plutôt relative à différentes conditions présentées par les écoles. Nous exposerons dans ce qui suit les différences d'enseignement du codage et de la robotique par rapport au type d'école. Les informations présentées ont été recueillies grâce à des entretiens semi-

directifs effectués avec des enseignants travaillant au sein de différents établissements. Certains des établissements mentionnés proposent en parallèle au programme scolaire des clubs de robotique extracurriculaires qui ne seront pas mentionnés dans ce qui suit.

Les entretiens ont eu lieu en visioconférence, ils étaient régis par un guide d'entretien servant de cadre à l'entretien. Ce type d'entretien est le plus utilisé dans les recherches qualitatives car il allie la rigueur dans les thèmes et sujets abordés à la souplesse dans l'échange (Creswell & Creswell, 2018). Ces entretiens semi-directifs ont offert la possibilité d'approfondir les informations sur l'état des lieux au Liban.

Le guide d'entretien contenait huit questions préparées à l'avance et mémorisées afin de permettre une fluidité au niveau des échanges. Des questions supplémentaires ont été posées au besoin. Le guide d'entretien est présenté en annexes. L'entretien a démarré par une introduction du but de l'entretien et de la recherche effectuée, les questions ont été posées et pour clôturer l'entretien, une synthèse des réponses données a été effectué.

II.5.1. Le codage et la robotique au sein des établissements scolaires publics

Afin de comprendre l'état actuel de l'enseignement du codage et de la robotique dans les établissements scolaires publics, un entretien avec Grace Sawwan chef du département d'informatique pédagogique au Centre de Recherche et de Développement Pédagogiques (CRDP) du ministère de l'Éducation au Liban a eu lieu le 18 juin 2020.

Le curriculum libanais présente depuis la version élaborée en 1997 des séances d'informatique en tant que matière optionnelle à partir de la classe de 5^{ème} jusqu'aux classe de 2^{nde}. Les élèves en classe de première et terminale option Sciences de la Vie et Sciences générales ont aussi des cours d'informatique alors que les élèves en classe de première et terminale option littéraire ou sociologie économie n'ont pas de cours d'informatique. Une unité de programmation est donnée pour chaque classe variant entre 8 et 12 séances chaque année. Le logiciel utilisé est le PC LOGO dans le programme officiel.

Le programme établi vise l'enseignement des concepts informatiques et encourage l'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement des autres matières. Il contient les leçons

suivantes : l'environnement de programmation, les instructions de base et les procédures simples, la répétition, les opérateurs arithmétiques (+, -, *, /), l'éditeur, les mots et les listes, les procédures avec variables, la gestion des procédures, la programmation interactive, les opérateurs logiques (NOT, AND, OR), l'instruction conditionnelle, la programmation et la résolution de problèmes, la structure d'un programme, les commentaires, le défilement, les boîtes de dialogue, les menus, les boucles et les instructions conditionnelles et les techniques de programmation graphiques et multimédias (CRDP Liban, 1997).

79,6% des écoles publiques ayant des classes secondaires ont des salles d'informatique et 61% des classes secondaires enseignent l'informatique. Par ailleurs, 86.8% des écoles publiques ayant des classes complémentaires ont des salles d'informatique. Une étude effectuée auprès des enseignants et des directeurs d'établissements scolaires publics au Liban montre que 29% des directeurs d'établissement indiquent qu'il n'y a pas d'enseignement d'informatique dans leurs établissements (CRDP, 2015). Le CRDP n'a pas de données officielles actualisées concernant le contenu enseigné durant les séances d'informatique, l'état du matériel mis à la disposition des enseignants et des élèves, l'investissement du matériel ou la manière dont se donnent les cours. Des études statistiques effectuées en 2017 montrent que les établissements scolaires publics auraient en moyenne trois ordinateurs pour chaque 100 élèves sans que ceci n'implique l'utilisation de ces ordinateurs (CRDP, 2017).

Avant la pandémie de Covid19, des projets de réforme visaient à ce que :

- 1) L'informatique deviendra une matière obligatoire et sera enseignée à partir du CP
- 2) La littératie numérique sera considérée en tant que compétence de base du curriculum et l'un des domaines essentiels est la pensée computationnelle dont la programmation
- 3) Différencier l'informatique et la programmation et avoir deux matières séparées à enseigner
- 4) Le projet *Makerspace* qui est un lieu où les élèves se réunissent pour explorer, découvrir, créer, inventer et bricoler en utilisant une variété d'outils et de

matériaux. Entre autres, les enfants pourront construire des robots et les programmer et créer des applications. Ils peuvent aussi faire du jardinage, de la menuiserie, des ateliers d'électricité et d'électromécanique...

Les projets de réforme sont nombreux et variés, mais avant mars 2022 aucune décision ministérielle n'a été prise afin d'effectuer une réforme pour les mettre en pratique. Les programmes enseignés actuellement au sein des écoles publiques restent ceux de 1997 et la suggestion de loi d'intégration des cours de TIC dans les programmes scolaires ne détaille pas le plan qui sera mis en place.

II.5.2. Le codage et la robotique au sein des établissements scolaires privés

Les établissements privés ne suivent pas un programme unifié, chaque établissement applique le programme qui lui semble le plus efficace et qui répond à la politique de l'établissement, à ses conditions financières ou à la mission de la congrégation à laquelle il appartient. Des lettres ont été adressées à plusieurs établissements scolaires dans le but de s'entretenir avec les coordonnateurs ou les enseignants, afin d'avoir l'image la plus précise possible de la réalité de l'enseignement de l'informatique et du codage dans les établissements scolaires libanais. Peu nombreux sont les établissements proposant des cours de codage et de robotique et les entretiens rapportés dans ce qui suit proviennent de ceux qui proposent ces cours. Le rapport n'est pas exhaustif.

a) Établissements du réseau français au Liban homologués ou conventionnés par l'AEFE¹⁴

Jusqu'en février 2021, sept établissements scolaires libanais sont conventionnés par l'AEFE et 42 établissements sont homologués (AEFE, 2021). Des entretiens auprès de coordinateurs d'informatique au sein de deux établissements homologués le Collège de la Sainte Famille Fanar et le Collège Louise Wegmann ont été effectués afin de collecter les informations relatives à l'intégration du codage et de la robotique au sein de ces établissements.

¹⁴ Agence pour l'Enseignement Français à l'Étranger

Le Collège de la Sainte Famille Fanar est un établissement religieux rattaché à une congrégation française. 2194 élèves sont scolarisés au sein du collège depuis les classes de la petite section jusqu'aux classes de terminales sur un seul campus ayant une superficie de 70 000 m². Les élèves accueillis font partie de la classe moyenne. La scolarité au sein du collège s'élève à 7 000 000 L.L., ce qui vaut 10,37 salaires mensuels minimums et 6,22 salaires moyens mensuels¹⁵. La mission de l'établissement inclut le développement holistique de la personne et donc une variété d'activités sportives, artistiques, technologiques, culturelles et religieuses sont proposées au quotidien et font partie du programme scolaire.

Le Collège Louise Wegmann est un collège laïc qui accueille 1800 élèves de la classe de petite section jusqu'à la classe de terminale sur trois campus ayant une superficie totale de 50 000 m². Des voyages et des classes découvertes sont proposés chaque année et une variété d'activités extracurriculaires sont présentées. Les élèves accueillis viennent en majorité de familles très aisées et trilingues. Le tarif de la scolarité s'élève à une moyenne de 14 000 000 L.L par élève sur l'année scolaire et n'inclut pas le costume, le transport, les repas à la cantine et les activités extracurriculaires. Ainsi les frais de la scolarité ont la valeur de 20,6 salaires mensuels minimums et 12,44 salaires moyens mensuels. Le collège présente des activités artistiques, sportives, technologiques, et culturelles au quotidien.

Les coordinateurs des cours d'informatique au sein de ces deux établissements ont été interviewés. Notons qu'ils sont à la base des informaticiens et non pas des enseignants. Les informations collectées à partir de ces entretiens sont similaires. Ces établissements suivent le programme établi par le Ministère de l'Éducation Nationale en France en 2019. En effet, dans les classes du cycle primaire (CP à la CM2), les outils informatiques sont utilisés au service des autres disciplines. Un enseignant de langue voulant utiliser un certain outil serait lui-même responsable de l'enseignement de la manière dont l'outil fonctionne. Ainsi, Le codage et la robotique sont intégrés aux autres

¹⁵ Le salaire mensuel minimum est de 650 000 L.L. et le salaire mensuel moyen est de 1 125 000 L.L.

disciplines d'une manière transversale. Au niveau des classes du cycle complémentaire (6^{ème} – 3^{ème}) et du cycle secondaire (de la seconde à la terminale), des séances de sciences numériques et technologie sont proposées (Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports, 2019). Plusieurs outils dont Lego Mindstorms, Arduino et Microbit sont utilisés au Liban. Chaque établissement possède le nombre de kits qui correspond à ses besoins et à sa situation financière. Le codage et la robotique sont aussi intégrés d'une manière transversale surtout durant les séances de mathématiques et de physiques. La majorité des établissements contactés avaient commencé à modifier leurs cours durant l'année scolaire 2019-2020 en suivant ces recommandations. Toutefois, les établissements scolaires libanais ont effectué obligatoirement les enseignements à distance entre mars 2020 et juin 2021 à cause de la pandémie COVID-19, et ils n'ont en conséquence pas eu assez de temps pour expérimenter et mettre en œuvre les modifications proposées. Notons que les deux coordinateurs interviewés pensent que des cours de codage et de robotique sont nécessaires et vitaux pour le développement des compétences du XXI^e siècle, et ne proposent pas ces cours par obligation, mais pour l'intérêt des élèves.

b) Établissements utilisant la série de livres Passeport Informatique

Deux entretiens ont été menés d'une part avec Wissam Daccache, auteur de ces livres, et d'autre part, avec une enseignante coordinatrice d'informatique au sein d'un établissement scolaire privé. La série de livres Passeport Informatique est utilisée dans 200 établissements scolaires au Liban. Cette série propose des livres pour les niveaux du CP à la seconde. Le livre propose un cursus d'informatique complet et présente quelques séances de codage et de robotique à partir du CM1. Le programme de codage et de robotique proposé implique des outils diversifiés comme Scratch, Lego Mindstorms, Arduino, Python, Small Basic et Microbit. Certains établissements utilisent le livre comme base et ajoutent des cours supplémentaires et d'autres suppriment certaines leçons par manque de matériel, de temps ou de formation pour les enseignants. Par ailleurs, selon l'auteur, certains établissements scolaires ne croient pas en l'utilité de l'intégration du codage et de la robotique au sein des cursus, mais le font uniquement parce que c'est la

tendance. Ceci influence énormément les apprentissages et les efforts mis en place au niveau de la présentation du codage et de la robotique.

Passeport Informatique est utilisé dans l'établissement scolaire où exerce l'enseignante rencontrée depuis l'année scolaire 2010-2011. C'est un établissement religieux qui accueille 578 élèves de la classe de petite section jusqu'à la classe de terminale. Uniquement 20% des élèves sont des garçons parce que l'établissement présente des critères très spécifiques au niveau du recrutement des garçons. Les élèves sont accueillis en suivant un certain quota concernant la religion. La plupart des parents sont des militaires et servent au sein de l'armée ou de la gendarmerie. Il y a aussi des fonctionnaires dans le secteur public qui occupent des emplois modestes ou bien des personnes qui exercent des métiers d'artisans (menuisier, carreleur, plombier...). Les parents gagnent donc en majorité le salaire mensuel minimum. Les tarifs de scolarité s'élèvent à 4 100 000 L.L., ce qui équivaut à 6,30 salaires mensuels minimums et 3,64 salaires moyens mensuels. Des activités culturelles sont proposées sur des moments ponctuels durant l'année.

L'enseignante interviewée est informaticienne de formation et elle n'a pas une formation d'enseignement. Elle est la seule enseignante d'informatique au sein de l'établissement et propose des cours d'informatique à raison d'une séance chaque deux semaines pour les classes de CP jusqu'à la classe de seconde. Six heures de codage et de robotique sont proposées à partir du CE2. Les outils utilisés sont Scratch (du CE2 à la 6^{ème}), un kit de Lego Mindstorm pour les classes du CM1 à la 3^{ème} et le *Small Basic* de la 4^{ème} à la seconde. L'établissement compte introduire Arduino et Python d'une manière transversale à la rentrée de 2021. Notons que l'enseignement du codage et de la robotique se faisait depuis 1990 au sein de cet établissement en utilisant le langage LOGO, et que la coordinatrice participe régulièrement aux formations proposées par Wissam Daccache. Quoique les moyens financiers soient minimes, cet établissement tient à l'intégration du codage et de la robotique au sein du programme dans le but de développer la pensée computationnelle.

c) Établissements concevant leurs propres programmes de codage et de robotique

Quatre établissements scolaires qui conçoivent eux-mêmes leurs programmes d'informatique ont répondu à l'appel. Les informations recueillies sont présentées dans ce qui suit.

Dans le premier établissement, nous rencontrons l'informaticienne et coordinatrice du département TICE. C'est un établissement scolaire anglophone, privé, à but non lucratif, régi par un conseil des gouverneurs et rattaché au Quaker International Educational Trust (QUIET) basé à Londres ¹⁶. L'établissement accueille 1250 élèves et présente une option internat pour les familles qui le désirent. Sur le plan académique, l'art et le sport font partie intégrante du programme et de la mission de l'école. Cet établissement dispense le baccalauréat international, il fait partie du réseau Cambridge IGCSE et est accrédité par plusieurs programmes américains en lien avec l'éducation. Les frais de scolarité au sein du collège s'élèvent à 7 300 000 L.L., ce qui vaut 11,23 salaires mensuels minimums et 6,4 salaires moyens mensuels.

L'établissement présente depuis la rentrée de septembre 2017 des cours de STEM inspirés par le programme de *Carnegie Mellon University* pour les classes secondaires d'une manière transversale coordonnés par le département de Mathématiques et de TICE. Ces cours contiennent des séances de programmation et mettent en œuvre les concepts appris en classe, par exemple la trigonométrie, le poids, la rotation, les angles, les forces, le frottement, etc. Le travail effectué est assez avancé au niveau de la complexité de la tâche et utilise comme matériel les kits Arduino, Lego Mindstorms et Vex. L'établissement a décidé de proposer des cours de robotique parce que les dirigeants trouvent que c'est une application pratique de nombreux concepts scientifiques et mathématiques enseignés. Selon la coordinatrice, ces séances offrent aux étudiants la possibilité de réfléchir et de résoudre des problèmes, améliorant ainsi leur pensée critique et leurs compétences en résolution de problèmes, habiletés importantes par rapport à l'employabilité au XXI^e siècle. Le matériel de conception et de construction qu'ils utilisent met au défi la créativité des étudiants et les pousse à élargir leur esprit lorsqu'ils

¹⁶ Le quaker la Société religieuse des Amis est un mouvement religieux fondé en Angleterre au XVII^e siècle par des dissidents de l'Église Anglicane.

essaient de trouver le meilleur robot pour effectuer la tâche. Il permet également d'améliorer leurs compétences motrices et leur capacité de construction. L'établissement se trouve malheureusement dans l'obligation de remplacer les cours de robotique par des cours de design et technologie IGCSE¹⁷ de l'Université de Cambridge pour les classes du secondaire parce que le besoin actuel va plutôt dans ce sens. Ils tacheront toutefois à introduire la robotique dans les classes complémentaires dans les années à venir.

Dans un deuxième établissement, nous rencontrons un ingénieur informatique et enseignant de robotique. C'est un établissement scolaire religieux, anglophone et privé qui accueille 1375 élèves. Cet établissement dispense le baccalauréat international et est accrédité par l'association MSA¹⁸. Les activités culturelles, sportives et artistiques font partie intégrante du programme scolaire. Les frais de scolarité au sein du collège s'élèvent à 7 400 000 L.L., ce qui vaut 11,38 salaires mensuels minimums et 6,57 salaires moyens mensuels.

Au sein de cet établissement, les cours de codage et de robotique sont proposés pour les classes de CE2 à la 4^{ème} depuis la rentrée scolaire de 2017. Durant ces séances, les élèves sont invités à dessiner des formes géométriques simples et avancées, à identifier et à comparer des quantités en utilisant des opérations mathématiques incluses dans les applications qu'ils utilisent en classe, et à expérimenter des concepts de physique et en chimie appris en classe. Les outils mis à la disposition des élèves sont Scratch, Lego Mindstorms et HTML. Ces cours ont été introduits en 2017 afin d'améliorer les capacités de réflexion critique des élèves et de leur apprendre à utiliser la technologie d'une manière approfondie en traitant les informations selon différentes perspectives.

Pour le troisième entretien, nous rencontrons une ingénieure d'informatique, titulaire d'un diplôme d'enseignement et enseignante de robotique. C'est un établissement scolaire religieux affilié au regroupement d'établissements « Amal ». Ce regroupement accueille 12 500 élèves sur plusieurs campus sur le territoire libanais. La scolarité est gratuite.

¹⁷ *International General Certificate of Secondary Education.*

¹⁸ *Middle State Association.*

L'établissement propose au niveau de son programme scolaire des cours de codage depuis l'année scolaire 2002-2003. Ces cours ont progressé avec l'évolution des langages et des plateformes de codage et sont proposés pour le moment à travers le cours d'informatique pour les classes de CM1 jusqu'à la classe de 4^{ème}. Selon leur programme six heures de codage et de robotique sont données en moyenne durant l'année scolaire. Les outils utilisés sont Scratch, Small basic, Visual basic, Python, Lego Mindstorms et Arduino. L'établissement tient à garder ces cours afin de préparer les élèves aux emplois requérant des connaissances au niveau du numérique et afin de développer leur pensée critique.

Le dernier entretien a eu lieu avec une informaticienne, titulaire d'un master en Technologies Éducationnelles et coordinatrice TICE au sein d'un établissement scolaire religieux.

L'établissement propose des cours de codage et de robotique depuis la rentrée de septembre 2015 à partir de la classe de CM1 jusqu'à la classe de terminale. Les outils utilisés sont Tynker, Scratch junior, Scratch, Lego Mindstorms, Vex et Visual Basic. Leurs projets consistent à présenter à la rentrée de septembre 2021 un programme STEAM où le codage et la robotique sont proposés d'une manière transversale à travers plusieurs disciplines. L'établissement tient à déployer ces cours pour permettre aux élèves de développer les compétences de résolution de problèmes, la créativité, la pensée critique et la collaboration.

Les entretiens effectués montrent que l'intégration des cours de codage et de robotique dans les curricula provient d'initiatives effectuées de la part des établissements scolaires privés et dépend des ressources dont chaque établissement dispose. Les personnes interviewées présentent toutes un même profil au niveau de l'éducation et sont informaticiens de formation initiale. Toutefois, ceci ne peut pas être généralisé et ne veut pas dire que les enseignants d'informatique au Liban ont tous un profil similaire. Il n'existe pas d'études statistiques ou de recensement à ce niveau ni au niveau du nombre d'écoles qui proposent des cours d'informatique ou de codage et de robotique.

Nous constatons avec cet état des lieux que la grande majorité des pays a démarré l'intégration des cours de codage et de robotique dans leurs programmes scolaires selon des perspectives et des pratiques variées. Les pays qui n'ont pas encore intégré le codage et la robotique dans leurs programmes œuvrent à le faire dans les années à venir. Dans le cas particulier du Liban, et comme il existe une disparité au sein du système éducationnel national, chaque établissement scolaire procède selon ses ressources matérielles et humaines. À l'heure actuelle, il n'existe pas de stratégie nationale claire et structurée sur l'intégration des cours de codage et de robotique dans les programmes scolaires. Les stratégies devraient prendre en compte les ressources matérielles et humaines présentes sur le territoire et devraient s'inspirer des recherches et études effectuées dans le reste de pays. Ces études seront présentées dans le chapitre suivant.

II.6. Recherches effectuées au niveau international

Cette partie présentera un état des lieux non exhaustif des recherches traitant de l'implémentation de cours de robotique, de codage et de pensée informatique dans les écoles à travers le monde. Nous les discuterons dans ce qui suit et les partagerons selon les niveaux suivants :

Classes maternelles : apprenants âgés de 3 à 5 ans

Classes primaires : apprenants âgés de 6 à 10 ans

Classes complémentaires : apprenants âgés de 11 à 15 ans

Classes secondaires : apprenants âgés de 16 à 18 ans

II.6.1. Classes maternelles

L'idée d'implémenter des ateliers de robotique et de codage au sein des classes de la maternelle pourrait sembler absurde ou précoc. Toutefois, les recherches effectuées montrent que l'initiation à la pensée informatique pourrait se faire à cet âge d'une manière basique certes, et en proposant de l'aide aux jeunes apprenants.

Le robot de sol Bee-bot a été utilisé au sein de sept écoles maternelles en Grèce pour enseigner à des enfants âgés de 4 à 6 ans la programmation. Cette étude a montré que même à cet âge, les enfants sont capables d'apprendre à programmer en utilisant les commandes de base (AVANCE, RECULE, EXECUTE) (Komis & Misrili, 2011). De plus, ce même jouet programmable a été utilisé dans une étude qui consiste à implémenter des séances de codage et de robotique à raison de 2 séances par semaine sur une durée de 6 semaines auprès de 12 enfants âgés de 5 à 6 ans en Italie. Cette étude a montré une évolution au niveau des fonctions exécutives, particulièrement au niveau de la mémoire de travail et de l'inhibition (Di Lieto, et al., 2017). Elle a été suivie par deux autres études auprès d'apprenants appartenant à la même tranche d'âge, mais cette fois en utilisant le site web code.org. Les chercheurs ont pu démontrer que ces séances de codage ont permis une amélioration des fonctions exécutives notamment au niveau de la mémoire de travail, de l'inhibition et de la planification (Arfé B. , Vardanega, Montuori, & Lavanga, 2019).

Une étude effectuée aux États-Unis sur 37 élèves âgés de 3 ans a proposé environ 10 heures de travail intensif de robotique en 5 jours (environ 2 heures par jour), afin d'apprendre aux enfants à construire un robot et à programmer une tâche spécifique en utilisant le programme CHERP. L'évaluation s'est faite à la fin de la semaine d'une manière qualitative et a montré que tous les groupes d'enfants étaient en mesure de créer des robots fonctionnels pouvant effectuer la tâche enseignée avec l'aide personnalisée d'un adulte (Sullivan, Kazakoff, & Bers, 2013). Ce même programme CHERP a été utilisé auprès de soixante enfants âgés de 3 à 7 ans. L'étude a démontré que des apprenants âgés de 3 ans sont capables de maîtriser les concepts fondamentaux de la programmation d'un robot. Ceci est possible lorsque les kits de robotiques utilisés sont conçus d'une manière adaptée (Sullivan & Bars, 2016).

En Espagne, des chercheurs ont utilisé le programme TangibleK sur sept séances auprès de 131 apprenants âgés de 3 à 6 ans. Les enfants qui ont participé au programme ont pu concevoir et développer des séquences de programmation à l'aide de jouets programmables. Ceci a non seulement permis le développement des fonctions cognitives ; mais aussi, l'acquisition de compétences sociales, telles que la communication, le travail collaboratif, la créativité, l'autonomie et le leadership (Caballero-González & García-Valcárcel, 2019).

Les études citées montrent que les enfants âgés de 3 à 6 ans peuvent apprendre à programmer un robot en utilisant des fonctions très basiques lorsqu'ils sont bien accompagnés et lorsque le matériel utilisé est simple et adapté. Les apprenants peuvent coder les déplacements d'un robot de sol grâce à des boutons présents sur le robot par exemple (Scaradozzi, Screpanti, & Cesaretti, 2019). Ils ne peuvent toutefois pas encore effectuer des codes comprenant des conditions (Sullivan & Bars, 2016) ni pivoter les robots à droite et à gauche, puisque la latéralisation n'est pas encore acquise à cet âge (Komis & Misirli, 2012).

II.6.2. Classes primaires

En comparaison aux classes maternelles, l'implémentation des cours de robotique et de codage est plus fréquente dans les classes primaires. Une recherche effectuée en Suède a tenté de décrire le cadre idéal pour l'implémentation des séances de robotique en utilisant le kit Lego auprès d'apprenants âgés de 11 à 12 ans sur une année scolaire complète. Les chercheurs s'étant basés sur l'approche du constructionnisme ont conclu que dans la salle de travail, il doit y avoir un grand espace pour que les élèves puissent réaliser leurs projets. Les élèves doivent être capables de répandre tout leur matériel pour le voir et ils doivent tester différents types de solutions pour chaque projet auquel ils sont confrontés. Les groupes de travail doivent regrouper deux à trois élèves par kit de travail et la tâche confiée aux élèves doit être à la fois pertinente et réaliste au niveau de la résolution. Il est très important que les élèves puissent relier le matériel à leur travail scolaire ordinaire et aux différentes matières qu'ils suivent en classe (Lindh & Holgerssonb, 2007).

Aux Pays Bas, des chercheurs ont tenté de voir à quel âge les activités de codage proposant de l'abstraction pouvaient être présentées aux apprenants. Ils ont constaté que la capacité de raisonnement abstrait commence à apparaître à l'âge de 11 ou 12 ans et que les élèves auront du mal à effectuer des raisonnements abstraits avant cet âge (Rijike, Bollen, & Eysink, 2018).

Dans une étude effectuée en Espagne auprès de 107 élèves du primaire les enseignants ont travaillé les cours d'art et de sciences sociales en utilisant le logiciel Scratch. Les chercheurs ont observé plusieurs avantages dus à l'utilisation de la programmation dans un contexte éducatif en plus du développement des compétences en programmation. Les étudiants et les observateurs soulignent que travailler avec la programmation visuelle par le biais de projets procure du plaisir, de la motivation, de l'enthousiasme et un engagement de la part de l'étudiant. De plus, à l'âge de 11 ans, les apprenants sont capables d'apprendre et d'appliquer des séquences algorithmiques, des boucles, du parallélisme et de créer des blocs d'événements (Sáez-López, Román-González, & Vázquez-Cano, 2016). En Espagne aussi, des chercheurs ont investigué

l'impact de l'enseignement des sciences naturelles grâce à la robotique et au kit Lego. Ce projet a non seulement permis aux étudiants d'atteindre les objectifs et le contenu de l'unité présentée, mais aussi de verbaliser les problèmes qu'ils avaient et les solutions trouvées. De plus, les enseignants ont poussé les élèves à réfléchir leur apprentissage grâce à ce qu'ils appellent les quatre phases C : connecter, construire, contempler et continuer. Cette expérience a également permis le développement de la majorité des compétences clés telles que la communication linguistique, les compétences mathématiques, les compétences de base en science et technologie, les compétences numériques, les compétences sociales et civiques, apprendre à apprendre, la prise d'initiative, la collaboration, la pensée critique et les compétences de résolution de problèmes. Le fait de travailler en groupe leur a donné aux enfants l'occasion d'enseigner, d'apprendre, de s'entraider et de répandre la motivation au sein du groupe (Pinto-Llorente, Casillas-Martín, Cabezas-González, & García-Peñalvo, 2018).

Dans une école publique de la Nouvelle Angleterre aux États-Unis, un programme d'initiation au codage grâce au logiciel ScratchJr a été implémenté auprès des élèves en première et seconde année de l'école primaire (6 à 8 ans). Tous les élèves ont pu effectuer des étapes logiques pour construire des programmes correspondant à une histoire. Ils ont été menés à explorer des systèmes complexes d'instructions et des stratégies en plusieurs étapes dans le but de développer des histoires programmées et des jeux. Les compétences mises en jeu lors de cette tâche correspondent à plusieurs domaines cognitifs dont l'application et l'invention de règles pour les jeux, la modélisation visuelle et abstraite des problèmes et la création de courts récits pour différents publics. Les apprenants de première année ont montré que leur capacité à observer et à déduire les causalités concrètes dans les relations étaient en cours de développement, tandis que les élèves de deuxième année les avaient maîtrisés et apprenaient à développer des théories sur les relations causales abstraites et éventuellement à raisonner sur ces relations en se fondant sur leur vécu (Strawhacker & Bers , 2019).

Une étude de cas a été réalisée pendant une semaine dans le cadre d'une école d'été en Grèce, à raison de sept séances de 45 minutes chaque jour auprès de sept apprenants

âgés de 9 à 12 ans n'ayant aucune expérience antérieure en programmation. Cette étude a montré que les élèves préfèrent travailler avec un modèle physique qui concrétise le comportement du robot plutôt que d'écrire des programmes sans voir un effet concret. Il s'est également avéré que ces séances permettent une évolution au niveau de la résolution de problèmes et de la pensée algorithmique (Athanasiou, Topali, & Mikropoulos, 2017).

Afin d'identifier les avantages de l'apprentissage du codage à l'école, Karsenti et Bugmann (2017) ont mené une étude exploratoire dans cinq écoles ayant inclus le codage dans leur programme scolaire. Suite à quatre jours d'observation, ils ont constaté que les étudiants qui utilisaient Scratch, ScratchJr et Minecraft faisaient preuve de motivation, d'enthousiasme et de capacité à se concentrer. Ils ont identifié un total de quarante impacts positifs suite aux ateliers de codage, dont l'amélioration de la motivation scolaire, les sentiments de compétence et d'estime de soi, l'apprentissage des mathématiques, la résolution de problème, l'autonomie, le travail d'équipe et l'entraide, la pensée structurée, la prise de risques et les compétences de planification.

Par ailleurs, comme les enseignants sont des acteurs principaux dans l'implémentation des cours de robotique et de codage dans les écoles, une étude sur leur perception de ces cours a été effectuée. Les participants à cette étude comprenaient 58 enseignants du primaire (43 femmes et 15 hommes) qui participent à un programme de perfectionnement professionnel. Au cours de leur développement professionnel, les participants ont participé à une formation de 8h dédiée à la robotique et à l'enseignement des STEM et étaient engagés dans des activités pratiques de robotique. Après avoir assisté activement à l'atelier de robotique et suite à 8h d'expérimentation, les enseignants ont conclu que la robotique a le potentiel de faciliter l'apprentissage des mathématiques et peut aider les élèves à améliorer leurs capacités de raisonnement mathématique, de résolution de problèmes et de recherche scientifique (Khanlari, 2019).

Béziat (2019) présente une étude basée sur l'observation de trois enseignants animant des cours de robotique auprès d'élèves âgés de 8 à 10 ans, au sein de trois écoles différentes en France. Ces enseignants ayant des niveaux de maîtrise différents des

technologies numériques ont tous une vision lacunaire de ce qu'est l'informatique. Les observations montrent une réaction commune de la part de deux enseignants face à un obstacle rencontré durant l'application. Au lieu de chercher les raisons du dysfonctionnement et de tenter de les analyser, ces enseignants reviennent plutôt à la consigne initiale pour tenter de la respecter d'une manière formelle lors de l'application. Ceci permet de conclure que ces enseignants n'ont pas pu comprendre d'une manière fine les processus mis en jeu durant ce type de tâches que ce soit du point de vue technique, mécanique ou fonctionnel. Ainsi, « par manque d'anticipation ou par déficit de représentation de la tâche dans ses aspects techniques » (p. 104), les enseignants mettent les apprenants dans des situations de doute face à la résolution de problèmes. Toutefois, les enseignants arrivent à contourner ces défis en compensant leurs difficultés techniques par leurs compétences pédagogiques.

II.6.3. Classes complémentaires et classes secondaires

Nous trouvons quelques recherches sur le codage et la pensée informatique dans les classes complémentaires et secondaires datant du XX^e siècle. En Italie par exemple, des recherches remontent à l'année 1975 et, en France, à l'initiative de l'Institut National de Recherche Pédagogique (INRP) des chercheurs ont étudié l'intégration de l'enseignement du LOGO dans le lycée (Robert, 1985).

Par ailleurs, une étude plus récente effectuée en Russie auprès de 186 apprenants du cycle complémentaire a étudié l'implémentation de la robotique durant les séances de physique sur trois années consécutives. Le travail avec les étudiants couvrait trois composantes de la technologie qui sont les robots comme objet d'étude, les robots comme outil cognitif¹⁹ et les robots comme moyen d'enseignement et d'apprentissage. Cette étude montre que l'intégration de la robotique est conditionnée par une variété d'expériences riches associées à un matériel robotique convenable et en accord avec les objectifs de la matière enseignée. Ces critères sont essentiels pour garantir une bonne

¹⁹ Les robots dits cognitifs sont utilisés pour mener diverses expériences comme par exemple réguler la température des objets, adapter les fréquences de résonance, corriger les paramètres des circuits électriques.

transmission des connaissances et un développement de la créativité technique (Ospennikova, Ershovb, & Iljin, 2015).

Une étude effectuée en Grèce et regroupant 77 élèves de la classe de 6^{ème} a proposé des séances de robotique grâce au Lego Mindstorms. Les apprenants travaillant par des équipes de deux ou trois ont été partagés en deux groupes, chaque groupe répondant à une condition spécifique. Le premier groupe a reçu une guidance minimale et le second une guidance plutôt assidue. Les chercheurs ont montré que les activités de robotique engendrent un cadre éducatif divertissant et créatif qui permet de développer les compétences des élèves au niveau de la résolution de problèmes et de la pensée informatique. De plus, cette étude a montré que les élèves ayant reçu une guidance assidue ont évolué plus que les élèves ayant reçu une guidance minimale (Atmatzidou & Demetriadis, 2017).

En Crète, 24 élèves âgés de 15 à 16 ans suivant la matière optionnelle intitulée Applications Informatiques, ont participé à une étude d'application de la robotique et du codage. Les apprenants devaient travailler en groupes de quatre sur deux projets. Le premier consistait en la construction et la programmation d'un véhicule avec le kit LEGO Mindstorms. Le second projet comprenait le développement d'une application pour les appareils mobiles intelligents avec le système d'exploitation Android afin de contrôler le robot à distance via Bluetooth ou par commande vocale. Suite aux séances d'application, les chercheurs ont observé des progrès significatifs en ce qui concerne les connaissances des apprenants. Ces derniers, semblaient comprendre ce qu'étaient les algorithmes, les flux de contrôle, les boucles, les variables, les opérations logiques et arrivaient à les exécuter (Papadakis & Orfanakis, 2017).

Au Royaume Uni, un projet de recherche a été mené sur cinq années dans le but d'améliorer le contenu des cours de robotique présenté aux élèves âgés de 10 à 13 ans en utilisant des kits de LEGO Mindstorms et le logiciel GeoGebra. L'objectif initial de ces cours était de proposer un apprentissage plus approfondi des mathématiques en utilisant GeoGebra pour créer des conceptions robotiques précises nécessitant l'utilisation de l'algèbre. L'objectif général était d'optimiser les environnements utilisant des robots dans

un but éducatif dans deux buts. Le premier est l'augmentation de la motivation des apprenants face au STEM et le second est la facilitation de l'acquisition des compétences relatives à l'employabilité. L'évaluation des acquisitions s'est fait grâce au retour des étudiants. En termes de compétences techniques acquises, les commentaires des étudiants ont montré qu'ils ont pu apprendre à construire et à programmer des robots fonctionnels et rapides. Le langage de programmation visuel LEGO a été critiqué par les étudiants qui avaient de l'expérience avec d'autres langages de programmation. Plusieurs élèves ont fait référence à l'acquisition de compétences relatives à l'employabilité comme le travail d'équipe et la collaboration, la gestion du temps ainsi que la créativité et la résolution de problèmes. Toutefois, peu d'apprenants ont mentionné la planification et la conception ce qui est probablement dû à l'utilisation des kits de robotiques LEGO en suivant des plans déjà conçus à suivre (Samuels & Poppa, 2017).

Ce chapitre a permis de présenter les recherches et études portant sur l'intégration du codage, de la robotique et de la pensée informatique dans les programmes scolaires. Ces études montrent que le codage et la robotique permettent de créer un cadre éducatif ludique et agréable, que les expériences riches avec un matériel diversifié permettent de développer une pensée informatique et par conséquent des compétences de résolution de problèmes. Les compétences numériques développées sont la compréhension et l'application des algorithmes, des flux de contrôle, des boucles, des variables et des opérations logiques. Cet état des lieux des recherches permet de constater que la majorité des pays œuvrent à évoluer dans cette discipline et à prouver son importance et permet aussi de scinder le contenu et les objectifs du protocole conçu et mis en place dans notre recherche.

II.7. Synthèse : le codage et la robotique entre attentes institutionnelles et recherches

L'analyse de la littérature scientifique, des textes institutionnels et du discours de quelques praticiens libanais a permis de repérer plusieurs points importants pour la poursuite de notre travail.

Tout d'abord, le codage et la robotique peuvent être intégrés de manières diverses dans les programmes scolaires. La robotique pédagogique devient une tendance internationale valorisée non seulement par les établissements scolaires, mais aussi par les chercheurs et les responsables en charge de l'éducation pour de nombreuses raisons. Nous relevons de ce qui a été déjà cité au niveau des parties précédentes, l'importance de la littératie numérique. Elle permet aux élèves de participer à une société qui utilise la technologie dans tous les milieux et d'être initiés aux emplois pouvant être requis dans l'avenir. Nous citons aussi le développement des compétences du XXI^e siècle ainsi que le développement de la pensée informatique qui pourraient être associés à la stimulation et au renforcement des fonctions exécutives, facteur étudié au niveau de notre recherche.

L'enseignement du codage et de la robotique, basé sur le constructionnisme, impliquerait un apprentissage grâce au bricolage et à la conception et création d'outils numériques dans une situation d'apprentissage collaboratif entre les élèves. La collaboration permettrait une construction collective des connaissances par l'atteinte d'un objectif partagé entre les participants suite à une concertation où différentes visions de résolution du problème énoncé sont discutées. En plus du bricolage de la création et de la collaboration, le constructionnisme suppose la persévérance et le débogage.

La conception des séances de codage et de robotique peut se faire en respectant le modèle de scénarisation pédagogique de Komis, Romero et Misirli (2017). Selon ce modèle, le scénario est composé d'activités préparatoires, d'activités pour la construction des connaissances de base, des activités de consolidation de la construction des connaissances, des activités d'évaluation et des activités de métacognition.

Plusieurs pays ont déjà intégré le codage et la robotique sous différentes formes dans leurs programmes scolaires et d'autres pays sont en cours de modification des programmes pour intégrer les cours dans les années qui viennent. Les programmes scolaires et les recherches mentionnés nous permettent de conclure que dans la majorité des états, la robotique et le codage sont intégrés en classe d'une manière similaire avec des buts semblables variant en fonction de l'âge et de la classe des enfants. Ainsi dans les classes maternelles et primaires les séances ont pour objectif de familiariser l'enfant avec les robots de sol et les logiciels de codage de type *drag and drop* pour concevoir des programmes simples et en mettant surtout en relief les problèmes de déplacement dans l'espace. Durant les dernières années du cycle primaire (CM1 et CM2) on note l'introduction des conditions simples et des boucles de répétitions simples. Au niveau du cycle complémentaire, les élèves sont amenés à créer des programmes plus complexes mettant en jeu des langages de codes et des algorithmes plus développés et faisant fonctionner des moteurs et des capteurs. Enfin, dans les classes du secondaire, les élèves commencent à produire des programmes sophistiqués permettant de contrôler des robots fonctionnels et utiles ayant des modes d'emploi particuliers. De plus, nous notons un penchant unanime vers l'intégration de la robotique et du codage d'une manière transversale à partir des matières régulièrement enseignées afin de permettre aux élèves d'expérimenter et de concrétiser les notions apprises en répondant aux exigences éducatives favorisant le STREAM²⁰. La finalité de ces cours serait le développement d'un raisonnement et d'une résolution de problèmes appropriés. Il ne s'agirait donc pas de former des informaticiens ou des programmeurs, mais plutôt de se saisir des opportunités que présentent le codage et la robotique pour développer des compétences cognitives et métacognitives.

Au Liban, terrain où a lieu cette recherche, le codage et la robotique sont enseignés dans certains établissements scolaires, utilisés comme moyen d'expérimentation dans

²⁰ *Science, Technology, Reading, Engineering, Arts and Math.*

d'autres et quasi absents dans les établissements scolaires publics ou n'ayant pas de financement pour se procurer les ressources matérielles ou humaines nécessaires.

Après cet état des lieux sur la robotique pédagogique, nous allons nous intéresser aux fonctions exécutives qui font aussi partie des compétences du XXI^e siècle et dont le développement présente des propriétés communes à ceux de la mise en place de séances de codage et de robotique.

III. Les fonctions exécutives

Cette deuxième partie vise à définir les fonctions exécutives afin de comprendre le lien qui pourrait exister entre l'apprentissage du codage et de la robotique et leur développement. Dans un premier temps, nous définirons les fonctions exécutives, leur importance, et expliciterons pourquoi elles sont utiles dans le quotidien de toute personne. La classification adoptée dans cette thèse sera aussi présentée. Dans un second temps chaque fonction exécutive sera abordée d'une manière approfondie, ses composantes et son utilité seront exposées. Nous débuterons par les fonctions exécutives froides. Le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail, la flexibilité mentale et la résolution de problème seront explicités. Ensuite seront abordées les fonctions exécutives chaudes, fonctions moins exploitées au niveau de la recherche. Après la présentation des différentes fonctions exécutives, nous introduirons les outils d'évaluation des fonctions exécutives qui seront détaillées dans la partie consacrée à la méthodologie. Nous poursuivrons avec les stratégies permettant de développer les fonctions exécutives et finirons par une revue non exhaustive de la littérature portant sur les liens entre la robotique et le développement des fonctions exécutives.

III.1. Définition, émergence du terme et classifications

Afin de résoudre des problèmes en mathématiques ou des questions de compréhension de texte, les élèves doivent certes mobiliser des processus mentaux correspondant aux tâches requises. Ceci ne peut se faire sans la mobilisation des fonctions exécutives qui permettent sélection, activation et évaluation de ces processus. Les fonctions exécutives sont impliquées dans toute sorte de situations scolaires et donnent au cerveau la faculté d'accéder aux informations requises, de les manipuler et de les maintenir en mémoire (Borst, 2018). Ainsi, le développement des fonctions exécutives encouragé par la neuroéducation s'avère important. L'inclusion d'activités permettant la stimulation de ces fonctions dans le cursus scolaire pourrait être bénéfique aux élèves.

Plusieurs auteurs et chercheurs ont tenté de définir les fonctions exécutives et leurs rôles au niveau des tâches cognitives. Les fonctions exécutives furent évoquées sous le

terme « programmes exécutifs » en 1973 par Pribram qui déclare que le cortex frontal est largement impliqué dans la mise en œuvre des programmes exécutifs essentiels pour le maintien de l'organisation du cerveau face aux faibles redondances entre le traitement des informations en entrée « input » et les résultats du comportement (Pribram & Luria, 1973). Cette déclaration a eu lieu dans les années 70 alors que le concept de fonctions exécutives a été discuté en 1840 suite à l'incident de Phineas Gage. Ce dernier travaillait dans les chantiers de chemins de fer et a été percé au niveau de son lobe frontal par une grosse tige de fer. Suite à la période de récupération, des changements au niveau de la personnalité et du comportement de Phineas ont été notés. Il a montré des difficultés au niveau de l'inhibition et une hyperactivité (Ratiu & Talos, 2004).

À partir des années 1950, les psychologues et les neuroscientifiques ont commencé à montrer des intérêts profonds concernant le cortex préfrontal. En 1958, Broadbent cité par Goldstein et Naglieri (2014) a commencé par différencier entre les processus automatiques et les processus contrôlés. Deux décennies plus tard, Michael Posner cité par ces mêmes auteurs (2014) a introduit le terme de contrôle cognitif et Shifrin et Schneider (1977) définissent et modélisent le concept d'attention sélective comme étant une compétence contrôlée.

Quelques années plus tard, la définition des fonctions exécutives commence à ressembler aux définitions que nous trouvons actuellement. Elles ont été définies comme étant des capacités qui permettent la réalisation d'objectifs comportementaux prédéterminés, comprenant la régulation du comportement, les compétences mnésiques, la planification et l'autocontrôle (Stuss & Benson, *The frontal lobes*, 1986).

Lezak (1995) déclare que les fonctions exécutives diffèrent pratiquement des fonctions cognitives dans le sens où les fonctions exécutives expliquent la possibilité et la procédure alors que les fonctions cognitives expliquent la cause et la quantité de connaissance relative à la tâche. L'auteur précise qu'une personne peut être fonctionnelle lorsque certaines compétences cognitives sont déficitaires tant que les compétences exécutives sont intactes alors que le contraire ne permet pas à l'individu de prendre soin de lui-même d'une manière optimale.

Selon Moret et Mazeau (2013) « les fonctions exécutives sont des fonctions cognitives dites transversales ou intégratives : complexes et tentaculaires, elles contrôlent et régulent l'ensemble du fonctionnement mental » (p. 3). Elles peuvent être nommées contrôle exécutif ou bien contrôle cognitif (Espy, 2004) et renvoient à un regroupement de processus mentaux nécessaires lorsque le sujet doit mobiliser son attention ou se concentrer et que l'accès aux réponses automatiques, instinctives et intuitives est inapproprié, insuffisant ou impossible. De plus l'utilisation des fonctions exécutives requiert beaucoup d'effort, puisque persévérer dans une action reste plus facile que la modifier, succomber à la tentation demande moins d'effort qu'y résister, et se plier aux actes automatiques pose moins de défis que considérer l'opération à entreprendre (Diamond A. , 2013).

Philippe Evrard cité par Moret et Mazeau (2013) déclare que les fonctions exécutives correspondent à l'ensemble des processus de contrôle nécessaires pour différer ou pour inhiber une réponse de façon à permettre à un sujet de débiter, maintenir, arrêter une action ou une tâche, ou de passer d'une tâche à une autre... Les capacités d'organiser, de fixer les priorités, d'élaborer des stratégies sont étroitement associées aux fonctions exécutives.

En d'autres termes, comme leur nom l'indique, les fonctions exécutives permettent une exécution appropriée de n'importe quelle tâche à entreprendre.

L'expression *fonctions exécutives* est un terme générique qui englobe les fonctions instrumentales supérieures telles que l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité attentionnelle, fonctions qui dépendent essentiellement des réseaux neuronaux au niveau du lobe frontal (Roy, Le Gall, Roulin, & Fournet, 2012). Ces fonctions régissent l'action volontaire et raisonnée ainsi que les réponses adaptatives face à de nouveaux problèmes ou à des situations complexes (Hughes C. , 2011). Les fonctions exécutives permettent non seulement la génération de nouvelles réponses, mais aussi leur modification en fonction des variations de l'environnement (Stelzer, Mazzoni, & Cervigni, 2014). De plus, les fonctions exécutives permettent le contrôle de la pensée, du

comportement et des émotions en fonction de la réalisation d'un objectif prédéterminé (Zelazo & Carlson, 2012).

Dajani et al (2016) ajoutent que les fonctions exécutives sont des processus de contrôle mental nécessaires pour un fonctionnement quotidien approprié tout au long de la vie. Elles englobent plusieurs sous-domaines, dont la planification des objectifs, l'inhibition des réponses inadaptées, la conservation et la manipulation des informations de manière efficace, la mémoire et l'adaptation des comportements face aux changements de l'environnement.

Van der Linden et al (1999) spécifient que les fonctions exécutives jouent le rôle d'adaptation face à des situations non habituelles, en d'autres termes sous des conditions où les acquis, les apprentissages et les routines d'action ne sont pas suffisants et où l'engagement de processus contrôlés s'avère nécessaire.

Les fonctions exécutives font partie de la cognition qui est définie comme étant « l'ensemble des processus qui sous-tendent la pensée » (Franck, 2017, p. 6). La cognition, ou encore nommée activité mentale/intellectuelle, est composée de l'acquisition, du stockage, de la transformation et de l'utilisation des connaissances, ces étapes étant distinctes les unes des autres. Elle inclut un grand nombre de processus mentaux appelés fonctions cognitives, qu'elle met en œuvre à chaque réception, stockage, transformation et utilisation d'une information. Ce sont les opérations par lesquels un sujet acquiert des informations sur l'environnement (Piéron, 2003). Concrètement c'est le travail collaboratif entre les compétences linguistiques, les praxies et traitements spatiaux, la cognition motrice, les gnosies, le sens du nombre et les compétences mnésiques ; organisés grâce aux fonctions exécutives et permettant les apprentissages (Moret & Mazeau, 2013) (cf. figure 8). Ce travail peut être une action, une pensée ou un comportement effectué dans le but d'atteindre un objectif prédéterminé, de contrôler

les interférences, de passer d'une action à une autre, de s'adapter aux changements environnementaux et/ou de faire face à des situations inhabituelles.

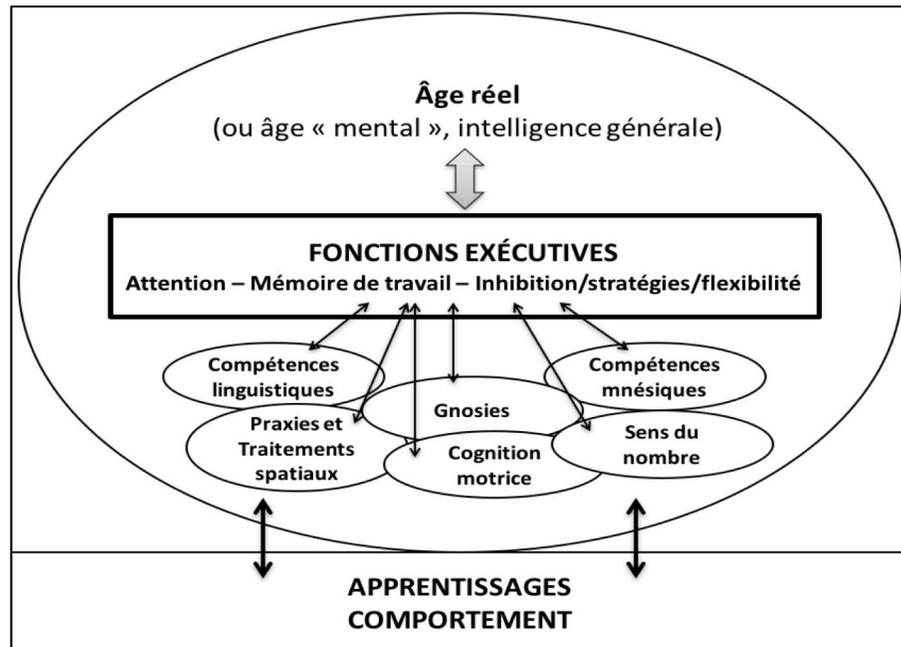


Figure 6 : Place des fonctions exécutives dans l'organisation des principales fonctions cognitives. Retiré de Moret A. & Mazeau M., Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent p.28.

Les fonctions exécutives sont donc essentielles pour le succès dans la vie, pour la santé physique et mentale, pour l'harmonie sociale et pour la réussite scolaire (Miller, Barnes, & Beaver, 2011 ; Wolfe, Reising, & Holtfreter, 2016). Elles sont parfois plus prédictives que le quotient intellectuel ou le statut socioéconomique (Moffitt, et al., 2011). En effet, Hendry, Jones et Charman (2016) considèrent que les fonctions exécutives sont la boîte à outils cognitive du succès²¹.

Pour expliquer l'implication des fonctions exécutives dans la vie quotidienne plusieurs classifications se font au niveau de leurs composantes et diffèrent légèrement d'un auteur à un autre.

²¹ *The cognitive toolkit of success* en anglais.

Stuss (2011) déclare que deux processus sont présents :

- Un processus de surveillance « monitoring »
- Un processus de réglage de la tâche « task setting »

Habib (2014) donne la classification suivante :

- La stratégie : choisir des moyens convenables pour atteindre un but.
- La planification : chronologie des étapes à suivre pour la mise en place des stratégies en termes de priorité d'exécution.
- Le maintien de l'information : maintenir un plan actif jusqu'à l'exécution complète.
- La flexibilité mentale : adaptation du plan d'action en fonctions des circonstances environnementales.
- L'inhibition : bloquer les interférences et les comportements automatiques ou inappropriés.

Moret et Mazeau (2013) spécifient que les fonctions exécutives sont composées de trois sous-systèmes interdépendants :

- L'attention en ses deux formes : endogène et exogène
- La mémoire de travail
- Les systèmes d'inhibition, de stratégie et de flexibilité mentale

Diamond (2013) propose une classification proche de celle de Moret et Mazeau, mais agence les composantes d'une manière différente :

- Le contrôle inhibiteur qui inclut le contrôle du comportement et le contrôle des interférences grâce à l'attention sélective et l'inhibition cognitive
- La mémoire de travail
- La flexibilité cognitive / mentale qui permet le changement de tâches et qui est reliée à la créativité
- De ces trois composantes supérieures découlent les compétences de planification, de résolution de problèmes et de raisonnement

Une quatrième classification suggère le partage des compétences en deux sous types de fonctions exécutives (Roy, Le Gall, Roulin, & Fournet, 2012 ; Chan, Shum, Touloupoulou, & Chen, 2008 ; Grafman & Litvan, 1999) :

a) Les fonctions exécutives « cool » ou froides basées sur la pensée logique :

- La planification et la résolution de problèmes
- La capacité d'abstraction
- Le contrôle attentionnel²²
- L'inhibition
- La flexibilité mentale/cognitive
- La mémoire de travail

b) Les fonctions exécutives « hot » ou chaudes qui incluent les aspects émotionnels et affectifs :

- L'autorégulation du comportement
- La prise de décision affective (suite à des expériences de renforcement ou punition)
- La cognition sociale : théorie de l'esprit et traitement des émotions

En effet, les classifications présentées sont pratiquement pareilles au niveau des composantes ; la différence réside au niveau de leurs agencements. La classification synthétique adoptée au cours de ce travail de recherche sera la suivante :

a) Les fonctions exécutives « cool » ou froides :

- Le contrôle inhibiteur
- La mémoire de travail
- La flexibilité cognitive
- La planification et la résolution de problèmes

b) Les fonctions exécutives « hot » ou chaudes :

- L'autorégulation du comportement

²² Le contrôle attentionnel cité ci-dessus est appelé attention endogène par d'autres auteurs.

- La prise de décision affective (suite à des expériences de renforcement ou punition)
- La cognition sociale : théorie de l'esprit et traitement des émotions

Malgré le fait que les auteurs et chercheurs tentent de définir le fonctionnement des compétences exécutives indépendamment l'une de l'autre, il reste difficile de les séparer. La distinction entre les fonctions exécutives froides et les fonctions exécutives chaudes reste faible au niveau des recherches actuelles (Poon, 2018). En effet, toute situation d'apprentissage requiert nécessairement l'intervention synchrone de l'attention, de la mémoire de travail, de l'inhibition et des fonctions exécutives chaudes quoiqu'à des degrés divers. La stimulation de toutes ces fonctions est donc primordiale pour le bon déroulement des apprentissages.

Dans les chapitres qui suivent, chaque fonction exécutive sera présentée de manière isolée même si concrètement tout apprentissage nécessite une association d'au moins deux des fonctions exécutives. Les définitions, les composantes si elles existent et l'importance de la fonction seront détaillées.

III.2. Contrôle inhibiteur

Le contrôle inhibiteur, qui est aussi appelé attention sélective et qui s'oppose à l'impulsivité, est le fondement de toute action raisonnée que ce soit dans les tâches du quotidien ou dans l'apprentissage d'un nouveau savoir. La définition, les composantes et l'importance du contrôle inhibiteur seront présentées dans ce chapitre. Une explication de l'attention sera aussi présentée dans ce chapitre puisque inhibition et attention sont deux phénomènes indissociables.

III.2.1. Définition et composantes

Le contrôle inhibiteur est une fonction exécutive ayant une grande importance par rapport au développement social, émotionnel et cognitif de l'enfant. Il implique le contrôle des pensées, des émotions, de l'attention et du comportement pour permettre de surpasser de forts besoins ou tentations endogènes ou d'ignorer un stimulus externe non pertinent, et de se centrer ainsi sur ce qui doit être exécuté (Simpson, et al., 2012 ; Wiebe, Sheffield, & Espy, 2012). Le contrôle inhibiteur joue un rôle clé dans le comportement adaptatif lorsque la suppression d'une réponse instinctive doit se faire pour permettre l'activation d'une réponse moins disponible, mais plus appropriée (Nigg, 2000). Pratiquement, inhiber une réponse se traduit par la capacité d'un élève à lever la main avant de parler en classe (Ponitz, McClelland, Matthews, & Morrison, 2009) ou à bloquer l'envie de réagir agressivement face à un comportement dérangeant de la part d'un pair (Rhoades, Greenberg, & Domitrovich, 2009).

Il vaut mieux considérer que le contrôle inhibiteur regroupe un ensemble de processus d'inhibition et ne pas le décrire et l'observer en tant que fonction unitaire (Gandolfi, Viterbori, Traverso, & Usai, 2014). Un grand nombre de chercheurs relève deux types de processus d'inhibition qui sont l'inhibition du comportement et le contrôle des interférences (Diamond A. , Executive Functions, 2013). Ces termes peuvent être remplacés par d'autres portant le même sens²³ et cités dans le tableau présenté ci-dessous (Jeggan, Testa, Bellgrove, Pantelis, & Whittle, 2018).

²³ Ceci peut être notamment causé par la traduction des expressions d'une langue à une autre.

Notre étude	Inhibition du comportement	Contrôle des interférences
Jeggan, Testa, Bellgrove, Pantelis et Whittle (2018)	Autocontrôle du comportement	Contrôle des interférences
Nigg (2017)	Inhibition de la réponse	Inhibition attentionnelle
Kane et al. (2016)	Retenue de l'attention / inhibition des réponses prépondérantes	Limite attentionnelle / sélectivité attentionnelle en présence de distracteurs
Stahl et al. (2014)	Inhibition du comportement	Interférence de stimuli
Gandolfi, Viterbori, Traverso et Usai (2014)	Inhibition de la réponse	Suppression des interférences
Diamond (2013)	Inhibition du comportement / autocontrôle du comportement	Inhibition de l'attention / contrôle des interférences / attention sélective
Friedman et Miyake (2004)	Inhibition des réponses prépondérantes	Résistance aux distracteurs
Nigg (2000)	Inhibition du comportement	Contrôle des interférences

Tableau 1 : Termes employés par les auteurs pour nommer l'inhibition du comportement et le contrôle des interférences.

L'inhibition du comportement, implique le contrôle des actions et des émotions. Elle se fait en supprimant une réponse dominante et spontanée ; c'est le contraire de l'action impulsive. Elle permet de réfléchir avant de parler ou d'agir et d'attendre au lieu de se précipiter. Elle permet aussi d'achever une tâche malgré la présence de tentations à interrompre son exécution ou malgré une récompense retardée (Diamond A. , 2011).

Le contrôle des interférences implique le contrôle de l'attention et de la cognition (Diamond A. , 2013). Au niveau de l'attention, c'est l'attention sélective²⁴ qui permet d'exécuter adéquatement une tâche et d'ignorer les distracteurs présents ; et l'attention soutenue²⁵ qui permet le maintien de la concentration malgré la présence de distractions par exemple travailler dans un endroit bruyant (Driver, 2001). Au niveau de la cognition, l'inhibition permet de résister à des distractions internes telles que des pensées étranges ou indésirables et de ne pas se permettre d'avoir l'esprit ailleurs lors de l'exécution d'une tâche (Keulers & Jonkman, 2019). De plus, le contrôle inhibiteur permet d'entamer ou pas

²⁴ Elle permet à l'individu de se focaliser sur un stimulus précis et négliger le reste. Elle a une fonction de filtrage.

²⁵ C'est le maintien de l'attention de façon efficace pendant un intervalle de temps donné sur une même tâche.

une action suite à la présentation d'un stimulus précis, tâche appelée *go/no-go* (Cragg & Nation, 2008).

III.2.2. Attention

L'attention peut être considérée comme une composante des fonctions exécutives (Moret & Mazeau, 2013) comme elle peut être considérée comme fonction indépendante appelée système attentionnel de supervision (Norman & Shallice, 1986). Comme nous avons choisi dans ce travail la classification présentant l'attention en tant que composante du contrôle inhibiteur, nous clarifierons dans cette partie certains aspects spécifiques à l'attention non mentionnés au niveau de la partie précédente.

a) Définition de l'attention

Bien que « faire attention » est un fait connu de tous (Mazeau, 2008), proposer une définition et une théorie de fonctionnement reste difficile (Zanto & Gazzaley, 2014).

La première définition de l'attention revient à William James en 1890 qui explique que l'attention est la prise de possession par l'esprit, sous une forme claire et vive, d'un objet ou d'une suite de pensées parmi plusieurs qui sont présents simultanément. La sélectivité et la concentration de la conscience sont de son essence. Cela implique le retrait de certains stimuli afin de traiter efficacement les autres, et constitue une condition qui s'oppose à l'état confus, troublé, en pleine dispersion qu'on nomme distraction (James, 1890). (P 404)²⁶

L'attention regroupe donc un ensemble de phénomènes régulateurs permettant d'optimiser l'efficacité (rapidité et/ou précision) cognitive (Godefroy, 2001). Il s'agit d'un état d'éveil et de vigilance, qui peut être global ou orienté vers un ou plusieurs stimuli uni-modaux ou intermodaux.

b) Orientation de l'attention

²⁶ *It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Focalization, concentration, of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others, and is a condition which has a real opposite in the confused, dazed, scatterbrained state which in French is called distraction, and Zerstreutheit in German.*

Pour être mise en jeu, l'attention doit être dirigée vers une localisation précise par un mode opératoire. L'attention peut se porter sur un stimulus extérieur au sujet grâce au mode opératoire exogène ou vers une cible propre au sujet grâce au mode opératoire endogène.

- **Attention exogène**

Ce type d'attention est déclenché par un stimulus saillant dans l'environnement de l'individu. C'est une attention automatique et de brève durée qui déplace l'attention du sujet de l'activité en cours vers le niveau stimulus distracteur. Elle interrompt de façon incontrôlable l'action ayant lieu (Moret & Mazeau, 2013). Au niveau du cerveau, un réseau ventral préfrontal est activé dans un type de contrôle appelé *bottom-up* (Corbetta & Shulman, 2002 ; Posner, 2014). Dans le cas où l'attention exogène est un mode opératoire dominant, l'individu serait dépendant de son environnement et serait obligé d'interrompre les activités en cours suite à la présentation de n'importe quel nouveau stimulus (Nobre & Mesulam, 2014).

- **Attention endogène**

L'origine de ce type d'attention est volontaire et liée à l'intention du sujet. L'attention endogène est de longue durée et permet à l'individu de se libérer de l'environnement entourant et de ne pas interrompre ses actions, de suivre ses idées, de porter l'attention vers le discours de l'autre, de mémoriser et d'effectuer des apprentissages. Plus le sujet grandit, et plus l'attention endogène est prédominante. Au niveau du cerveau, un réseau dorsal préfrontal est activé dans un type de contrôle appelé *top-down* (Carrasco, 2014 ; Posner, 2014).

III.2.3. Importance du contrôle inhibiteur

Nous avons relevé dans ce qui précède deux types de contrôle inhibiteur qui sont l'inhibition du comportement et le contrôle des interférences, mettant en jeu cinq composantes qui sont les processus de motivation ou bien le délai de récompense, la prise de décision, la sélectivité, la focalisation et les heuristiques mentales (Stahl, et al., 2014 ;

Borst, 2018). Ces composantes sont certes corrélées les unes aux autres, mais restent quand même différenciables. Le contrôle inhibiteur est donc impliqué au niveau de plusieurs étapes du traitement de l'information qu'elle soit perceptive, motrice, cognitive ou émotionnelle (Friedman & Miyake, 2004) et nous allons dans ce qui suit donner des exemples concrets mettant en jeu les cinq composantes.

Porter son attention sur une conversation dans un environnement bruyant et ignorer les stimuli auditifs, ou retrouver un visage dans un hall d'une gare encombrée et bloquer les stimuli visuels est un exemple de filtrage et donc de sélectivité volontaire (Borst, 2018).

De plus, le contrôle inhibiteur permet à un enfant de se contrôler pour attendre que sa maman lui réponde ou pour recevoir un objet demandé et de tolérer le temps requis en route pour arriver chez un ami. Ces tâches de gratification différée nécessitent une inhibition puisque la récompense attendue n'arrive pas directement (Mischel, Shoda, & Rodriguez, 1989).

En salle de classe, on entend souvent parler d'attention et de concentration qui ne sont en effet que la vulgarisation du terme contrôle inhibiteur. Pour tenter de comprendre comment les enseignants définissent l'attention en classe, Lachaux propose à une trentaine de chefs d'établissements de déterminer leurs attentes d'un programme éducatif censé développer les compétences attentionnelles. Six critères ont été relevés par les enseignants :

- 1)** Les élèves adopteraient rapidement une attitude calme, de regard et d'écoute pendant chaque explication et à chaque fois qu'un adulte demande leur attention, en classe ou lors des regroupements.
- 2)** Les élèves feraient preuve d'une bonne qualité d'écoute pendant chaque explication ou chaque lecture de texte. Les enseignants n'auraient par exemple plus à répéter plusieurs fois les consignes.
- 3)** Une fois engagés dans un travail en autonomie, les élèves resteraient continuellement impliqués jusqu'à ce qu'ils aient terminé.
- 4)** Le travail serait à chaque fois soigné et pas bâclé, sans erreur d'étourderie.

- 5) Les élèves sauraient travailler de manière autonome et continue même sans la surveillance d'un adulte, par exemple lors des devoirs à la maison.
- 6) Enfin, la qualité de l'ambiance en classe serait améliorée, avec moins d'agitation, de bavardages et plus d'écoute.

Lachaux ajoute deux critères à ceux cités par les enseignants :

- 7) Les élèves donneraient l'impression de travailler avec moins d'effort et plus de plaisir.
- 8) Les élèves s'intéresseraient facilement à des enseignements nouveaux qu'ils ne connaissent pas jusqu'ici. (Lachaux, 2018)

Par ailleurs, au niveau de la résolution de problèmes et de la lecture de la consigne, les élèves doivent bloquer des réflexions automatiques pouvant les leurrer et prendre le temps d'activer des réponses plus efficaces. Dans ce cas, le contrôle inhibiteur est mis en jeu pour bloquer des heuristiques qui sont des stratégies spontanées, automatisées et qui nécessitent peu d'effort cognitif et les remplacer par l'activation de stratégies réfléchies et efficaces appelées algorithmes exacts (Houdé & Borst, 2015).

Ces critères explicitent ce que faire attention en classe veut dire et répondent aux définitions données au contrôle inhibiteur au préalable.

Le contrôle de l'inhibition joue un rôle primordial dans le fonctionnement de la mémoire de travail puisqu'il permet de réguler son activité. La mémoire de travail sera définie dans le chapitre qui suit.

III.3. Mémoire de travail

La mémoire de travail représente les capacités et les limites du cerveau humain à encoder, conserver et restituer des informations pertinentes pour la réalisation d'objectifs. Ce chapitre propose de définir la mémoire de travail, ses sous-types, son fonctionnement et son importance.

III.3.1. Définition et sous-types

La mémoire est la fonction mentale qui rend possible l'encodage, le stockage (ou encore nommé consolidation) et la restitution des informations (Guillery-Girard & Eustache, 2018). La mémoire de travail est définie comme étant la conservation mentale d'informations en effectuant un traitement simultané de ces mêmes informations ou d'informations différentes. C'est aussi la capacité de rétention active des informations mentales en cas de présence d'interférences ou de distractions (D'Esposito & Postle, 2015). La mémoire de travail permet donc le maintien et le traitement d'informations absentes au niveau perceptif (Diamond A. , 2013). Elle diffère de la mémoire à court terme au niveau de la modalité de stockage de l'information. La mémoire à court terme permet une conservation passive et brève, grâce à la répétition et au processus d'automatisation alors que la mémoire de travail implique une rétention grâce à un traitement actif et conscient (Dehn, 2014). La mémoire de travail est considérée comme étant « l'atelier du cerveau » en maintenant activement les informations pendant une dizaine de secondes afin d'aboutir à un objectif prédéfini (Borst, Les fonctions exécutives, 2018 ; Diamond & Ling, 2016). Elle permet de traiter et de manipuler en moyenne sept informations d'une manière simultanée (Miller G. A., 1956). Certains chercheurs décrivent la mémoire de travail comme étant la composante des fonctions exécutives la plus sensible et la plus valide au niveau neuropsychologique (Séguin, Nagin, Assaad, & Tremblay, 2004 ; Entwistle & Shinaver, 2014).

La mémoire de travail est partagée en deux sous-types en se référant à la zone de consolidation. Il existe ainsi une mémoire de travail verbale et une mémoire de travail visuo-spatiale et les stimuli seront traités et stockés pendant quelques secondes selon leur type au niveau du calepin visuospatial ou de la boucle phonologique (Diamond A. ,

2013 ; Entwistle & Shinaver, 2014). La mémoire de travail se base sur l'attention pour maintenir l'accessibilité aux informations selon un processus d'actualisation. Cette actualisation (ou encore appelé rafraîchissement) se produit lorsque l'attention est dirigée vers une représentation au niveau la mémoire de travail, conduisant au renforcement de la liaison entre la représentation et son repère de récupération et facilitant ainsi l'accès ultérieur à cette représentation (Souza, Vergauwe, & Oberauer, 2018). Ce processus d'actualisation agit au niveau du calepin visuospatial et de la boucle phonologique. Notons que le calepin visuospatial maintient en mémoire les informations visuospatiales et les images mentales alors que la boucle phonologique maintient en mémoire les informations entendues ou lues.

III.3.2. Importance de la mémoire de travail

La mémoire de travail joue un rôle important au niveau du maintien mental des règles, de la résolution de problèmes et de la planification (Müller & Kerns, 2015 ; Perone, Almy, & Zelazo, 2018). Elle est essentielle pour donner un sens à tout ce qui est lu ou entendu (plus long qu'un mot ou deux), puisqu'il est essentiel de faire des liens avec ce qui a été lu ou entendu ou préalable et ce qui sera lu ou entendu ultérieurement pour une bonne compréhension. Elle permet aussi d'effectuer des calculs mentaux ou de jouer mentalement avec des idées ou des possibilités, de réorganiser mentalement des éléments (une liste de tâches ou une recette par exemple), de traduire les instructions en plans d'action, d'incorporer de nouvelles informations au niveau de la réflexion ou de plans d'action et de les mettre à jour en envisageant des alternatives. De plus elle permet de relier mentalement des informations pour effectuer des déductions, comprendre les rapports et séparer les éléments d'un ensemble (Diamond A. , Executive Functions, 2013 ; Borst, Les fonctions exécutives, 2018).

Au niveau des apprentissages, la mémoire de travail intervient lorsque l'élève doit comprendre une consigne et la maintenir pour achever l'exercice, ou aussi lorsqu'il faut passer d'une consigne à une autre qui en est dépendante. Elle est aussi requise lorsqu'il faut réaliser plusieurs tâches simultanément comme écrire en écoutant l'enseignant (Guillery-Girard & Eustache, 2018).

Comme il a été mentionné, la mémoire de travail nécessite un contrôle de l'inhibition pour être fonctionnelle. Par ailleurs, certaines tâches requièrent une association entre la mémoire de travail et le contrôle inhibiteur pour être réalisées. C'est le cas de tâches nécessitant de la flexibilité cognitive, troisième fonction exécutive qui sera définie dans le chapitre qui suit.

III.4. Flexibilité cognitive

La flexibilité cognitive est une fonction exécutive fréquemment liée à la créativité. Cette fonction agit grâce aux deux fonctions mentionnées dans les chapitres précédents. Afin de réussir une tâche de flexibilité cognitive, le contrôle inhibiteur est impliqué dans la désactivation des stimuli non pertinents, et la mémoire de travail permet de conserver la règle de fonctionnement à suivre. Ce chapitre permettra de définir la flexibilité cognitive et d'exposer son importance face aux tâches quotidiennes et aux tâches d'apprentissage.

III.4.1. Définition

La flexibilité cognitive appelée également souplesse ou flexibilité mentale et en anglais *switching* ou *shifting*, est la capacité d'alterner l'attention entre différentes tâches, modes de pensée, stratégies ou états d'âme, d'adopter différentes perspectives, de s'adapter rapidement et avec souplesse au changement, ou de trouver des alternatives lorsque les solutions tentées ne sont pas fonctionnelles et de chercher d'autres manières de penser ou de raisonner (Perone, Almy, & Zelazo, 2018 ; Lange & Dewitte, 2019). C'est la capacité que possède l'individu à ajuster le processus cognitif utilisé en fonction du type de problème traité pour permettre une meilleure prise de décision. La flexibilité cognitive permet de faire un choix entre se fier à ses habitudes ou explorer de nouvelles pistes d'action (Laureiro-Martínez & Brusoni, 2018 ; Borst, Les fonctions exécutives, 2018).

Elle contribue à la créativité et à l'émergence de solutions inédites et son contraire serait la rigidité cognitive ou la persévération qui impliquent l'impossibilité de trouver une façon différente de voir les choses ou l'incapacité de s'adapter au changement (Moret & Mazeau, 2013). La flexibilité cognitive se base sur le contrôle inhibiteur et la mémoire de travail car mobiliser cette fonction suppose le maintien de plusieurs informations en mémoire de travail et l'inhibition de certaines informations afin d'activer d'autres (Diamond A. , 2013).

III.4.2. Importance de la flexibilité cognitive

Passer de la réflexion sur les conséquences économiques d'un événement à la réflexion sur les conséquences humaines, dénombrer les défauts d'une personne et ensuite citer ses vertus ou ses difficultés requièrent de la flexibilité cognitive (Diamond A. , 2013).

Penser d'une manière innovante, créer, dépasser les stratégies rigides et répétitives, adapter son comportement, s'adapter aux nouvelles situations et modifier sa façon de faire impliquent une flexibilité cognitive. Par ailleurs, reprendre toujours le même chemin ou choisir les mêmes repères pour se déplacer alors que cela complique la tâche témoignent d'un déficit au niveau de la flexibilité cognitive. Additionner systématiquement tous les nombres présentés dans une consigne indépendamment de l'instruction donnée, ou persévérer dans le choix des thèmes ou des formulations sans prendre en compte le contexte et la situation témoignent d'une rigidité mentale (Moret & Mazeau, 2013).

Développer un nouvel apprentissage requiert une association entre les trois fonctions exécutives de base qui sont le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail et la flexibilité mentale. Ces trois fonctions exécutives ne suffisent toutefois pas à s'adapter à de nouvelles situations ou à surmonter des obstacles. Des conditions pareilles requièrent l'intervention d'une quatrième fonction exécutive qui est la résolution de problèmes et la planification. Cette fonction sera définie dans le chapitre qui suit.

III.5. Résolution de problèmes et planification

La quatrième fonction exécutive froide est la résolution de problèmes et la planification. Cette fonction se base sur les trois autres pour permettre au sujet d'organiser ses idées, ses actions et ses comportements pour réussir une tâche. Ce chapitre définira cette fonction et présentera son importance.

III.5.1. Définition et procédure

« Les apprentissages commencent très tôt et continuent tout au long de la vie. Acquérir, accumuler et intégrer de nouvelles connaissances et de nouvelles stratégies de résolution de problèmes est essentiel pour un comportement cohérent, adapté et flexible » (Michael, 2018).

La résolution de problèmes et la planification sont des fonctions exécutives de haut niveau qui s'appuient et se fondent sur le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive. Toute situation de résolution de problème et de planification nécessite l'activation des trois fonctions exécutives de base (Collins & Koechlin, 2012).

La résolution de problèmes est décrite comme étant une transformation d'un état initial indésirable à un état final souhaitable en surmontant des obstacles (Beecher, 2017), et en opérant à des niveaux élevés de réflexion et de raisonnement (Spector & Park, 2012).

La planification est « l'organisation temporelle d'une succession d'étapes pour arriver à un but (une action, une solution, une décision, la résolution d'un problème ou d'un conflit...) » (Moret & Mazeau, 2013). Ceci met en jeu l'anticipation de l'objectif et des étapes à entreprendre en prenant en compte les contraintes environnementales, en gérant les priorités et en mettant en ordre les étapes à suivre.

La gestion des priorités nécessite de bonnes compétences d'inhibition, la hiérarchisation des étapes requiert des capacités appropriées au niveau de la mémoire de travail et trouver des alternatives et s'autocorriger nécessite une flexibilité cognitive.

Il existe certes plusieurs façons de résoudre les problèmes dépendamment de leur nature. Toutefois, plusieurs psychologues affirment que les mêmes processus sont mis en

jeu et proposent un cycle de sept étapes pour la résolution (Pretz, Naples, & Sternberg, 2003) :

1. La reconnaissance ou l'identification du problème
2. La définition et la représentation mentale du problème
3. Le développement d'une stratégie pour résoudre le problème
4. L'organisation des connaissances concernant le problème
5. L'allocation des ressources mentales et physiques à la résolution le problème
6. Le suivi du progrès en direction de l'objectif
7. L'évaluation de précision de la solution

Ainsi, pour résoudre un problème, il faut disposer de stratégies de raisonnement appropriées, savoir les sélectionner, les planifier, les exécuter et les adapter. Afin d'élaborer des stratégies et les sélectionner, le raisonnement à visée pragmatique est utilisé et est suivi d'une prise de décision (Meunier, 2016).²⁷ Ce type de raisonnement est dirigé vers l'action à entreprendre et permet au sujet de comprendre la situation dans laquelle il se trouve et d'identifier le but à atteindre. Ces deux éléments permettent la recherche d'une solution suivant trois processus :

- 1)** L'analogie : emprunter des solutions à des conditions antérieures jugées identiques.
- 2)** Les schémas de résolution : structures abstraites à adapter à la situation actuelle.
- 3)** L'interprétation : construire de nouvelles solutions avec les adaptations nécessaires.

Ces trois processus vont mener vers une prise de décision qui est définie comme étant « le résultat d'un ensemble de processus qu'il convient de distinguer » (Weber & Johnson, 2009) pour évaluer différentes options présentes et faire un choix (Meunier, 2016).

Il est nécessaire de préciser que la capacité d'abstraction est une fonction essentiellement activée durant la résolution de problème et la planification. Cette

²⁷ Il existe un autre genre de raisonnement décrit par la littérature appelé raisonnement à visée épistémique ; ce type ne concerne pas le travail de recherche que nous présentons.

fonction d'ordre supérieure implique des pensées complexes qui permettent de progresser au-delà de la pensée concrète, de tirer des conclusions ou d'illustrer les relations entre les concepts d'une manière qui dépasse ce qui est évident. Les relations conceptuelles sont développées afin d'expliquer la base théorique sur laquelle une idée ou un élément est lié à un autre (Loue & Sajatovic, 2006).

III.5.2. Importance de la résolution de problèmes et de la planification

La résolution de problèmes est nécessaire pour gérer d'une manière efficace des situations non routinières complexes dans différents domaines (Drigas & Karyotaki, 2019). Il est évident que la mise en œuvre de stratégies de planification et de résolution de problèmes est vitale pour organiser un discours, un raisonnement, un calcul, une lecture ou un trajet et pour répondre à une consigne ou faire face à une nouvelle situation (Moret & Mazeau, 2013). Anticiper le but et organiser le cheminement à entreprendre sont nécessaires pour la réussite de tout projet.

Le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail, la flexibilité mentale et la résolution de problèmes et la planification constituent les fonctions exécutives froides. Elles permettent au sujet d'acquérir de nouveaux apprentissages, de faire face aux obstacles du quotidien et de s'adapter à de nouveaux environnements. Elles n'agissent toutefois pas seules et ne peuvent pratiquement pas être dissociées des fonctions exécutives chaudes pour l'exécution d'une tâche. Les fonctions exécutives chaudes seront définies dans le chapitre qui suit.

III.6. Fonctions exécutives chaudes

Les fonctions exécutives chaudes s'associent aux fonctions exécutives froides pour permettre à la personne d'exécuter une tâche tout en contrôlant et régulant ses émotions. Ce chapitre permettra de les définir et de montrer leur importance.

III.6.1. Définition

Les fonctions exécutives chaudes sont des composantes des fonctions exécutives mises en relief de manière significative lors de situations motivationnelles ou émotionnelles saillantes, telles que gérer la pression des pairs, retarder une récompense ou apprendre de ses propres gains et pertes (Welsh & Peterson, 2014 ; Antonini, Becker, Tamm, & Epstein, 2015). Elles impliquent des processus cognitifs dirigés vers des buts et orientés vers l'avenir, suscités dans des contextes qui génèrent de l'émotion, de la motivation et une tension entre la gratification instantanée et les récompenses à long terme (Poon, 2018 ; Perone, Almy, & Zelazo, 2018).

Comme rappelé plus avant, certains auteurs partagent les fonctions exécutives chaudes en trois composantes qui sont l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale qui englobe la théorie de l'esprit et le traitement des émotions (Chan, Shum, Touloupoulou, & Chen, 2008 ; Roy, Le Gall, Roulin, & Fournet, 2012).

Chaque tâche exécutive requiert l'activation simultanée des fonctions exécutives chaudes et des fonctions exécutives froides, et on ne peut négliger l'importance des fonctions exécutives chaudes lors de la description des comportements quotidiens (Müller & Kerns, 2015). Malgré le continuum présent entre ces deux types de fonctions exécutives, les chercheurs tentent quand même de les délimiter (Zelazo & Carlson, 2012).

III.6.2. Importance des fonctions exécutives chaudes

Les fonctions exécutives chaudes sont nécessaires dans une situation où les émotions sont fortes et où l'individu se soucie du résultat alors que les fonctions exécutives froides sont reliées à des situations affectivement neutres. Les fonctions exécutives chaudes sont

prédictives du comportement dans des situations socialement chargées (Conner, Stein, & Longshore, 2008 ; Kim, Nordling, Yoon, Boldt, & Kochanska, 2013) alors que les fonctions exécutives froides semblent être plus prédictives de la réussite scolaire (Brock, Rimm-Kaufman, Nathanson, & Grimm, 2009).

En classe, les élèves rencontrent des problèmes qui ont une valence émotionnelle, activant les fonctions exécutives chaudes. Ils doivent attendre leur tour, inhiber les impulsions de jouer avec leurs pairs et se conformer aux exigences de la salle de classe. Ces fonctions jouent donc un rôle prépondérant au niveau des comportements d'apprentissage et de l'engagement des élèves (Brock, Rimm-Kaufman, Nathanson, & Grimm, 2009).

Au préscolaire, les fonctions exécutives chaudes sont mises en relief grâce aux compétences sociales (Blair, Denham, Kochanoff, & Whipple, 2004) ; un fonctionnement exécutif chaud approprié est corrélé avec les relations positives, tandis que des fonctions exécutives chaudes faibles sont associées à des comportements problématiques (McIntyre, Blacher, & Baker, 2006). Les fonctions exécutives chaudes sont souvent altérées chez les enfants ayant de graves problèmes de comportement (Hughes, White, Sharp, & Dunn, 2000) et chez les adultes qui ont un comportement déviant (Morgan & Lilienfeld, 2000).

Ainsi, les fonctions exécutives froides et chaudes se montrent indispensables pour l'apprentissage de nouveaux savoirs et le développement de nouvelles compétences. Elles sont utiles pour l'apprentissage des langues, du calcul, de la musique, etc., et devraient donc être utiles pour l'apprentissage du codage et de la robotique. Mais comment ces fonctions exécutives œuvrent-elles ? Par quoi sont-elles commandées ? Le chapitre qui suit nous permettra de répondre à ces questions.

III.7. Les fonctions exécutives : des compétences neurologiques en développement

III.7.1. Origine neurologique des fonctions exécutives

Le travail collaboratif des fonctions exécutives se fait au niveau du lobe frontal du cerveau. Le cortex préfrontal est la zone la plus antérieure du cerveau, située en avant du sillon précentral. Il occupe 40% de la taille du cerveau (Jacobson, Marcus, & Pugsley, 2018 ; Fuster, 2015). En général, la partie latérale-dorsale est associée aux fonctions exécutives en lien avec la motricité, alors que les surfaces orbito-ventrale et médiale sont associées au contrôle exécutif en lien avec les émotions (Jacobson, Marcus, & Pugsley, 2018) ; tout en sachant qu'en réalité le travail au niveau du lobe préfrontal n'est pas aussi simple. Ce lobe « assure les fonctions les plus complexes, les plus proprement humaines, mais aussi, comme on le découvre de plus en plus clairement, des fonctions qui sont à l'interface entre la cognition et les émotions » (Habib, 2014). Selon Habib, c'est précisément au niveau du cortex préfrontal dorso-latéral que siègent les fonctions exécutives. Au niveau de ce même cortex, mais dans la partie orbito-frontal siègent les réseaux impliqués dans la régulation des émotions et de leur effet sur la réponse comportementale du sujet. Gradman et Litvan (1999) confirment que le cortex préfrontal dorso-latéral joue un rôle important au niveau de la planification, du raisonnement verbal et de la résolution de problèmes. Ils ajoutent que le cortex préfrontal ventro-médial assure la médiation des fonctions exécutives « chaudes » impliquant un contrôle affectif et émotionnel. De multiples études confirment que les réseaux responsables des fonctions exécutives siègent au sein du lobe préfrontal et que le lobe pariétal participe aussi aux tâches exécutives. Une étude publiée en 2004 suggère que le cortex pariétal et le cortex préfrontal droit sont impliqués dans les tâches qui requièrent une attention soutenue tandis que le cortex préfrontal dorso-latéral gauche maintenait activement l'ensemble des tâches (Fassbender, et al., 2004). Une étude différente publiée en 2003 confirme ceci en mettant en relief que l'activation du cortex pariétal supérieur a lieu lors des tâches d'attention sélective alors que l'activation du cortex préfrontal dorso-latéral

est impliquée dans le maintien, la mise à jour et la manipulation des informations (Sylvester, et al., 2003). Ceci est confirmé de nouveau par l'étude de Hedden et Gabrielli (2010) qui rajoutent que le cortex préfrontal ventro-latéral peut être engagé à chaque fois où le sujet est exposé à des informations potentiellement pertinentes.

Par ailleurs, ces régions du cerveau fonctionnent-elles de la même manière à tous les âges ? Les fonctions exécutives sont-elles rigides ou se développent-elles au cours de la vie ? Y a-t-il un moyen de les améliorer ? La partie qui suit de ce chapitre donnera les réponses à ces questionnements.

III.7.2. Développement et maturation des fonctions exécutives

Les fonctions exécutives sont gérées dans le cerveau et par le cerveau. Dès sa naissance, un bébé développe ses fonctions exécutives grâce à des stimulations provenant de son environnement. Elles restent en développement tant qu'elles sont stimulées et se stabilisent au début de l'âge adulte. Les fonctions exécutives montrent un changement particulièrement prononcé durant la petite enfance (Diamond A. , 2013). Dès les premiers mois de la vie, les enfants s'appuient sur un système exécutif de ressources cognitives pour atteindre leurs objectifs en s'engageant socialement avec leur entourage. Entre l'âge de 7 à 10 mois, ils commencent à interpréter la perspective des autres et à mettre à jour et modifier leurs propres pensées relativement aux nouvelles informations reçues. À cet âge ils sont capables d'ignorer les détails non pertinents tout en portant leur attention sur les détails qui sont importants pour l'efficacité sociale et la communication (Hoskyn, Iarocci, & Young, 2017). À mesure qu'ils grandissent, leur système exécutif s'organise et s'affine à travers leurs interactions sociales et leurs expériences avec l'environnement. Les chercheurs reconnaissent de plus en plus l'influence des facteurs environnementaux et l'impact des premières expériences relationnelles sur le développement des fonctions exécutives (Blair C. , *Developmental Science and Executive Function*, 2016). Le prolongement du développement des fonctions exécutives se poursuit en deux phases la première de 3 à 5 ans et ensuite de 6 à 16 ans (Roy, Le Gall, Roulin, & Fournet, 2012).

À l'âge de 3 ans les enfants sont caractérisés par une rigidité notable ; ils présentent une façon unique de faire les choses, une seule façon de voir les choses, un seul nom correct pour une chose... Entre 3 et 6 ans une amélioration spectaculaire du contrôle inhibiteur et de la flexibilité cognitive est observée. Ces améliorations exécutives se révèlent au niveau de la cognition sociale (Wimmer & Perner, 1983 ; Chevalier, 2010 ; Diamond A. , 2013).

À partir de 6 ans, les progrès persistent au niveau du contrôle inhibiteur et l'enfant devient capable de bloquer plus rapidement une réponse après son initiation. De plus, les erreurs d'omissions et de substitutions diminuent progressivement entre 7 et 12 ans (Brocki & Bohlin, 2004). L'amélioration de l'inhibition au niveau du temps de réaction et des mesures de précision continuent à se développer jusqu'à l'âge de 15 ans et le contrôle des interférences continue son amélioration jusqu'à l'âge de 21 ans (Huizinga, Dolan, & Van der Molen, 2006).

Quant aux performances de la mémoire de travail, elles s'améliorent tout au long de l'enfance, montrant des changements au niveau de la vitesse de traitement, de la durée de maintenance et de la capacité de rétention (Stiles, Brown, Haist, & Jernigan, 2015). Les recherches signalent qu'à l'âge de 6 ans, la mémoire de travail est suffisamment développée pour être utilisée lors de tâches complexes (Gathercole, Pickering, Ambridge, & Wearing, 2004 ; Best & Miller, 2010). Entre l'âge de 6 à 14 ans, une augmentation linéaire des performances visuelles et auditives est observée (Vuontela, et al., 2003 ; Luciana, Conklin, Hooper, & Yarger, 2005).

Concernant la flexibilité cognitive, on note à partir de l'âge de 2 ans et jusqu'à l'âge de 5 ans une capacité à assimiler une série de règles, à les identifier et à adapter ses comportements relativement (Roy, Le Gall, Roulin, & Fournet, 2012). Les compétences de flexibilité mentales deviennent matures vers l'âge de 10 ans et se développent d'une manière forte à partir de 12 ans (Welsh, 2002 ; Anderson , Anderson, Northam, Jacobs, & Catroppa, 2001 ; Romine & Reynolds, 2005).

Ainsi, le développement des fonctions exécutives est certes lié à la maturation du cortex préfrontal, mais dépend aussi des expériences de l'individu, des interactions avec

l'environnement, du langage et de la communication et des variables socioéconomiques (Chevalier, 2010).

III.7.3. Modèles de fonctionnement

Plusieurs modélisations proposées par des chercheurs décrivent le fonctionnement des composantes des fonctions exécutives en expliquant les liens internes et les interactions avec l'environnement entourant. Deux modèles proposés ci-dessous nous permettront d'analyser ultérieurement le comportement des élèves leurs réussites et leurs échecs face aux tâches de codage et de robotique.

a) Modèle de Baddeley

Baddeley parle d'administrateur central²⁸ pour décrire le fonctionnement de la mémoire de travail qu'il qualifie de système cognitif général à capacité limitée de traitement et de stockage provisoire (Baddeley, 1986). Ce système comporte quatre composantes qui sont la boucle phonologique (appelée aussi boucle articulatoire), le calepin visuospatial, un buffer épisodique et un administrateur central chargé du contrôle de l'attention. Grâce à cet administrateur, le filtrage des informations se fait en mémoire de travail, ainsi que le transfert en mémoire à long terme. Cet administrateur est non seulement nécessaire pour l'activation de la mémoire de travail, mais aussi pour la flexibilité mentale, les doubles tâches et l'attention sélective (Baddeley, 2000 ; Allain & Le Gall, 2008). Ceci montre que, quoique les fonctions exécutives sont séparées les unes des autres, elles interagissent simultanément lors des tâches les activant et montre aussi l'importance de l'attention au niveau des tâches mnésiques.

²⁸ *Central executive* en anglais.

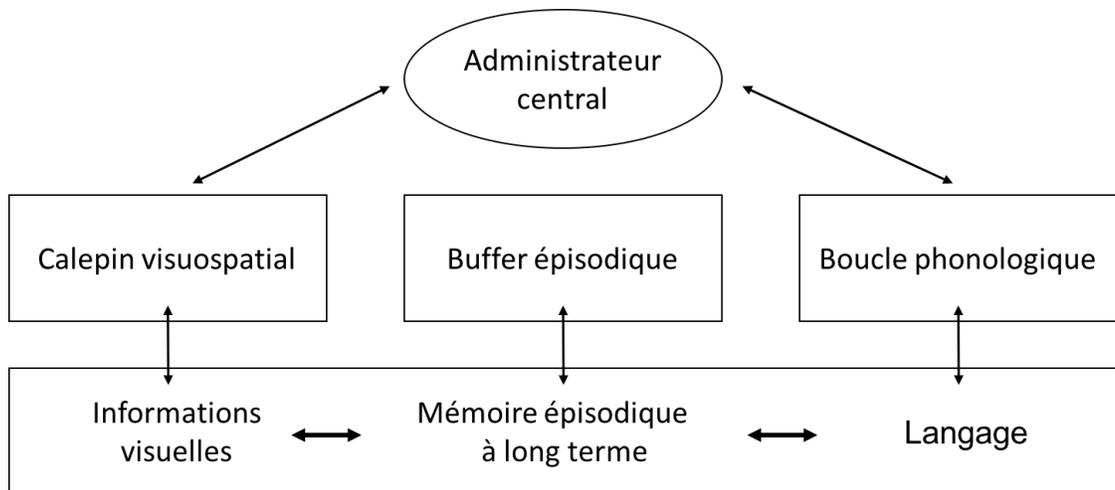


Figure 7 : Traduction du modèle de Baddeley expliquant le fonctionnement de la mémoire de travail.

b) Système de supervision attentionnelle

Le modèle de traitement de l'information du contrôle attentionnel a été présenté par Norman et Shallice (1986) qui ont proposé deux processus de contrôle :

- 1) Les habitudes, routines, ou schémas préexistants qui contrôlent une action ou compétence apprise et acquise.
- 2) Un système de supervision attentionnelle (SAS) intentionnel qui est mis en jeu lors de situations nouvelles pas courantes.

Le SAS intervient au niveau de cinq types de tâches qui sont la planification ou la prise de décision, la correction d'erreurs, les nouveaux apprentissages, les situations dangereuses ou difficiles et les situations impliquant l'inhibition de réponses fortement renforcées (Allain & Le Gall, 2008 ; Hunter & Sparrow, 2012). Ce système intervient donc lors de la majorité des tâches activant les fonctions exécutives et présentées durant les ateliers de codage et de robotique.

Ces deux modèles de fonctionnement permettent de comprendre que malgré une tentative de dissociation des fonctions exécutives au niveau de la théorie, les fonctions s'associent souvent et agissent ensemble pour l'exécution d'une tâche ou l'acquisition d'un nouvel apprentissage. Il est extrêmement rare de trouver un comportement ou une tâche qui nécessite l'implication d'une seule fonction exécutive ou d'une seule région du cerveau.

Les fonctions exécutives ont donc une origine biologique, elles fonctionnent en s'associant les unes aux autres et évoluent en fonction des stimulations environnementales selon des modèles de fonctionnement précis. Comme ces fonctions évoluent, il est important d'être en capacité de les évaluer. Le chapitre qui suit présente une liste non exhaustive d'outils d'évaluation jugés efficaces par la littérature scientifique.

III.8. Évaluation des fonctions exécutives

Plusieurs tâches cognitives, épreuves standardisées et grilles permettent d'évaluer les fonctions exécutives. Chaque test est choisi relativement à une question précise qu'on se pose et qui concerne à la nature, le mécanisme ou l'intensité d'un comportement cognitif d'un enfant (Mazeau, 2008). Selon Mazeau (2008), l'état psychoaffectif de l'enfant est certes important durant la passation, mais ne provoque pas de conséquences importantes sauf si l'enfant présente un trouble grave. Il est important de rappeler que les tâches ou épreuves restent un indicateur imparfait de la capacité sous-jacente censée être évaluée puisque les composantes ne peuvent être mesurées d'une manière isolée. On obtient plutôt une mesure sur les fonctions exécutives d'une manière générale et la composante proposée d'une manière plus particulière (Censabella, 2007 ; Diamond A. , 2013). Noël (2007) affirme qu'il est impossible d'effectuer une évaluation exhaustive des fonctions exécutives et d'utiliser la totalité des épreuves et c'est pour cette raison que des épreuves précises répondant à nos questions de recherche ont été utilisées dans cette étude et sont présentées dans le tableau ci-dessous. Elles seront détaillées amplement dans la partie consacrée à la méthodologie.

Tâche ou épreuve	Composante exécutive sous jacente	Composantes exécutives secondaires	Références
Wisconsin Card Sorting Test	Fonctions exécutives globales	Flexibilité cognitive	(Stuss, et al., 2000) (Borst, Les fonctions exécutives, 2018)
Flanker	Contrôle des interférences (attention sélective)	Flexibilité cognitive	(Eriksen & Eriksen, 1974) (Mullane, Corkum, Klein, & McLaughlin, 2009)
Hearts and flowers	Flexibilité cognitive (<i>switching task</i>)	Mémoire de travail	(Wright & Diamond, 2014) (Lange & Dewitte, 2019)
Go/no-go	Contrôle inhibiteur	Mémoire de travail	(Cragg & Nation, 2008) (Verbruggen & Logan, 2008)
N-back	Mémoire de travail	Contrôle inhibiteur	(Owen, McMillan, Laird, & Bullmore, 2005) (Verhaeghen & Basak, 2005)
Tour de Hanoï	Résolution de problèmes et planification	Contrôle inhibiteur Mémoire de travail Flexibilité cognitive	(Welsh, 1991) (Hirschtritt, et al., 2009) (Sparrow, 2012)

Tableau 2 : Tâches cognitives utilisées.

III.9. Entraînement cérébral des fonctions exécutives

Deux types de dispositifs d'entraînement des fonctions exécutives existent. Les premiers dispositifs consistent à renforcer une seule fonction exécutive d'une manière intensive, et les seconds moins spécifiques et plus métacognitifs permettent aux enfants d'apprendre à adapter leurs réflexions et leurs comportements (Borst, 2018). Ces deux dispositifs d'entraînement cognitif s'appuient sur la plasticité cérébrale qui représente la faculté du cerveau à se restructurer en permanence, et explique l'amélioration des performances intellectuelles par un déploiement des réseaux neuronaux grâce aux apprentissages effectués dans le but d'améliorer les habiletés cognitives qui y sont attachées (Abou Tayeh, 2003). Un entraînement cognitif conçu sous forme de tâches répétitives dépouillées de contexte, ne possède pas d'effets de généralisation (Coste & Krolak-Salmon, 2017) et ne permet donc pas une amélioration du fonctionnement de l'individu.

L'entraînement cérébral n'a pas pour objet les fonctions exécutives déficitaires, mais plutôt des fonctions exécutives fonctionnelles. On le distingue à ce niveau de la remédiation cognitive qui est personnalisée en fonction du besoin de l'individu qui présente des difficultés exécutives (Franck, 2017).

Diamond et Ling (2016) démontrent que plus la durée de l'entraînement est longue et plus la fréquence par semaine est grande plus les résultats d'amélioration des fonctions exécutives sont notables. Par ailleurs, les effets de la durée de chaque séance d'entraînement ne sont pas homogènes d'une étude à l'autre. Les études ont montré que les avantages de l'entraînement des fonctions exécutives peuvent perdurer des mois, voire des années, mais que la performance diminue progressivement suite à l'arrêt de l'entraînement (Willis, et al., 2006).

III.9.1. Renforcement intensif d'une fonction exécutive

Le renforcement intensif d'une fonction exécutive précise ou isolée se fait grâce à un entraînement intensif à raison de 15 – 20 minutes, 5 jours par semaine pendant 5 à 8 semaines. En majorité, les études effectuées ont ciblé la mémoire de travail dans le but

d'augmenter l'empan mnésique ou de rafraichir le contenu de la mémoire (Klingberg, 2010 ; Jaeggi, Buschkuhl, Jonides, & Shah, 2011). Les panoplies d'études effectuées sur les renforcements intensifs des fonctions exécutives que ce soit la mémoire de travail, la flexibilité cognitive (Korbach & Kray, 2009) ou le contrôle inhibiteur (Rueda, Rothbart, Mccandliss, Saccomanno, & Posner, 2005) ont montré des améliorations au niveau des tâches qui mesurent spécifiquement la fonction entraînée (appelés transferts proches), mais très peu ou pas d'amélioration au niveau des domaines et des compétences dans lesquels les fonctions exécutives sont activées (appelés transferts lointains) et ces améliorations peuvent s'estomper avec le temps (García-Madruga, Gómez-Veiga, & Villa, 2016 ; Sala & Gobet, 2017).

III.9.2. Entraînements métacognitifs des fonctions exécutives

Ce dispositif de renforcement se fait dans un cadre précis et englobe toutes les fonctions exécutives à la fois, faisant en sorte que l'activation des fonctions exécutives prenne partie intégrante de ce que les élèves font durant toute leur journée à l'école. On cite par exemple la médiation de pleine conscience (Flook, et al., 2010), la méthode *Tools of the Mind* (Blair & Raver, 2014) et la méthode Montessori. Ces programmes permettent d'améliorer les fonctions exécutives des enfants, ils ont un effet sur les apprentissages en classe et permettent donc des transferts lointains à condition qu'ils soient intégrés au sein de toutes les activités scolaires, durant toute la journée (Diamond & Ling, 2016). Il serait important de préciser que le matériel et les tâches proposées doivent être écologiques et en lien avec la vie quotidienne (Touzet, 2012). Ainsi, des dispositifs métacognitifs ciblés visant à développer les fonctions exécutives intégrés au sein du programme scolaire, permettent d'améliorer la performance des enfants et produisent des transferts lointains (Diamond & Lee, 2011 ; Borst, 2018).

III.9.3. Niveau challenge de l'entraînement des fonctions exécutives

Il ne suffit pas d'activer les fonctions exécutives pour les améliorer, mais ces dernières doivent être continuellement mises au défi. En effet, ce qui fait d'un individu un expert, est une pratique excessive poussant continuellement à dépasser sa zone de confort ou

son niveau de compétence actuel (Ericsson, Nandagopal, & Roring, 2009 ; Ericsson & Towne, 2010). Ceci rappelle de la zone de développement proximal de Vygotski (1986), qui est la zone présente juste au-delà de ce que l'individu peut faire seul, mais qu'il peut réussir avec un léger accompagnement. Ainsi les fonctions exécutives peuvent être améliorées par des jeux qui augmentent progressivement en difficulté, au fur et à mesure que les compétences de l'individu s'améliorent (Bergman Nutley, et al., 2011).

Pour récapituler, les études récentes montrent que pour améliorer les fonctions exécutives, il s'avère plus bénéfique de proposer des activités de manière intensive et présente dans le quotidien de l'enfant, mettant en jeu plusieurs fonctions à la fois que de tenter d'exercer une fonction exécutive de manière isolée. Il est aussi important de trouver des situations réelles, un matériel ludique et un niveau défi des activités. Nous avons indiqué auparavant que les fonctions exécutives sont impliquées dans tout type d'apprentissage comme par exemple l'apprentissage du codage et de la robotique. Mais dans cette recherche nous renversons la perspective. En d'autres termes, nous tentons dans cette étude d'évaluer les effets que pourraient avoir le codage et la robotique sur l'évolution des fonctions exécutives puisqu'ils mettent en jeu toutes les fonctions à la fois, ils proposent des situations réelles, un matériel ludique et des niveaux évolutifs de résolution de problèmes. Le chapitre qui suit synthétise ce que la littérature a pu apporter jusqu'à ce jour au sujet du développement des fonctions exécutives grâce au codage et à la robotique.

III.10. Revue de la littérature portant sur les effets du codage et de la robotique sur les fonctions exécutives

Les études évaluant les liens directs entre les fonctions exécutives et le codage et la robotique ne sont pas très nombreuses. Nous tenterons d'exposer dans cette partie les recherches effectuées, les résultats obtenus ainsi que les méthodologies adoptées.

Une étude effectuée par Caci, Chiazzese et D'Amico (2013) utilise le kit LEGO Mindstorms ainsi que le Kodu Game Lab pour améliorer les compétences cognitives et académiques de 59 élèves italiens du cycle secondaire, grâce à trois activités collaboratives qui sont la création d'une histoire, la construction d'un robot et la programmation d'un monde virtuel. Huit séances de quatre heures ont eu lieu. Les élèves qui participent à l'étude sont poussés à expérimenter trois modes de pensée différents :

- un mode narratif où ils sont invités à imaginer un scénario cohérent adapté à un scénario réel ou virtuel avec un robot en tant que protagoniste et autres caractéristiques environnementales ;
- un mode de pensée concrète où ils concrétisent leurs travaux par la construction grâce à des briques, des capteurs, des servomoteurs, un processeur central, des canaux d'entrée et de sortie et l'environnement réel dans lequel le robot interagit ;
- un mode de pensée abstraite où ils interagissent avec des objets virtuels de l'outil Kodu Game Lab.

L'évaluation de l'effet de ces séances sur la résolution de problèmes et sur l'analyse perceptive visuelle s'est faite grâce à l'administration de deux questionnaires incluant des tâches cognitives et académiques en pré-test et post-test par des psychologues au groupe expérimental et à un groupe contrôle.

Les résultats des tests de corrélation ont montré que les capacités de raisonnement déductif, la vitesse de traitement des cibles visuelles, le traitement visuospatial, la mémoire de travail, la compréhension de texte et la résolution de problèmes de géométrie sont liés au travail qui se fait en séances de robotique. La comparaison en pré-test et post-test des groupes contrôles et expérimentaux a montré que la robotique

éducative permet d'améliorer de manière significative la mémoire de travail visuospatiale.

Une étude différente effectuée par Di Lieto, et al. (2017) auprès de douze enfants âgés de 5 ou 6 ans et scolarisés en classe de maternelle à Pise en Italie, présente des séances de robotique de 75 minutes à raison de deux séances hebdomadaires sur une période de deux semaines. Les chercheurs utilisent le Bee-Bot pour améliorer les fonctions exécutives notamment le contrôle inhibiteur des réponses automatiques, le contrôle des interférences, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive. Durant ces séances les enfants furent partagés en groupe de quatre, et chaque enfant avait son propre robot.

Les trois premières séances furent consacrées à la familiarisation avec Bee-Bot par l'explication des caractéristiques de la programmation et la fonction des boutons principaux. Les enfants devaient déplacer Bee-Bot dans un espace délimité par un tapis représentant un plan de ville dans le but d'atteindre un endroit déterminé présent sur le tapis. Les activités de la quatrième séance à la septième séance visaient le développement de la mémoire de travail, de la flexibilité cognitive et de la planification visuo-spatiale. Les six dernières séances ont été axées sur le renforcement des compétences acquises et sur l'amélioration de l'inhibition et du contrôle des interférences. Les activités ont atteint un grand niveau de complexité, demandant de programmer Bee-Bot en suivant des règles contradictoires sur une carte plus abstraite présentant une grille avec des formes géométriques différentes. Bee-Bot devait par exemple atteindre le cercle bleu sans passer par des triangles.

Les douze enfants ont participé à un système de mesures répétées où trois évaluations neuropsychologiques ont été effectuées à intervalles réguliers de six semaines sur des temps T_0 , T_1 et T_2 . Entre T_0 et T_1 , les enfants ont effectué leurs rituels scolaires quotidiens, tandis entre T_1 et T_2 , une intervention en robotique a été réalisée. Les tâches cognitives utilisées pour l'évaluation sont le test des blocs de Corsi, la Nepsy 2, le Leither-R et la tâche de Simon. Les résultats ont montré une amélioration significative au niveau du contrôle inhibiteur et de la mémoire de travail.

Di Lieto, et al. (2020) reprennent leur étude auprès de 187 enfants en proposant cette fois vingt séances de robotique à raison de deux séances hebdomadaires. En comparaison au groupe contrôle, le groupe expérimental a montré de meilleures capacités de manipulation actives des informations au niveau de la mémoire de travail ainsi qu'au niveau de la suppression des réponses automatiques en faveur d'actions bien réfléchies. Ceci a permis de montrer que les séances de codage améliorent les fonctions exécutives notamment au niveau de la mémoire de travail et du contrôle inhibiteur.

En Italie également, Arfé, Vardanega, Montuori et Lavanga (2019) ont réalisé deux études afin de tester les effets de la pensée informatique et du codage sur le développement des fonctions exécutives chez les enfants. Au niveau de la première étude, les chercheurs ont proposé huit heures de codage sur code.org durant un mois à 76 élèves en classe de CP âgés de 5 ou 6 ans. La méthodologie utilisée est un plan d'étude croisée avec trois temps de tests pour les deux groupes expérimentaux. Au niveau de la seconde étude, ils ont testé les effets de huit séances de codage sur corde.org proposées sur une durée d'un mois avec pré-test et post-test auprès de dix-sept élèves de CE1 formant le groupe expérimental. Les résultats du groupe expérimental ont été comparés à ceux d'un groupe contrôle testé en pré-test et post-test avec un délai de sept mois sans recevoir d'interventions spéciales. L'évaluation a été effectuée grâce aux tâches cognitives Tour de Londres, *Elithorn Maze test*, Nepsy 2 et le Stroop numérique. Les résultats des deux études montrent les avantages significatifs de l'apprentissage du codage, puisque les enfants exposés au codage se sont considérablement améliorés dans les tâches de planification et d'inhibition en comparaison aux enfants du groupe contrôle. Les données longitudinales ont montré que l'amélioration de la planification et des compétences d'inhibition après un mois d'activités de codage étaient équivalentes ou supérieures à l'amélioration atteinte après sept mois d'activités scolaires habituelles.

La même étude est reprise par Arfé, Vardanega et Ronconi (2020) qui ont présenté cette fois huit heures de codage sur code.org sur une durée d'un mois à 179 élèves ayant le même statut socio-économique scolarisés en classe de CP au sein de cinq écoles du nord de l'Italie formant le groupe expérimental. Le groupe contrôle avait des

caractéristiques similaires au groupe expérimental, mais n'a pas suivi des cours de codage. Chaque séance de 60 minutes impliquait la résolution de cinq à huit problèmes de codage. Ces problèmes englobaient une analyse spatiale, une décomposition du problème, une pensée algorithmique et enfin une évaluation et correction de la réponse formulée. Au prétest et au post-test, les enfants ont exécuté individuellement quatre problèmes de codage sur le site Code.org. De plus, quatre tâches cognitives standardisées ont été utilisées, deux pour évaluer l'inhibition de la réponse et deux pour évaluer la planification. Les enfants exposés aux activités de codage prennent plus de temps au niveau de planification ce qui augmente la précision et diminue le taux d'erreurs.

Par ailleurs, Bargagna et ses collaborateurs (2019) ont présenté des séances de 45 minutes de codage à huit enfants âgés de 5 à 12 ans et ayant une trisomie 21 sur une période de huit semaines en utilisant le Bee-Bot. L'entraînement fut adapté aux compétences des enfants. Les candidats ont été divisés en deux petits groupes selon leur âge et compétences scolaires et trois sous-groupes ont été créés. Des séances individuelles ont parfois été réalisées, le pourcentage de ces séances varie d'un enfant à l'autre, mais ne dépasse jamais les 50%. Les activités ont été organisées dans un cadre narratif utilisant une méthode d'apprentissage sans erreur²⁹ pour faciliter le processus d'apprentissage en évitant les erreurs avec des activités progressivement plus complexes d'une séance à la suivante. Les tâches initiales proposaient de programmer Bee-bot d'une manière simple afin d'atteindre des cibles positionnées à un pas en avant ou un pas en arrière. Dans les premières phases, les enfants ont été aidés pour programmer le robot par un adulte qui indiquait l'itinéraire souhaité avec des gestes de la main. Par la suite, des cibles étaient positionnées progressivement plus loin afin d'inclure des virages dans la programmation. Le soutien proposé de la part des adultes a été progressivement réduit. À la fin de chaque séance, les enfants gagnaient une médaille pour les motiver. Une équipe multidisciplinaire, composée de psychologues et de pédopsychiatres a participé aux séances avec les enfants. En raison de l'hétérogénéité de l'échantillon, les

²⁹ De l'anglais errorless learning.

résultats qualitatifs de seulement deux enfants sont présentés et discutés dans l'article. Les données collectées suggèrent que, bien que la robotique semble être une méthode utile pour améliorer la mémoire de travail visuo-spatiale elle ne semble pas être suffisante pour induire un effet de généralisation sur les fonctions exécutives chez les enfants ayant une trisomie 21 et donc des troubles au niveau du fonctionnement exécutif.

Dans la même perspective, cette équipe de chercheurs a présenté des séances de codage à 42 enfants âgés de 5 à 7 ans ayant des troubles neurodéveloppementaux et inclus dans treize écoles régulières à Pise en Italie (Di Lieto, et al., 2020). Les séances de robotique ont eu lieu à raison de deux séances de 60 minutes par semaine sur une période de dix semaines incluant non seulement les enfants ayant des troubles neurodéveloppementaux, mais tous les élèves de la classe durant les heures de classe habituelle. Deux robots ont été utilisés Bee-bot et Pro-bot. Les séances ont été adaptées aux compétences et difficultés que présentent les enfants ayant des troubles neurodéveloppementaux. Les enfants présentaient des difficultés différentes. En effet, quatorze avaient un déficit attentionnel, huit présentaient des difficultés au niveau du langage oral, dix exposaient un dysfonctionnement exécutif, cinq présentaient un déficit intellectuel, deux étaient autistes et trois avaient des troubles neuro-moteurs. Le groupe était donc hétérogène et le degré de la déficience variait d'un enfant à l'autre. Treize enfants présentaient des difficultés cliniques plus pointues et avaient besoin d'une assistance en classe. Un plan d'étude croisée avec trois temps de tests pour les groupes expérimentaux 1 et 2 a été adopté, mais l'étude présente un grand nombre de variables et donc les conclusions présentent plusieurs limites. Les chercheurs ont montré que le codage peut avoir un rôle important au niveau de la scolarisation des enfants atteints de troubles neurodéveloppementaux. Ces activités peuvent favoriser à la fois l'amélioration des fonctions exécutives et l'inclusion sociale grâce au travail en groupe.

Ces différentes études montrent que le codage et la robotique pourraient permettre un progrès au niveau de la mémoire de travail, du contrôle inhibiteur et de la planification chez des apprenants neurotypiques en leur permettant d'augmenter la précision et de diminuer le taux d'erreurs en effectuant les tâches. Les activités de codage et de

robotique pourraient être tout aussi bénéfiques pour des enfants ayant des troubles neurodéveloppementaux ou une trisomie 21. Il faut noter que les études faites auprès d'apprenants neurotypiques ne sont pas nombreuses. Ainsi, l'étude effectuée pour cette thèse permettrait d'approfondir les savoirs sur cette population.

III.11. Synthèse : liens possibles entre le développement des fonctions exécutives et les cours de codage et de robotique

Les fonctions exécutives sont des compétences essentielles pour le bon déroulement des apprentissages. Elles permettent à la personne de s'adapter à de nouveaux environnements, de construire de nouvelles connaissances et de trouver des solutions adaptées au contexte et aux problèmes rencontrés. Elles sont tout aussi utiles à l'école qu'au quotidien hors scolaire.

Cette recherche propose de faire un lien entre l'implémentation des ateliers de codage et de robotique dans les établissements scolaires pour deux raisons. La première s'étaye l'importance du développement des fonctions exécutives. La seconde s'appuie sur les similitudes dans la définition des fonctions exécutives froides et chaudes, d'une part, et dans les définitions du bricolage, de la création, du débogage, de la persévérance et de la collaboration, d'autre part. Ces cinq activités pourraient nécessiter de l'apprenant un contrôle de l'inhibition pour filtrer les informations présentes et choisir celle qui est pertinente et une mémoire de travail pour traiter et encoder les éléments importants et les utiliser aux besoins. De plus, elles pourraient nécessiter de l'apprenant de la flexibilité mentale et de la planification afin de trouver des solutions, de se corriger et d'être en capacité de créer de nouveaux modèles. Enfin, elles pourraient nécessiter les fonctions exécutives chaudes pour que le travail collaboratif entre les participants se déroule d'une manière adaptée et bénéfique à tous. Afin de vérifier la validité de ces réflexions, douze séances de codage et robotique ont été conçues et les fonctions exécutives des participants ont été évaluées pour examiner si une évolution a eu lieu suite aux douze séances.

Les chapitres qui suivent détailleront les hypothèses et la méthodologie suivie. Ensuite seront présentés les résultats de l'expérience effectuée.

IV. Hypothèses

L'intégration de la robotique au sein des programmes scolaires s'avère être bénéfique aux élèves au niveau de plusieurs domaines et plusieurs appels en faveur de cet apprentissage existent. Il y a d'une part les domaines en lien avec la technologie comme le développement des compétences du XXI^e siècle, la littératie numérique et le développement de la pensée informatique d'autre part les domaines en lien avec le développement de la cognition comme la résolution de problèmes.

Les gouvernements soutiennent l'intégration de l'apprentissage des TICE dans les programmes scolaires et non seulement leur utilisation comme outil de support pour l'apprentissage / enseignement. Ceci, dans le but de pousser les apprenants à utiliser convenablement et de comprendre les outils et applications numériques pour ensuite devenir créateur d'outils numériques utiles dans plusieurs domaines. Mais pour développer les compétences du XXI^e siècle dont la pensée informatique il faut stimuler et développer consécutivement le domaine cognitif, le domaine intra-personnel et le domaine interpersonnel.

Les études citées dans les parties précédentes montrent que les ateliers de codage et de robotique proposés en groupe pourraient grâce au bricolage, à la création, au débogage, à la persévérance et à la collaboration présenter un contexte favorable au développement de la littératie numérique et de la pensée informatique tout en permettant d'engager les fonctions exécutives froides et chaudes. Les fonctions exécutives froides pourraient être mises en jeu grâce à la compréhension de la consigne, à l'identification du but, au filtrage, stockage et restitution des informations pertinentes, au choix relatif à l'utilisation d'une stratégie adéquate, à la planification d'étape pour résoudre le problème, à l'autocorrection et à la créativité au niveau de la création de produits numériques. Les fonctions exécutives chaudes sont potentiellement mises en jeu grâce aux interactions avec les membres du groupe, aux compromis à faire, au contrôle et à l'adaptation du comportement face aux contraintes environnementales et à la tolérance des différences au niveau des opinions et de la manière d'agir.

Les outils numériques dont les tablettes tactiles, utilisés pour l'apprentissage sont plutôt perçus positivement par les apprenants parce qu'ils sont faciles à utiliser et rendent les cours plus agréables (Mulet, Van De Leemput, & Amadiou, 2019). La motivation que ces outils apportent n'empêche pas les jeunes apprenants à en percevoir les limites (Amadiou & Tricot, 2020) ; ainsi, la préférence des élèves envers ces outils ne garantit pas la réussite et la performance aux des activités d'où l'intérêt de concevoir convenablement les activités à présenter.

Premièrement, afin de diminuer la probabilité d'avoir des défauts méthodologiques au niveau de la conception du protocole d'entraînement proposé, cette étude a suivi le modèle conceptuel d'enseignement de la robotique de Komis, Romero et Misirli établi en 2017. De plus, cette étude s'est inspirée du constructionnisme et les ateliers se sont basés sur le concept d'exécution pour valoriser l'apprentissage. Un des points en compte aussi est le rôle de l'enseignant au niveau du support qu'il présente aux apprenants au niveau des stratégies de métacognition et de l'engagement actif. Enfin, les séances ont été présentées d'une manière fréquente à raison de trois séances par semaine. À partir de ce protocole d'intervention, cette étude avait comme objectif d'évaluer l'implication des différentes fonctions exécutives froides et chaudes au cours de la participation à des ateliers de codage et de robotique. De plus, cette étude avait comme but d'investiguer si ces ateliers seraient bénéfiques à tous les apprenants indépendamment de leur genre, du milieu d'où ils viennent ou de leurs compétences exécutives.

Ainsi cette recherche a pour ambition de discuter la question des effets des ateliers de codage et de robotique présentés en groupe sur les fonctions exécutives des participants, en prenant en compte leurs différences individuelles. Trois hypothèses sont étudiées dans cette recherche et des sous-hypothèses en découlent :

- 1. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu les fonctions exécutives des enfants scolarisés en CM1 et CM2.**

- 1.1. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu les fonctions exécutives froides des enfants scolarisés en CM1 et CM2.
- 1.2. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale des enfants scolarisés en CM1 et CM2.
- 2. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent les fonctions exécutives des enfants scolarisés en CM1 et CM2.**
 - 2.1. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent le contrôle inhibiteur chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.
 - 2.2. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent la flexibilité cognitive chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.
 - 2.3. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent la mémoire de travail chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.
 - 2.4. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent la résolution de problèmes chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.
 - 2.5. Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale des enfants scolarisés en CM1 et CM2.
- 3. L'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne dépend pas des conditions que présentent les participants.**
 - 3.1. L'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne dépend pas du niveau socioéconomique des participants.

- 3.2. L'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne dépend pas du genre des participants.
- 3.3. L'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne dépend pas de la participation antérieure à des séances de codage et de robotique.
- 3.4. L'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne dépend pas du nombre de catégories retrouvées au WCST (reflétant le profil exécutif).

V. Méthodologie

L'implémentation des séances de codage et de robotique s'est déroulée en Juin et Juillet 2020, entre deux périodes de confinement dues à la pandémie COVID-19. Durant cette période, les activités de groupe étaient permises à condition de respecter les mesures préventives adéquates³⁰ et les établissements scolaires étaient fermés. À cause de la pandémie et sachant qu'une seconde vague de contaminations était attendue, le protocole fut constitué de douze séances de travail, à raison de trois séances par semaine sur une durée de quatre semaines consécutives, et a été mis en place hors des établissements scolaires pour éviter d'en retarder l'implémentation. Nous avons démarré par un temps test T_0 suivi de quatre semaines contrôles où les enfants poursuivaient leurs activités régulières telles que permises dans le cadre de la pandémie. Ensuite un temps de test T_1 a eu lieu, suivi de quatre semaines d'implémentation du protocole et d'un temps de test T_2 . Idéalement le protocole aurait été composé de vingt séances étalées sur une période de sept semaines ce qui aurait demandé quatorze semaines entre les phases T_0 et T_2 .

Afin de répondre aux hypothèses exposées dans la partie précédente, cette partie présentera en un premier temps la population choisie, les variables étudiées et le modèle de recherche suivi. En un second temps, sera présenté le protocole de codage et de robotique conçu et appliqué en prenant en compte les stratégies mises en valeur par la littérature scientifique relativement au codage et à la robotique.

³⁰ Regroupement de moins de dix personnes, respect des gestes barrières et port des masques.

V.1. Population

Pour étudier le lien entre le codage et la robotique et le développement des fonctions exécutives, un protocole a été conçu et présenté à 35 participants constituant la population de cette étude. Les participants étaient des enfants âgés de 9 à 11 ans scolarisés en classe de CM1 et CM2, dans différents établissements scolaires des secteurs publics ou privés dans le gouvernorat du Mont-Liban. L'étude exclut les sujets ayant des maladies génétiques ou chromosomiques ou un trouble du développement intellectuel influençant le fonctionnement cognitif. Cette tranche d'âge a été choisie parce que les individus sont capables à cet âge de mettre en jeu toutes leurs fonctions exécutives d'une manière autonome. Nous avons opté pour un échantillonnage non probabiliste et volontaire compte tenu de la situation sanitaire. L'échantillonnage non probabiliste est souvent utilisé au niveau des recherches expérimentales lorsque des résultats représentatifs de la population cible ne sont pas exigés (Ayhan, 2011). Ce type d'échantillonnage privilégie une sélection pratique des unités de la population (Lovric, 2014). La méthode d'échantillonnage non probabiliste produit des résultats généralement semblables aux méthodes d'échantillonnages probabilistes (Fowler, *Survey Research Methods. Applied Research Methods.*, 2013). L'échantillonnage volontaire est constitué suite à une sollicitation ou invitation provenant de la part du chercheur. Ces personnes auxquels le chercheur fait appel, répondent à certains critères nécessaires à la participation à l'étude (Gumuchian & Marois, 2000). En effet, un appel a été lancé auprès de plusieurs municipalités du gouvernorat du Mont-Liban et 35 enfants validant les critères d'inclusion et d'exclusion ont répondu à l'appel. Sept groupes composés chacun de cinq enfants ont été constitués d'une manière aléatoire. Certains enfants se connaissaient (habitants d'un même quartier ou scolarisés dans un même établissement) et d'autres non ce qui peut ressembler aux groupes généralement composés en classe lors des travaux de groupe en début d'année lorsque les enfants ne se connaissent pas encore.

Les participants ont suivi les séances de codage et de robotique, et des variables ont été choisies pour répondre aux hypothèses formulées. Les variables sont présentées dans le chapitre qui suit.

V.2. Variables

Les variables étudiées dans cette recherche pour étudier le lien entre le codage et la robotique et le développement des fonctions exécutives sont les suivantes :

- 1) Variables dépendantes : les fonctions exécutives
 - le contrôle inhibiteur
 - la mémoire de travail
 - la flexibilité cognitive
 - la résolution de problèmes
 - l'autorégulation du comportement
 - la prise de décision affective
 - la cognition sociale.
- 2) Variables indépendantes : les conditions que présentent les enfants.
 - le tarif de scolarité (reflétant le niveau socioéconomique)
 - le genre
 - la participation antérieure à des séances de codage et de robotique
 - le nombre de catégories retrouvées au WCST (reflétant le profil exécutif).
- 3) Variables temps :
 - les mesures T_0 , T_1 et T_2 effectuées en 3 temps grâce aux tâches cognitives visant le contrôle inhibiteur, la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et la résolution de problèmes.
 - les observations qualitatives visant les fonctions exécutives ont été effectuées durant les troisièmes, sixièmes et neuvièmes séances.
- 4) Variables parasites :
 - motivation face au contenu des séances
 - motivation face au travail en groupe
 - métacognition.

Les indicateurs étant nombreux, nous présenterons d'une manière générale le type de collecte de données pour chaque variable dans le tableau suivant. Les outils seront décrits d'une manière plus détaillée dans les parties qui suivent.

Variables	Indicateurs	Technique de recueil des données	Outil de recueil des données
Variables dépendantes : Fonctions exécutives	Contrôle inhibiteur	Quantitative	<i>Flanker</i> <i>Go / No Go</i> Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Observations structurées
	Mémoire de travail	Quantitative	<i>N-back</i> Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Observations structurées Traces informatiques
	Flexibilité cognitive	Quantitative	<i>Hearts and Flowers</i> Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Observations structurées Traces informatiques
	Résolution de problèmes	Quantitative	Tour de Hanôï Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Observations structurées Traces informatiques
	Autorégulation du comportement	Qualitative	Observations structurées
	Prise de décision affective	Qualitative	Observations structurées
Cognition sociale	Qualitative	Observations structurées	
Variables indépendantes : conditions présentées par l'enfant	Tarif de scolarité	Quantitative	Questionnaire d'enquête
	Genre	Quantitative	Questionnaire d'enquête
	Participation antérieure à des séances de codage	Quantitative	Questionnaire d'enquête
	Nombre de catégories au WCST	Quantitative	WCST-64
Variables parasites	Motivation face au travail en groupe	Quantitative	Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Enregistrement audio
	Motivation face au contenu des séances	Quantitative	Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Enregistrement audio
	Métacognition	Quantitative	Questionnaire d'enquête
		Qualitative	Enregistrement audio

Tableau 3 : Type de collecte des données pour les différents indicateurs.

Les variables dépendantes choisies sont les constituants des fonctions exécutives. Les variables indépendantes choisies sont les conditions portées par les participants et qui rendent le groupe hétérogène. L'hétérogénéité du groupe permettra d'évaluer les effets des séances de codage et de robotique sur les fonctions exécutives des participants en testant si leurs conditions cognitives et socio-économiques ou si une participation antérieure à des séances de codage et de robotique influence leur évolution. Concernant le genre, certaines études montrent un effet sur le développement exécutif des enfants

(Wiebe, Espy, & Charak, 2008) alors que d'autres études ne montrent aucune influence (Duval, Bouchard, & Pagé, 2016). Puisque les études ne sont pas conclusives, tester les effets du genre sur l'évolution des fonctions exécutives suite au protocole implémenté paraît important. Les effets du niveau socio-économique sont également importants à évaluer car le statut socioéconomique des parents peut avoir une influence sur le développement des fonctions exécutives (Segretin, et al., 2014). De plus, les inégalités sociales sont associées à une absence d'usage numérique (Poyet, 2014) au sein d'une même génération (Octobre, 2009) : des personnes n'ayant pas accès aux outils numériques ont la plupart du temps un niveau socio-économique bas (Granjon, 2011). La participation antérieure à des séances de codage et de robotique et le niveau exécutif avant le démarrage des séances du protocole peuvent aussi influencer l'évolution des participants, et pour ces raisons il s'avère important d'évaluer un potentiel effet du niveau socio-économique, de la participation antérieure à des séances de codage ainsi que le niveau exécutif sur les résultats des participants.

Afin d'étudier les variables et de répondre aux hypothèses, nous avons opté à l'utilisation d'un modèle de recherche visant une approche méthodologique mixte pour la collecte et l'analyse des données. Le modèle de recherche est présenté dans le chapitre qui suit.

V.3. Modèle de recherche

Ce chapitre détaillera le modèle de recherche choisi pour étudier les effets que pourraient avoir le codage et la robotique sur le développement des fonctions exécutives. Nous avons fait le choix d'utiliser une approche méthodologique mixte pour la collecte et l'analyse des données. Cette approche ainsi que les outils de collectes des données quantitatives et qualitatives seront exposés.

V.3.1. Approche méthodologique mixte

L'approche méthodologique adoptée est mixte. Les données collectées sont en effet quantitatives et qualitatives ce qui permet d'avoir un aperçu plus précis et plus profond que celui fourni par les données exclusivement quantitatives ou qualitatives (Creswell & Creswell, 2018). Cette approche est aussi reconnue sous d'autres nominations telles que l'approche synthétique ou encore l'approche intégrative (Tashakkori & Teddlie, 2010). Cette méthode a émergé au début des années 90 et est depuis utilisée dans plusieurs domaines de recherche tels que l'éducation, les sciences de la santé, la sociologie, l'évaluation et la gestion (Creswell & Plano Clark, *Designing and conducting mixed methods research*, 2018).

Cette approche permet d'une part d'articuler entre plusieurs types de données, et d'autre part, d'expliquer les données quantitatives en s'appuyant sur les données qualitatives et inversement (Bryman, 2006). Ceci requiert certes de s'appuyer sur les théories de base des deux approches qualitatives et quantitatives.

Il existe trois conceptions de base des méthodes mixtes (Creswell & Plano Clark, *Designing and conducting mixed methods research*, 2018) :

- La conception convergente où la collecte et l'analyse de données qualitatives et quantitatives se font en une seule phase.
- La conception séquentielle explicative où la collecte et l'analyse de données quantitatives se font en une première phase suivie par la collecte et l'analyse des données qualitatives en une seconde phase relativement aux résultats identifiés au niveau de la phase 1.

- La conception séquentielle exploratoire où la collecte et l'analyse des données quantitatives et qualitatives se font en trois phases.

Au niveau de cette recherche, la collecte des données qualitatives et quantitatives s'est faite simultanément (elle sera décrite dans la partie suivante) et les techniques de mesure et d'intervention furent choisies en amont et ne dépendaient pas des résultats obtenus. La collecte et l'analyse des données qualitatives et quantitatives ont donc été effectuées en une seule phase et la conception adoptée est convergente ; elle est schématisée de la manière suivante (Creswell & Creswell, 2018) :

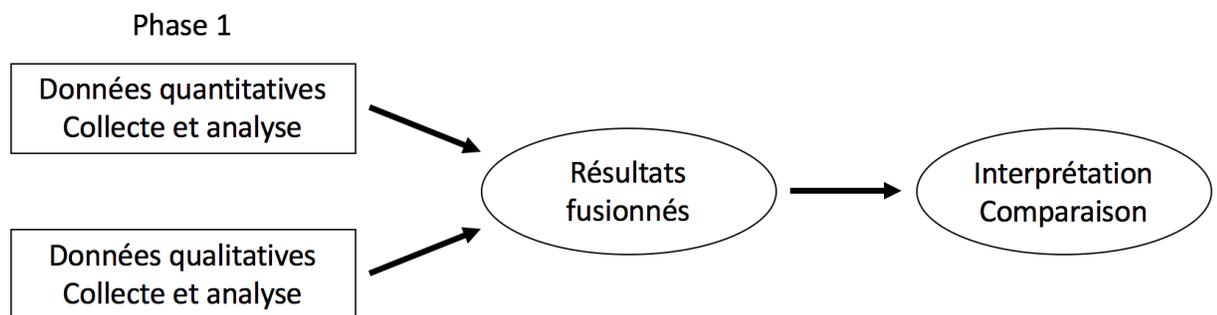


Figure 8 : Schéma représentant la collecte et l'analyse des données au niveau de l'approche méthodologique mixte à conception convergente.

La triangulation des sources de données effectuée dans les approches mixtes diminue le biais d'erreur présent d'une manière plus importante lorsqu'une approche de collecte unique est utilisée. Cette triangulation décrite par Jick (1979) permet donc d'améliorer la validité de l'étude effectuée.

V.3.2. Données quantitatives

Plusieurs instruments d'évaluation et de contrôle ont été utilisés pour mener cette recherche. Comme il a été déjà indiqué, certains outils sont quantitatifs et d'autres sont qualitatifs.

a) Test standardisé et tâches cognitives

L'évaluation grâce à un test standardisé et à des tâches cognitives a eu lieu en pré-test et post-test afin de valider l'efficacité du protocole d'entraînement conçu. Ces tests

permettent de décrire avec précision différents processus cognitifs liés aux structures cérébrales qui les sous-tendent. Ils ont la capacité de mesurer de façon standardisée et quantitative les aspects les plus complexes du comportement tel que l'attention, la mémoire et le raisonnement. Ils permettront en un premier temps de garantir que la performance des participants répond aux normes requises avant l'implémentation de l'atelier. En un second temps et en se basant sur les recherches en neuroéducation, ces épreuves servent à détecter une différence suite à l'implémentation d'un protocole pour permettre un regard nouveau sur les méthodes éducatives. Les scores obtenus à l'aide des tests formeront les variables dépendantes (Masson & Borst, 2017).

Le *Wisconsin Card Sorting Test* sera utilisé en un premier temps T_0 pour évaluer le fonctionnement exécutif des participants et le comparer aux normes requises à leur âge. Ensuite, les tâches cognitives suivantes seront utilisées en T_0 , T_1 et T_2 : *Flanker*, *Hearts and Flowers*, *Go/no-go*, *N-back* et Tour de Hanoi³¹.

1) Wisconsin Card Sorting Test (WCST-64)

Le *Wisconsin Card Sorting Test* permet de mesurer les fonctions exécutives et de détecter un éventuel dysfonctionnement au niveau du lobe frontal. En effet, la capacité de développer et de maintenir des stratégies appropriées de résolution de problèmes sont mises en jeu à travers des conditions de stimulation changeantes dans le but d'atteindre un objectif cible. Ceci requiert les compétences suivantes : la concentration, la planification, l'organisation, la flexibilité cognitive, l'inhibition et la mémoire de travail (Kongs, Thompson, Iverson, & Heaton, 2000). Le WCST-64 est une version abrégée de la forme standard du test qui contient 128 cartes et qui fut conçu par Heaton (1981). Ce test ne présente pas de biais culturel (Lung, Chen, & Shu, 2018) et peut donc être utilisé au Liban même s'il a été standardisé aux États-Unis.

Le WCST-64 peut être utilisé auprès des personnes âgés de 6 ans et demi à 89 ans dans un contexte de recherche ou dans un contexte clinique. Quatre cartes de base sont

³¹ Les tâches utilisées *Flanker*, *Go/no-go*, *N-back* et la Tour de Hanoi furent développés par Cognition Lab et la tâche *Heart and flowers* a été obtenue grâce au Pr Adèle Diamond et intégrée dans le logiciel de Cognition Lab. Les accès m'ont été offerts gratuitement étant doctorante et non boursière.

posées devant la personne à qui le test est administré et 64 cartes sont présentées au fur et à mesure de la passation. La consigne est la suivante (Kongs, Thompson, Iverson, & Heaton, 2000) :

Ce test n'est pas très commun parce que je n'ai pas le droit de te présenter les instructions. Je vais te demander d'associer les cartes de cette pile à une de ces quatre cartes. Tu prendras à chaque fois la carte posée à la surface et tu devras la placer sous la carte à laquelle elle correspond selon ton opinion. Je ne peux te dire comment associer les cartes je peux juste de dire si l'association exécutée est correcte ou incorrecte. Si tu exécutes une association incorrecte, tu gardes la carte posée à sa place et tu essayes de poser correctement la carte suivante. Le test n'est pas chronométré tu peux travailler tranquillement. (Page 5)

Ainsi, la personne testée doit associer ces 64 cartes à l'une des quatre cartes de base. Aucune consigne ou aide n'est proposée de la part de l'administrateur. Celui-ci doit uniquement répondre par correct ou incorrect et c'est à la personne testée de retrouver la solution et donc les critères requis au fil des essais. Suite à dix associations simultanées correctes, l'administrateur change de critère sans le dire au sujet testé. Ce dernier devra s'adapter au changement en prenant en compte le retour de l'administrateur sur l'association effectuée (correcte ou incorrecte). Les critères d'association sont la couleur, la forme et le nombre qui peuvent se répéter chacun deux fois. L'indicateur recueilli est le nombre de catégories complétées.

2) Flanker

Au niveau de la tâche de *Flanker*, plusieurs stimuli sont présentés et le sujet testé doit focaliser son attention sur le stimulus central tout en ignorant les stimuli qui sont présentés tout autour (Stewart & May, 2016). Le traitement involontaire de stimuli inutiles et distracteurs, mais spatialement proches de la cible centrale, détourne l'attention du sujet et l'empêche de filtrer adéquatement les informations utiles. Cette tâche mesure donc la capacité du sujet à se centrer sur un élément cible en ignorant les distracteurs (Eriksen & Eriksen, 1974). Cette tâche permet de mesurer le contrôle des interférences (Diamond A. , 2009) et peut être utilisée en mesures répétées (Schonert-

Reichl, et al., 2015). La version utilisée dans cette étude présente cinq poissons aux enfants, un poisson central et des poissons autour. L'enfant doit regarder le poisson central et détecter la direction vers laquelle il pointe. Si le poisson pointe à gauche il clique à gauche et si le poisson pointe à droite il clique à droite. Cette épreuve est administrée sur une tablette tactile. L'indicateur utilisé pour cette étude est le temps de réponse moyen présenté par chaque enfant au cours de la tâche.

3) Hearts and flowers

Cette tâche exige que les sujets apprennent et suivent deux règles différentes en alternance. Deux stimulus sont présentés, un cœur ou une fleur, chacun d'une manière isolée sur le côté droit ou gauche de l'écran. Si l'enfant voit un cœur, il doit appuyer du même côté que le cœur. Si une fleur apparaît, l'enfant doit appuyer du côté opposé à la fleur. Dans un premier temps on présente des cœurs ensuite des fleurs et dans un troisième temps on alterne entre cœurs et fleurs (Wright & Diamond, 2014). Cette tâche permet de mesurer la flexibilité cognitive et plus précisément la tâche d'alternance³² qui requiert de l'inhibition et de la mémoire de travail (Schonert-Reichl, et al., 2015). Elle peut être utilisée pour des mesures répétées (Stroth, et al., 2010). L'indicateur utilisé est la différence entre la moyenne des temps de réponse en contexte isolé et la moyenne des temps de réponse en contexte mixte ; ceci permet de mesurer l'effort requis pour la tâche d'alternance.

4) Go/no-go

Au niveau de la tâche *Go/no-go* des stimuli sont présentés à la suite, et c'est au sujet d'effectuer ou non une action relativement au stimulus présent. Cette tâche permet de mesurer primordialement le contrôle inhibiteur. Elle s'appuie aussi sur la mémoire de travail et la vitesse de traitement (Cragg & Nation, 2008). Au niveau de la tâche *go* où l'enfant doit effectuer une action, des flèches vertes défilent sur l'écran ; certaines pointent vers la droite et d'autres vers la gauche. L'enfant doit cliquer du côté vers lequel

³² Switching task.

la flèche pointe sur l'écran. Au niveau de la tâche *no go* la flèche verte devient rouge et l'enfant ne doit cliquer nulle part. Les flèches commencent toutes par apparaître vertes et certaines peuvent devenir rouges ; ceci se fait d'une manière aléatoire et l'enfant ne peut prédire ou anticiper le type de stimuli qui va se présenter (Raud, Westerhausen, Doley, & Huster, 2020). Ainsi les enfants doivent contrôler leurs actions et ne pas cliquer que si la flèche reste verte tout en étant assez rapide pour cliquer avant que la flèche ne disparaisse. Cette tâche peut être utilisée en mesures répétées (Lewis, Reeve, Kelly, & Johnson, 2017). Les deux indicateurs utilisés sont les fausses alarmes (erreurs au niveau de la tâche *no go*) et les omissions (erreurs au niveau de la tâche *go*).

5) N-back

La tâche *N-back* est couramment utilisée pour des fins d'évaluation de la mémoire de travail et fut introduite par Wayne Kirchner (1958). Cette tâche implique la présentation d'une série de stimuli (un stimulus à la fois) espacés de plusieurs secondes. Le participant doit décider si le stimulus actuel correspond à celui affiché depuis n essais. Le nombre n peut correspondre à un, deux ou trois stimuli précédents et les stimuli peuvent être des formes, des images, des lettres ou des nombres (Coulacoglou & Saklofske, 2018). Dans notre étude, le nombre n fut fixé à deux et les stimuli présentés étaient des images d'objets familiers (ordinateur, parapluie, jus, etc.). Cette tâche peut être utilisée en mesures répétées (Li, Long, Hu, Tang, & Chen, 2020). L'indicateur utilisé est le nombre de réponses correctes.

6) Tour de Hanoï

La tour de Hanoï a été créée par Edouard Lucas au XIX^e siècle et utilisée par Simon (1975) pour créer une tâche cognitive. La version à trois disques de la tour de Hanoï se compose de trois bâtons disposés horizontalement et de trois disques de tailles décroissantes. Au début de la tâche, tous les disques sont empilés sur le premier bâton, le plus grand disque en bas et les disques restants empilés en taille décroissante. Le but de la tâche est de déplacer tous les disques vers le troisième bâton en utilisant le bâton central et en respectant trois règles. Il ne faut déplacer qu'un seul disque à la fois, un

disque plus grand ne peut pas être placé sur un disque plus petit, et seuls les disques en surface peuvent être déplacés (Bull, Espy, & Senn, 2004). La version utilisée dans cette étude est numérique et effectuée sur une tablette tactile. En effet, la version sur tablette tactile est équivalente à la version originale (Robinson & Brewer, 2016). La tour de Hanoï peut être utilisée en mesures répétées (Resing, Vogelaar, & Elliott, 2020). L'indicateur est le nombre de mouvements effectués.

b) Démarche expérimentale adoptée

La collecte des données quantitatives se fait d'une manière expérimentale, avec un plan à mesures répétées (plan intra-sujets). « Dans ce type de plan, les participants sont soumis dans leur ensemble à toutes les modalités de la variable indépendante manipulée par le chercheur » (Borst & Cachia, 2018). Ainsi, la même cohorte de sujets est testée à plusieurs reprises, et les conditions d'intervention entre les différents temps de test changent, mais sont communes pour la totalité des participants. Ce plan est conseillé lorsque le nombre de participants est restreint, lorsque l'effet d'une intervention doit être décrit et lorsque l'utilisation de groupes indépendants pourrait biaiser les conclusions (Creswell & Creswell, 2018). Pour ces raisons, nous avons opté d'utiliser ce type de plan au niveau de cette étude. Les participants ont été tous testés en T_0 en utilisant le WCST-64 et les différentes tâches cognitives suivies par quatre semaines d'activités régulières. Au terme de ces quatre semaines, les tâches cognitives ont été répétées (en T_1) et les enfants ont entamé quatre semaines d'entraînement grâce à des séances de codage et de robotique. Ceci a été clôturé par la répétition des mesures en T_2 . Les différentes conditions sont représentées dans le schéma suivant :

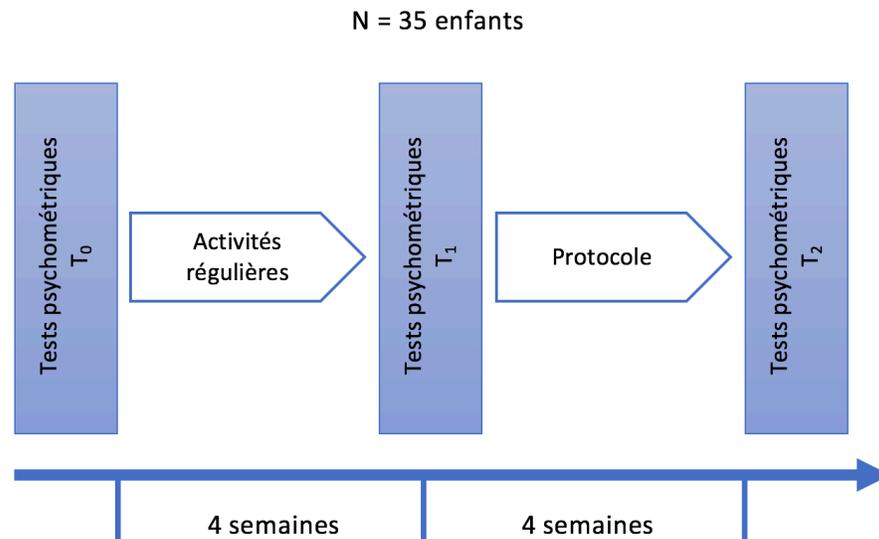


Figure 9 : Démarche expérimentale suivie avec un plan intra-sujets.

c) Questionnaire d'enquête

Un questionnaire d'enquête permettant une analyse transversale descriptive des plusieurs variables à la fois (Fowler, 2014) a été administré par la chercheuse au terme de la troisième séance du protocole (fin de la première semaine), afin de savoir si les enfants ont pris conscience de la mobilisation des fonctions exécutives mises en jeu lors des séances d'entraînement et s'ils sont motivés face au contenu des séances et au travail en groupe. Ces variables étant considérées comme des variables parasites, doivent être contrôlées (Gangloff, 2008). Le questionnaire d'enquête est ajouté en annexes. Les indicateurs relevés sont la prise de conscience de la mobilisation de la concentration, de la mémoire et de la planification ainsi que la motivation face aux séances d'entraînement du travail en groupe.

Les données quantitatives seront donc collectées grâce à un test de mesure des fonctions exécutives présenté avant le démarrage des séances, grâce aussi à des tâches cognitives présentées en trois temps, et enfin, grâce à un questionnaire d'enquête. Ces données seront fusionnées avec les données qualitatives exposées dans ce qui suit.

V.3.3. Données qualitatives

Afin d'effectuer un croisement triangulation avec les données quantitatives, des données qualitatives sont collectées et analysées. Les données qualitatives collectées dans le milieu naturel de l'entraînement permettent de décrire l'état spontané des enfants participant à l'étude sans leur donner l'impression d'être évalués (Marshall & Rossman, 2016). Le chercheur établit donc des interactions directes avec les participants ce qui donne accès à une seconde et différente perspective de traitement des données et permet une triangulation et une analyse plus pertinente en se basant sur plusieurs outils. Le « chercheur qualitatif » devient un instrument clé de mesure (Creswell J. W., 2016) puisqu'il collecte lui-même les données en observant le comportement des participants ou en effectuant des entretiens directs (Hatch, 2002).

Nous avons procédé par des observations structurées lors des entraînements effectués en trois temps et enregistrés sous forme de données visuelles et auditives. De plus nous avons gardé ses traces informatiques représentant les produits finaux des activités effectués. Ceci permettra de créer une perspective pluridimensionnelle (Leavy, 2017) en reliant entre la perspective personnelle du participant, les observations effectuées par le chercheur, les données quantitatives relevées et les bases théoriques présentes au niveau de la littérature (Saldaña, 2014).

Dans cette étude, les données qualitatives ont été assemblées grâce à des observations structurées, des traces informatiques et de courtes entrevues individuelles.

a) Les observations structurées des interactions en groupe.

Ces observations ont été effectuées d'une manière structurée durant les troisièmes, sixièmes et neuvièmes séances du protocole ; ces séances représentent respectivement la fin de la première, deuxième et troisième semaine d'entraînement. En effet, toutes les séances du protocole ont été filmées afin de diminuer la possibilité de réactivité chez les participants, mais ce sont les trois séances citées qui seront évaluées. La grille de Bales a été utilisée durant les sixièmes et neuvièmes séances du protocole. Bales (1950), suppose

qu'à chaque fois qu'un groupe se réunit pour résoudre des problèmes, une tension est créée chez les individus. Pour lui, c'est le fonctionnement du groupe qui permet de diminuer les tensions et de trouver une solution. La grille d'analyse des interactions dans un groupe développée (Delouée, 2018) par Bales se base sur l'observation des échanges, du contenu des informations et de la nature de la participation de chaque membre (Amado & Guittet, 2017) afin de pouvoir répertorier les profils des membres selon qu'ils soient émetteurs ou récepteurs et selon leur attitude envers les autres et envers la tâche en cours (Aubret & Blanchard, 2010). Comme il a été signalé, la grille présente douze critères et l'observation directe s'est inspirée de ces critères sans appliquer la méthodologie exacte de la grille qui nécessite un contexte différent et spécifique.

Selon Borst et Cachia (2018), « le chercheur observe l'ensemble des comportements, leur fréquence, et leur ordre d'apparition dans une situation donnée » pour ensuite analyser leurs liens avec d'autres instances ; c'est ce qui est effectué au niveau de cette étude. Les comportements qui nous intéressent sont ceux liés à l'autorégulation du comportement, à la prise de décision affective et à la cognition sociale mis en jeu grâce à l'entraînement. Notons que les tâches présentées au niveau du protocole d'entraînement et le travail en groupe permettent l'observation des six types de problèmes proposés par Bales.

b) Les traces informatiques

Afin d'enrichir et de trianguler les résultats obtenus nous avons opté pour inclure un traitement des traces informatiques. Ce sont les productions des participants obtenues durant la dernière semaine de l'entraînement ; elles permettent d'une part de citer les différentes compétences utilisées pour la réussite et d'effectuer d'autre part une comparaison entre les différents groupes afin de relever l'éventuelle présence de différences.

c) Les courtes entrevues individuelles

De courtes entrevues individuelles avec trente des participants ont eu lieu suite aux quatre semaines d'entraînement et leurs propos ont été enregistrés sous forme audio.

Ces entretiens permettent d'obtenir le point de vue des participants par rapport à l'entraînement et de mettre leurs propres mots sur leur vécu.

L'utilisation de ces trois techniques qualitatives de collecte des données peut constituer un avantage (Karsenti & Bugmann, 2017) puisqu'elles sont additionnées au reste des techniques quantitatives mises en place.

Cette partie a permis de présenter la population, les variables, l'approche méthodologique et les outils de collecte de données. Cette méthodologie a été suivie afin d'évaluer les effets que pourraient avoir un protocole de codage et de robotique sur le développement des fonctions exécutives. Le dernier chapitre de cette partie permettra de détailler le protocole appliqué dans cette recherche.

V.4. Protocole de codage et de robotique

Le protocole appliqué au niveau de cette recherche a été conçu en respectant le modèle de scénarisation pédagogique de Komis et ses collaborateurs ainsi que les stratégies identifiées au niveau du constructionnisme et du développement de la pensée informatique.

Comme il a été mentionné auparavant, le protocole de codage est constitué de douze séances présentées à raison de trois séances hebdomadaires. Les objectifs du protocole correspondent aux compétences enseignées en CM1 et CM2 puisées des différents programmes appliqués par les écoles au Liban. Les pratiques pédagogiques en lien avec l'apprentissage du codage et de la robotique ont été mises en place. Ainsi, les apprenants étaient poussés à construire et à bricoler, le matériel utilisé était ludique et des situations réelles furent proposées. De plus un travail collaboratif a eu lieu et un niveau de difficulté progressif de résolution de problèmes fut présenté par l'enseignant-facilitateur qui a aussi favorisé la métacognition. Les objectifs directs des séances du protocole sont les suivants :

- 1) Orienter et déplacer un objet en utilisant des repères
- 2) Orienter et déplacer un objet en effectuant des estimations de mesures
- 3) Orienter et déplacer un objet en effectuant des rotations mentales (en s'appuyant sur les concepts de latéralisation³³ et de réversibilité³⁴)
- 4) Mettre en avant une démarche d'essais/erreurs
- 5) Mener une activité d'observation et de réflexion
- 6) Traduire les schémas récurrents en boucles
- 7) Repérer les enchaînements logiques et les traduire en instructions conditionnelles
- 8) Relire un plan et le corriger si nécessaire
- 9) Analyser un problème complexe et le découper en sous-problèmes

Le protocole implémenté est décrit dans le tableau suivant :

³³ Acquisition de la connaissance des concepts droite et gauche sur soi.
³⁴ Reconnaître le côté droit ou gauche chez une personne en face de soi.

		Objectifs ciblés	Matériel utilisé	Descriptions des activités
Semaine 1	Séance 1	1-2-4-5	Robot de sol : Sphero Bolt Mini Application de codage : Sphero EDU	L'animateur pose Sphero sur le sol et montre aux participants la procédure correcte pour bouger le robot : il faut tout d'abord utiliser le bouton « Viser » et effectuer une rotation du robot jusqu'à ce que le point lumineux soit en face du participant. Ensuite, sur un plan quadrillé il faut dessiner un parcours sans lever la main et le robot le suivra. Chaque enfant à son tour dessinera le parcours de son choix. Ensuite une série de défis est proposée au groupe. Premier défi : déplacer le robot en effectuant des formes communes (carré, cercle, cœur, diamant...) Deuxième défi : faire tomber des quilles placées à des distances qui varient en faisant rouler le robot. Troisième défi : une carte est posée sur le sol et un point d'arrivée et un chemin sont fixés. Les participants doivent reproduire le chemin en utilisant le robot.
	Séance 2	3-4-5-6	Site web de codage : Code.org Type de codage : <i>drag and drop</i> Cours 3, niveau 2, puzzles 2-3-4-5-7-8	Mener le zombie vers le tournesol et éviter les plantes carnivores en respectant le nombre maximal de blocs indiqué. Suite à la résolution du puzzle 5, l'animateur explique aux participants ce qu'est une boucle de récurrence et demande aux participants de modifier la solution du niveau 5 en utilisant la boucle et d'effectuer directement les niveaux 7 et 8 en utilisant les boucles de récurrence. https://studio.code.org/s/course3/stage/2/puzzle/2
	Séance 3	3-4-5-7	Site web de codage : Code.org Type de codage : <i>drag and drop</i> Cours 3, niveau 7, puzzles 1-2-3-4-5-6	Mener l'abeille vers la fleur et répondre aux consignes conditionnelles proposées. La lecture de la consigne est essentielle et les participants utilisent des boucles de condition. https://studio.code.org/s/course3/stage/7/puzzle/1

Semaine 2	Séance 4	4-5-7-8	Logiciel : Scratch Type de codage : <i>drag and drop</i>	<p>Les étapes suivantes sont effectuées et expliquées une à une. Ensuite c'est aux participants de les reproduire.</p> <p>Choisir un personnage, et coder les déplacements vers les quatre directions. Chaque direction liée à une des 4 flèches du clavier. Choisir ensuite un second personnage et coder un changement de costume lorsque ce dernier est touché par le premier personnage.</p> <p>Les participants sont prévenus du fait que ces commandes sont des commandes de base et qu'il faut comprendre leur fonctionnement afin de pouvoir les utiliser pour créer des jeux.</p> <p>Des boucles de condition de type si/donc sont utilisées. Les enfants apprennent aussi à choisir un fond d'écran, à effectuer différents types de déplacements et à fixer la localisation de départ des objets.</p>
	Séance 5	4-5-7-8	Logiciel : Scratch Robot de sol : WeDo 2.0 de Lego Type de codage : <i>drag and drop</i>	<p>Construire une voiture (robot de sol) en suivant les étapes et instructions visuelles. Relier la voiture grâce au <i>Bluetooth</i> au logiciel Scratch.</p> <p>Coder les déplacements de la voiture dans deux directions en les liant aux flèches du clavier grâce à des boucles de conditions. Ajouter un son.</p>
	Séance 6	4-5-7-8	Logiciel : Scratch Kit : Makey Makey et papier aluminium Type de codage : <i>drag and drop</i>	<p>Expliquer aux participants le fonctionnement du Makey Makey. Leur demander ensuite de choisir un fond d'écran et cinq instruments de musique. À chaque instrument correspond une flèche et un son spécifique. Ceci est codé grâce à des boucles de condition. Relier les fils conducteurs aux papiers en aluminium et jouer une symphonie.</p>
Semaine 3	Séance 7	4-5-7-8	Logiciel : Scratch Robot de sol : WeDo 2.0 de Lego Type de codage : <i>drag and drop</i>	<p>Construire un robot qui représente des immeubles. Un tremblement de terre a lieu et les immeubles bougent et tombent. Coder les tours que doit effectuer le moteur et régler une vitesse croissante pour que les immeubles commencent par bouger et qu'ensuite elles tombent.</p>
	Séance 8	4-5-7-8	Logiciel : Scratch Robot de sol : WeDo 2.0 de Lego avec le capteur de distance	<p>Choisir un personnage et un son. Expliquer aux participants comment fonctionne un capteur de distance. Le son doit se déclencher lorsque la main d'un des participants est à 2 cm du capteur. Coder ceci en utilisant les boucles de conditions. Le répéter pour différents personnages en</p>

			Type de codage : <i>drag and drop</i>	ajoutant un changement de costume au son déclenché et des déplacements de différents types.
	Séance 9	4-5-7-8	Logiciel : Scratch Robot de sol : <i>WeDo 2.0</i> de Lego avec le capteur de distance Type de codage : <i>drag and drop</i>	Construire un robot contenant un capteur en suivant les instructions visuelles. Le robot qui marche dans deux directions, s'arrête lorsqu'un obstacle est à 5 cm du capteur, émet un son lorsqu'il change de direction et émet un son différent lorsqu'il s'arrête. La voiture est représentée sur scratch et un personnage est présent. Des messages sont envoyés pour démarrer de nouveaux scripts. Les participants doivent coder les déplacements, les sons à émettre et les messages.
Semaine 4	Séance 10	5-7-8-9	Logiciel : Scratch Robot de sol : <i>WeDo 2.0</i> de Lego avec le capteur de distance Type de codage : <i>drag and drop</i>	Montrer aux participants une vidéo contenant un robot qui effectue des déplacements et émet des sons. Ils doivent construire le même robot et reproduire les déplacements et sons d'une manière semblable à la vidéo. Ils peuvent visionner la vidéo autant de fois qu'ils en ont besoin durant le codage.
	Séance 11	5-7-8-9	Logiciel : Scratch Robot de sol : <i>WeDo 2.0</i> de Lego avec le capteur de distance Kit : Makey Makey et papier aluminium Type de codage : <i>drag and drop</i>	Les participants doivent créer leur propre jeu ou vidéo. Ils peuvent utiliser le matériel qu'ils veulent, mais des conditions doivent être respectées. Le jeu doit contenir plusieurs personnages, des messages, des sons, des changements de costumes et des déplacements. La créativité est mise en jeu.
	Séance 12	5-7-8-9	Logiciel : Scratch Type de codage : <i>drag and drop</i>	Montrer aux enfants une vidéo contenant un écran de fond et différents personnages et objets. Il existe des déplacements, des sons, des changements de costume, des messages, etc. Ils doivent reproduire la même séquence. Chronométrer le temps requis.

Tableau 4 : Description du protocole implémenté

VI. Relevé des données collectées

Après avoir présenté la méthodologie mise en place pour répondre aux hypothèses et collecter les données, cette partie présente les résultats obtenus. La méthodologie mixte adoptée dans cette étude a permis de collecter plusieurs types de données. Nous commencerons par présenter les données quantitatives et ensuite seront présentées les données qualitatives.

VI.1. Relevé des données qualitatives

Les données qualitatives recueillies sont de plusieurs types et seront partagées en trois parties pour l'analyse. Ces données mettent en jeu les fonctions exécutives froides ainsi que les fonctions exécutives chaudes. Ces dernières n'ont pas été analysées par les données quantitatives puisqu'elles nécessitent une observation du travail en groupe. La première partie relatera des observations structurées effectuées, la deuxième exposera des produits finaux obtenus (les traces informatiques) et la dernière permettra de transcrire les enregistrements en audio.

VI.1.1. Relevé des observations structurées des interactions en groupe

Nous exposerons les comportements exhibés par les participants lors des observations structurées menées durant les troisième, sixième et neuvième séances de la phase d'entraînement en mettant en relief les changements observés entre la sixième et la neuvième séance grâce à la grille de Bales. Nous démarrerons par les comportements relatifs aux fonctions exécutives froides et ensuite poursuivrons par les comportements relatifs aux fonctions exécutives chaudes en citant tout d'abord l'hypothèse relative à la partie détaillée.

a) Observations effectuées durant la troisième séance d'entraînement :

Le travail effectué durant cette séance consistait à mener un avatar vers une cible en utilisant des blocs de conditions pour répondre aux défis proposés tout en évitant les obstacles. La lecture de la consigne est essentielle parce que l'image présente ne portait pas toutes les informations nécessaires pour comprendre les défis proposés.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu les fonctions exécutives froides des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Durant cette séance, la tâche proposée requérait d'une part, l'utilisation d'un concept de codage appris durant la deuxième séance qui est la boucle de récurrence représentée par un bloc rose et, d'autre part, l'utilisation d'un nouveau concept de codage la boucle conditionnelle représentée par un bloc bleu. L'instruction donnée sur le haut de la page exposait des indices implicites sur la manière de résoudre la tâche et la consigne fut de lire l'instruction et de demander l'aide de l'animateur en cas de besoin. Les cinq groupes d'enfants ont omis la lecture de cette instruction et se sont basés sur l'illustration présente et sur l'exercice effectué durant la deuxième séance pour résoudre la tâche demandée. En effet, ils ont utilisé la boucle de récurrence et les blocs de déplacements sans utiliser la boucle conditionnelle et ceci a mené vers un échec au niveau de la tâche. Trois types de réactions émergèrent suite à cet échec. Certains participants ont directement demandé l'aide de l'animateur sans lire la consigne, d'autres ont lu la consigne et le reste a fait attention à la présence du nouveau bloc bleu et a déduit qu'il fallait l'utiliser sans comprendre son utilité. La même directive a été donnée suite au premier et au troisième type de réactions, il fallait lire la consigne. Durant la suite des activités proposées, la majorité des participants lisaient la consigne puisque la réponse à coder dépendait non seulement de la forme du labyrinthe proposé, mais aussi des nuances présentes dans les instructions. Certains enfants restaient tout de même impulsifs et agissaient sans prendre un temps de réflexion avant l'exécution. Notons que la grande majorité des enfants ont pu utiliser les connaissances acquises suite à la deuxième séance qui sont les boucles de récurrence, les blocs de déplacement et la direction de rotation d'une manière correcte. L'utilisation du nouveau bloc bleu et la lecture de la consigne confirment l'apport du contrôle inhibiteur, les rotations, l'autocorrection et la compréhension des inférences au niveau de la consigne témoignent de l'implication de la flexibilité cognitive, l'application de la consigne et le choix des blocs soutiennent la mise en jeu de la mémoire de travail et la chronologie au niveau de

l'insertion des blocs atteste de l'effet des compétences de résolution de problème et de planification.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Nous notons que peu d'interactions ont eu lieu entre les membres des groupes. Les discussions étaient rares et lorsqu'elles étaient présentes, elles étaient brèves et exclusivement centrées sur l'exécution de la tâche requise. La motivation était visible surtout au niveau de la découverte des nouveaux niveaux présentés. Les participants travaillaient à tour de rôle d'une manière sérieuse et appliquée. Ils mettaient assez d'efforts dans l'exécution des tâches, s'observaient les uns les autres et respectaient les règles du cadre. Entre adaptation au cadre, au matériel, aux membres du groupe et aux mesures sanitaires adoptées à cause de la COVID-19, les participants discutaient très peu entre eux et posaient des questions brèves et concises à l'animateur à l'exception de trois personnes présentes dans deux groupes différents. Dans le groupe 4, Anna³⁵, âgée de 9 ans 1 mois montrait une angoisse envers l'exécution de la tâche et demandait de l'aide ainsi que l'approbation de la part de l'animateur avant de réaliser l'étape de codage. L'enfant verbalisait sa peur d'effectuer des erreurs ou de ne pas avoir compris la consigne alors qu'elle avait les bonnes réponses et suivait les bonnes démarches. Dans le groupe 5, deux participants s'étaient fait remarquer. Le premier, Bilal un garçon âgé de 9 ans, s'énervait lorsque ses camarades effectuaient des erreurs ou prenaient leurs temps au niveau de la réalisation de la tâche alors qu'il n'avait pas lui-même les réponses exactes tout le temps. Dans ce même groupe, Chirine une fille âgée de 11 ans 10 mois, donnaient tout le temps des directives à ses camarades d'une manière respectueuse, mais constante. Cette dernière comprenait rapidement les consignes et trouvait directement les bonnes solutions. Une tension commençait à s'installer entre ces deux participants et

³⁵ Les prénoms des participants ont été modifiés, les prénoms figurant au niveau de cette thèse ne sont donc pas les vrais.

Bilal se plaignait ouvertement de l'attitude Chirine. Tous les deux imposaient leur attitude et leurs opinions au sein du groupe.

Ces observations témoignent de l'implication de l'autorégulation du comportement puisque la majorité des participants contrôlaient leurs actions et leurs réactions dans une situation nouvelle sur laquelle ils n'ont pas assez d'informations.

b) Observations effectuées durant la sixième séance d'entraînement :

Durant cette séance, les participants devaient utiliser le même logiciel qu'ils avaient utilisé durant les séances 4 et 5, mais en l'associant à un nouvel outil, le *Makey Makey*. Ils devaient écrire un code grâce à des boucles de condition pour jouer une symphonie avec différents sons.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu les fonctions exécutives froides des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Durant la sixième séance d'entraînement, les participants devaient utiliser les mêmes commandes que celles apprises et appliquées durant la quatrième et la cinquième séance, mais dans un contexte différent et en utilisant un matériel différent. Le codage effectué devait leur permettre de faire apparaître des sons d'instruments différents qui dépend de quel papier aluminium ils allaient toucher grâce à l'outil Makey-Makey. Suite à l'annonce de la consigne, cinq types de comportements au niveau de l'exécution étaient observables ; au moins deux de ces types figuraient dans un même groupe et certains participants présentaient plus d'un comportement de ceux décrits dans ce qui suit. Le premier type est concrétisé par des participants qui ont directement compris la consigne et fait le lien avec les deux séances précédentes. Ces participants ont surtout mis en jeu la flexibilité mentale pour la généralisation et l'adaptation aux changements proposés et de la mémoire de travail pour la restitution de l'information. Le deuxième type est représenté par les participants qui ont pris un temps de réflexion et de traitement de l'information donnée avant de démarrer le traitement de la tâche à exécuter et en prenant le temps de chercher les blocs appropriés et de les utiliser convenablement. Ces comportements témoignent de l'intervention du contrôle inhibiteur tant au niveau des

interférences qu'au niveau des tâches de type *Go / No Go*. De plus, ces apprenants ont fait preuve de capacités de résolution de problèmes et de planification puisqu'ils ne se rappelaient pas d'une manière exacte des étapes à entreprendre. Le troisième type de comportements une démarche par essai-erreur a été fréquemment observée durant cette séance. Les enfants exhibant ce comportement exploraient et essayaient les options présentes sans prendre un temps de réflexion et effectuaient ensuite des déductions et des modifications. Pouvoir changer de stratégie d'exécution lorsque la stratégie utilisée s'avère fautive est relié à la flexibilité mentale. Le quatrième type de comportement est celui des personnes qui veulent travailler à la place des autres ou qui ne respectent pas le tour de rôle. Ceci témoigne de peu d'inhibition comportementale et est aussi en lien avec les fonctions exécutives chaudes des individus. Le dernier type de comportements observé et le plus rare est celui des participants qui semblent utiliser le logiciel et les blocs de codage pour la première fois tellement leur anxiété était visible et qui n'arrivaient pas à trouver les actions à entreprendre. Ces derniers ont directement demandé l'intervention de leurs camarades ou de l'animateur, ils ont eu donc du mal à s'appuyer sur les connaissances antérieures pour résoudre une tâche similaire à une autre déjà exécutée, mais dans un nouveau contexte.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Les observations effectuées durant la sixième séance d'entraînement ont été inspirées par les comportements cités au niveau de la grille de Bales. Ceci a été possible parce que les participants avaient commencé à développer des liens entre eux. Les interactions étaient plus nombreuses que durant la troisième séance et les profils des participants commençaient à être perceptibles. Les blagues et les plaisanteries étaient très fréquentes durant cette séance. Plusieurs participants dans tous les groupes exhibaient ces comportements et arrivaient à capter l'attention de leurs camarades ou à créer des tentatives de communication et d'interaction. Ceci a permis d'engendrer une

ambiance agréable pour le travail et d'augmenter les discussions relatives à l'exécution de la tâche, ainsi que la collaboration entre les différents membres du groupe. Cette capacité à harmoniser l'ambiance et à diminuer la tension implique la mise en jeu de l'autorégulation du comportement et du traitement des émotions grâce à la cognition sociale. De plus, nombreux participants donnaient fréquemment leurs avis ou des suggestions d'une manière adéquate et respectueuse les uns aux autres et manifestaient leur accord ou leur désaccord concernant les actions à entreprendre, la manière de réfléchir ou les commandes à choisir. D'autre part, certains participants demandaient de l'aide aux autres membres du groupe et d'autres guidaient et informaient leurs camarades sur les actions à exécuter. Ces comportements mettent en jeu les émotions, la motivation, le jugement et l'empathie et mettent ainsi en valeur l'implication de l'autorégulation du comportement, la cognition sociale et la prise de décision affective. Les comportements observés n'étaient toutefois pas uniquement des comportements positifs. Durant cette séance des tensions ont été aussi observées. Certains enfants ne toléraient pas les temps de réflexion ou les essais-erreurs nécessaires à leurs camarades et faisaient des commentaires irrespectueux envers le reste des participants. De plus, quelques participants n'acceptaient pas l'avis d'autrui ou les stratégies différentes de résolution du problème ce qui créait quelques tensions au niveau du groupe et augmentaient l'anxiété envers la résolution de la tâche chez quelques-uns. Tous ces comportements relèvent de l'absence de la mise en jeu des fonctions exécutives chaudes par certains participants.

Quelques comportements particuliers furent remarquables au niveau de cette séance, dévoilés dans le même groupe et envers la même personne. Nous avons déjà mentionné Anna, jeune fille faisant partie du groupe 4. En effet, Anna montrait durant cette séance aussi, une frustration envers la réalisation des tâches causant l'émergence de deux comportements. Le premier est exhibé par Daria âgée de 11 ans qui se montrait insolente envers sa camarade. Le second comportement est présenté par Elena âgée de 10 ans qui aidait sa camarade, l'encourageait, la guidait et refusait les commentaires

insolents. Elle prenait sa défense et s'assurait que le reste du groupe lui donnait le temps de réfléchir et de trouver la solution.

Chirine et Bilal (groupe 5), mentionnés dans la partie précédente, continuaient à imposer leurs opinions au sein du groupe. Toutefois, la tension exhibée de la part de Bilal était devenue plus pointue. En début de séance, le garçon parlait avec un ton cassant et utilisait une voix assez haute lorsqu'il voulait donner son avis ou lorsque son tour arrivait. Il arrachait la souris de la main de ses camarades de groupe d'une manière brusque. Fares, un participant dans le même groupe a demandé à Bilal d'une manière calme et confiante de ne plus s'énerver et de lui donner le temps de réfléchir avant qu'il ne commence à coder et a demandé à Chirine de ne plus l'aider. Suite à l'intervention de Fares, nous n'avons plus noté d'intervention inconvenable dans le groupe durant cette séance. Le groupe a poursuivi le codage et les deux participantes restantes ont aussi commencé à exprimer leurs opinions avec confiance. Il faut noter, qu'en tant qu'animatrice, je tentai autant que possible d'atténuer les tensions, de rediriger les discussions et d'encourager les jeunes à s'exprimer.

Ainsi, certains participants ont fait preuve d'autorégulation du comportement, de bonnes compétences de cognition sociale et ont pris des décisions affectives positives d'une manière spontanée. Tandis que d'autres, avaient besoin de l'intervention de l'animateur afin d'être capables d'adapter leurs comportements et de contrôler leurs réponses face aux contraintes environnementales dans laquelle ils se trouvent. Ces comportements contradictoires au sein des groupes mettent en évidence l'importance du développement de l'autorégulation du comportement, de la cognition sociale et de la prise de décision affective pour le bon déroulement des interactions et pour la réussite au niveau de la collaboration. Permettre aux jeunes de travailler en groupe est un moyen de les aider à développer leur empathie, leur aptitude communicationnelle et l'expression de leurs émotions.

c) Observations effectuées durant la neuvième séance d'entraînement :

Durant cette séance, les participants ont construit un robot en forme de voiture, contenant un capteur. Le robot devait marcher dans deux directions, s'arrêter lorsqu'un

obstacle est à 5 cm du capteur, émettre un son lorsqu'il change de direction et émettre un son différent lorsqu'il s'arrêtait. Des messages devaient être envoyés pour démarrer de nouvelles commandes.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu les fonctions exécutives froides des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

La neuvième semaine d'entraînement supposait l'utilisation de plusieurs notions déjà acquises ainsi que l'apprentissage d'une nouvelle commande qui consiste en l'envoi d'un message simple grâce au bloc *envoyer un message* à travers le logiciel Scratch. Les instructions concernant l'utilisation de cette commande ont été données dans un contexte isolé sans faire le lien avec la tâche à accomplir. Ensuite les consignes de la tâche à accomplir ont été données aux participants. Pour utiliser la commande message, les participants ont eu besoin de mettre en jeu la mémoire de travail puisque le contexte d'application n'était pas identique au contexte d'apprentissage de la nouvelle information. De plus, afin de retrouver la catégorie et la localisation des blocs à utiliser, les participants devaient impliquer le contrôle inhibiteur et la mémoire de travail ; et enfin, pour réussir à accomplir la tâche en utilisant les commandes déjà apprises d'une nouvelle manière et en ayant un but à accomplir les participants ont mis en jeu la flexibilité mentale et la résolution de problèmes. Des différences individuelles sont observables au niveau de cette séance. Certains participants retrouvent les solutions ou comprennent les instructions rapidement, d'autres ont besoin d'un coup de main pour réussir la tâche proposée. Plusieurs participants se montrent assez créatifs et tentent d'ajouter ou de modifier certains éléments en accomplissant l'activité alors que d'autres préfèrent suivre les directives d'une manière exacte. Les observations durant la réalisation de la tâche montrent que profils exécutifs ne sont certainement pas homogènes, mais que malgré ces différences les participants apprennent les uns des autres. Durant l'accomplissement de la tâche, ce sont les participants qui s'entraidaient et qui se corrigeaient sans avoir besoin d'une intervention externe que pour rediriger les comportements problèmes.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente permettent d'améliorer l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Durant cette séance, les observations montrent que les participants étaient très actifs, ils communiquaient énormément, leurs voix montraient de l'entrain et de la motivation et les interactions entre eux étaient continues. De plus, ils sollicitaient très peu l'aide de l'animateur qui fut remplacée par des demandes d'informations, de propositions et de suggestions entre les participants eux-mêmes. Les interactions se faisaient majoritairement d'une manière convenable et respectueuse. En effet, même les désaccords étaient généralement formulés d'une manière appropriée et les participants faisaient l'effort de trouver les mots corrects pour exprimer leurs émotions, pensées, besoins ou avis. Nous notons que plusieurs enfants prenaient la défense de leurs camarades lorsque dans certains cas rares des participants se montraient insolents ou irrespectueux. Plusieurs participants encourageaient leurs camarades à participer et à communiquer leurs opinions ou à prendre le temps de tenter de nouvelles stratégies. Ceci ne peut avoir lieu sans l'intervention de l'autorégulation du comportement, de la prise de décision affective et de la cognition sociale. Des comportements à noter ont eu lieu durant cette séance, certains provenant de participants déjà cités et d'autres non. Nous démarrons par le groupe 4 où l'angoisse présentée par Anna était toujours présente, mais avait considérablement diminué. En effet, elle tentait avec plus de confiance à trouver les bonnes étapes à accomplir, surtout lorsque la commande lui est familière. De plus, elle posait des questions au reste des membres du groupe lorsqu'elle avait besoin d'aide et s'opposait à toute forme d'insolence d'une manière assurée. Daria, qui formulait durant les séances précédentes des commentaires irrespectueux n'a pas arrêté de le faire, mais la fréquence des commentaires était beaucoup moins forte. Cette dernière entretenait de bonnes relations avec le reste des participants et travaillait activement et avec motivation durant les séances. Les trois autres participantes, dont Elena encourageaient Anna et c'est ce qui l'a probablement aidé à faire face aux commentaires qui la gênaient.

Parmi les participants du groupe 7, Gabriella une participante âgée de 9 ans, très assidue et timide, a voulu me parler avant la séance pour me dire qu'elle ne trouvait pas l'opportunité de donner son avis durant l'exécution des tâches et que ces camarades ne l'écoutaient pas parce qu'elle avait la voix basse. Nous nous sommes mises d'accord sur la manière dont elle devait agir et elle l'a fait durant le travail en groupe. Elle était fière et heureuse d'avoir réussi à partager son avis et à se faire entendre par le reste des participants. Dans ce même groupe, Heaven âgée de 10 ans montrait un excès de motivation, plus pesant que celui exhibé durant les séances antérieures. Elle avait envie que son groupe soit le plus rapide et le plus doué et encourageait ses camarades à faire de même. Cette motivation s'était transformée en pression exercée sur ses camarades. Certains participants aimaient l'ambiance créée par Heaven, mais d'autres comme Gabriella avait besoin d'un environnement plus calme afin de réussir à partager leurs avis et leurs opinions. L'intervention de Gabriella a permis à sa camarade de groupe Isabelle de s'exprimer elle aussi et donner des suggestions. Malgré l'hétérogénéité des profils des enfants dans ce groupe, un équilibre a été possible et les jeunes ont pu adapter leurs réponses en fonction des comportements du reste du groupe.

Les comportements observés durant cette séance mettent en valeur l'importance que possède l'exposition à un travail de groupe par rapport au développement des comportements d'adaptation, de communication et d'interaction qui ne sont possibles sans la mise en jeu des différentes fonctions exécutives chaudes. Certains participants qui montraient durant les séances précédentes très peu de capacités d'autorégulation du comportement, de cognition sociale ou de prise de décision affective adéquate ont pu durant cette séance mettre ces compétences en œuvre, soit en osant des interactions appropriées au sein du groupe, soit en diminuant la fréquence ou l'ampleur des comportements inappropriés cités auparavant.

Afin de montrer que les séances de codage et de robotique ont aussi permis une amélioration au niveau des fonctions exécutives chaudes, les tableaux présentés dans ce qui suit ont été élaborés. Ils montrent combien de participants ont exhibé les comportements cités au niveau de la grille de Bales durant la sixième et la neuvième

séance. Nous observons entre la sixième et neuvième séance une augmentation au niveau des comportements d'interactions et de communication et une baisse des comportements de résistance et d'opposition.

Problème	Comportement	Séance 6	Séance 9
		Nombres d'enfants exhibant le comportement	Nombres d'enfants exhibant le comportement
Communication / orientation	Informe les autres	4	14
	Recherche des informations	6	14
Évaluation	Donne son opinion	7	13
	Demande une opinion	4	17
Contrôle	Donne une suggestion	7	15
	Demande une suggestion	14	23
Décision	Manifeste son accord	14	15
	Manifeste son désaccord	5	3
Tension	Atténue les tensions	14	14
	Manifeste de la tension	7	2
Intégration	Montre de la solidarité	1	7
	Montre de l'antagonisme	7	2

Tableau 5 : Nombres d'enfants exhibant les comportements cités dans la grille de Bales.

Fonction du comportement	Séance 6	Séance 9
	Nombres d'enfants exhibant au moins un comportement par type de fonctions	Nombres d'enfants exhibant au moins un comportement par type de fonctions
Réactions positives au niveau social, émotionnel et expressif	23	27
Réactions adaptatives et instrumentales par rapport à la tâche	10	23
Questions adaptatives et instrumentales par rapport à la tâche	19	28
Réactions négatives au niveau social, émotionnel et expressif	11	6

Tableau 6 : Nombres d'enfants exhibant au moins un comportement par type de fonctions selon la grille de Bales.

VI.1.2. Relevé des traces informatiques

Cette partie analysera les productions obtenues durant les deux dernières séances d'entraînement afin de répondre aux hypothèses avancées au niveau de cette recherche. Notons que durant les trois dernières séances, aucune nouvelle commande ou technique de codage n'a été enseignée aux participants. Ces derniers doivent utiliser les connaissances déjà acquises ainsi que leur créativité afin de répondre à la consigne donnée. Durant la onzième séance ils devaient construire leur propre jeu en utilisant les commandes apprises durant les neuf premières séances et ils pouvaient découvrir et utiliser des commandes non apprises. Durant la douzième séance les participants ont visionné une vidéo contenant un écran de fond et différents personnages et objets, des déplacements, des sons, des changements de costume, des messages, etc. Ils devaient reproduire la même séquence et le temps requis a été chronométré.

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente mettent en jeu les fonctions exécutives froides des enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Afin de réaliser la tâche requise durant la onzième séance, les participants devaient intégrer la totalité des commandes citées au niveau de la consigne. Pour que ces commandes fonctionnent correctement, d'autres doivent être aussi utilisées. Ces dernières n'ont pas été mentionnées et les participants devaient les déduire eux-mêmes. Les participants avaient la liberté d'incorporer d'autres commandes au niveau de l'exécution de la tâche afin de personnaliser leurs productions. Le tableau qui suit montre si les participants ont réussi à respecter les cinq consignes données, à utiliser les quatre commandes nécessaires, mais non mentionnées et s'ils ont ajouté d'autres commandes apprises durant les séances ou découvertes d'une manière autonome.

Séance 11				
	Instructions données non respectées	Commandes obligatoires à utiliser respectées ³⁶	Autres commandes apprises ajoutées	Commandes non apprises ajoutées
G1	Sons	Oui	Capteurs Parole écrite	Changement de l'arrière-plan
G2	Aucune	Oui	Aller à la position de la souris Enregistrement de voix Cacher / montrer	Score Orienter vers la position de la souris Changement de taille
G3	Aucune	Oui		
G4	Aucune	Oui	Enregistrement de voix	
G5	Aucune	Oui	Changement de forme Enregistrement de voix Score	
G6	Aucune	Oui	Cacher / montrer Enregistrement de voix	
G7	Aucune	Oui		

Tableau 7 : Commandes utilisées durant la onzième séance par les sept groupe.

Séance 11						
	Fille /8 commandes	Garçon /25 commandes	Chat /9 commandes	Voiture /11 commandes	Pourcentage du travail effectué en 40 minutes	Temps requis pour achever le travail
G1	4	18	4	7	66%	60 minutes
G2	8	25	9	8	100%	35 minutes
G3	8	20	4	5	64 %	55 minutes
G4	7	16	1	8	64%	65 minutes
G5	3	20	3	8	68%	50 minutes
G6	7	15	5	3	60%	60 minutes
G7	5	4	5	8	44%	80 minutes

Tableau 8 : Nombre de commandes correctement effectuées durant la douzième séance.

Afin de réaliser la tâche requise durant la douzième séance, les participants devaient reproduire la même séquence de codage que celle utilisée pour monter une vidéo. Le tableau qui suit détaillera le nombre de commandes correctes utilisées par personnage et le pourcentage accompli du travail en 40 minutes. Tous les groupes ont eu le temps

³⁶ Attente - Aller à - Boucle de condition - Boucle de répétition.

d'achever cette activité, mais les traces informatiques analysées ont été enregistrées suite à 40 minutes de travail.

Le premier tableau montre que six groupes ont réussi à créer un projet en utilisant les cinq commandes demandées et qu'un seul groupe a oublié d'utiliser la commande son. De plus tous les groupes ont utilisé les commandes nécessaires, mais non mentionnées. Le second tableau montre que six groupes ont réussi à compléter la moitié du travail requis dans une limite de temps donnée et qu'ils ont réussi à accomplir la tâche exigée. Ceci suppose l'implication :

- De la mémoire de travail au niveau de l'application des consignes mentionnées, des commandes nécessaires et non mentionnées, des commandes acquises non requises et du processus d'autocorrection.
- Du contrôle inhibiteur au niveau de la sélection et du choix des commandes.
- De la flexibilité mentale au niveau du processus d'autocorrection et de la créativité mise en jeu afin de créer un produit donnant un sens est suivant une chronologie appropriée à partir de commandes acquises ainsi qu'au niveau de l'autoapprentissage de l'utilisation de nouvelles commandes non utilisées auparavant.
- De la résolution de problèmes et de la planification au niveau de la déduction de la chronologie d'étapes à suivre pour compléter la tâche ainsi qu'au niveau du processus d'autocorrection.

VI.1.3. Relevé des courtes entrevues individuelles

Les courtes entrevues individuelles ont été effectuées auprès de 30 participants et sont présentées en annexes. Cinq participants ont montré une timidité et n'ont pas voulu donner leur ressenti en individuel suite aux séances. Une question ouverte simple a été posée en arabe parlé pour que les participants y répondent en étant à l'aise dans leurs discours. La question est la suivante :

خبرني/خبريني كيف كانوا جلسات الكودنغ والروبوتكس يلي عملناهن خلال هيدا الشهر؟

La traduction française est la suivante :

Raconte-moi comment se sont passées les séances de codage et de robotique proposées durant ce mois ?

Les participants avaient le choix de répondre avec la langue qu'ils voulaient. Certains ont parlé exclusivement en arabe d'autres ont utilisé deux ou même trois langues (arabe, français et ou anglais). Ils ont évoqué les activités préférées et les difficultés rencontrées et plusieurs participants ont parlé du travail en groupe. Une analyse lexicométrique des mots pleins (verbes, adjectifs...) a été effectuée et a montré les résultats suivants :

Quelques mots ont été évoqués d'une manière récurrente durant les entretiens et ils seront présentés dans le tableau suivant :

Mots comme parus dans le discours	Lexique	Nombre d'occurrence	Nombre d'enfants utilisant les termes	Pourcentage d'enfant utilisant les termes
حبيبت - بحب - حبيبتها J'ai aimé, j'aimerai	Aimer, trouver agréable	61/1592	30/30	100%
متنسلا - يتسلا - اتسلا - بسلي Amusant	S'amuser	25/1592	18/30	60%
من ساعد بعض، بساعدوني، نتساعد، بساعدنا، مشتغل سوا، سوا Work as one heart	Aider	19/1592	17/30	56%
شغلت مخي، شغلت عقلي، تركيز، ركز، فكر Think in a smart way	Réflexion et cognition	12/1592	9/30	30%

Tableau 9 : Mots parus d'une manière récurrente dans le discours des participants.

Comme le montre ce tableau, tous les participants (N=30) ont utilisé des termes appartenant au champ lexical du verbe aimer et un peu plus que la moitié (N=18) a utilisé des mots apparentés au verbe s'amuser. Ils l'ont fait pour dire qu'ils ont apprécié les activités présentées et le travail en groupe. Ceci montre que l'atelier et les activités étaient motivants et ludiques et que les participants trouvaient du plaisir en travaillant.

Des mots apparentés au verbe aider ont été utilisés par dix-sept participants qui disaient qu'ils ont apprécié le travail en groupe parce qu'ils arrivaient à s'entraider et à avancer rapidement. Seule Daria a évoqué le contraire dans son discours en disant qu'elle préférait travailler seule pour tout apprendre et ne perdre aucune information.

Neuf enfants ont évoqué des mots relatifs à la réflexion pour dire qu'ils ont eu l'occasion de mettre en jeu un travail de réflexion durant l'atelier et ceci renvoie à la métacognition ou la prise de conscience de l'effort cognitif mis en place.

Nous avons déjà relevé le discours de Daria qui disait qu'elle préférait travailler seule, donc il est intéressant de relever en contrepartie la dernière phrase du discours d'Anna, en voici la traduction : « J'ai apprécié mon groupe tout le monde s'est assis près de moi. Elles étaient très gentilles. Elles m'ont expliqué, elles m'ont aidée ». Ces deux jeunes participantes faisaient partie du même groupe, l'une préfère travailler seule alors que la seconde apprécie la présence du groupe.

Comme les résultats des tests statistiques ont montré que le genre semble influencer le nombre de mouvements effectués dans la tour de Hanoi, il s'avère intéressant de décrire les résultats de récurrence de mots en les classant par catégorie de genre. Onze garçons et dix-neuf filles ont participé aux entrevues individuelles et voici les résultats descriptifs.

Mots comme parus dans le discours	Lexique	Fréquence et pourcentage d'occurrence			
		Filles		Garçons	
حببت - بحب - حبيبها J'ai aimé, j'aimerai	Aimer, trouver agréable	19/19	100%	11/11	100%
منتسلا بتسلا - اتسلا - بسلي Amusant	S'amuser	12/19	63%	6/11	54%
من ساعد بعض، بساعدوني، نتساعد، بساعدنا، منتشغل سوا	Aider, travailler ensemble	10/19	53%	7/11	64%
شغلت مخي، شغلت عقلي، تركيز، ركز، فكر Think in a smart way ³⁷	Réflexion et cognition	4/19	21%	5/11	45%

Tableau 10 : Mots parus d'une manière récurrente dans le discours des participants catégorisés selon le genre.

Nous rappelons qu'au niveau des tests statistiques, les filles avaient montré une meilleure moyenne sur l'épreuve de résolution de problèmes, alors que ce tableau montre que le pourcentage de garçons ayant évoqué les processus cognitifs est le double de celui des filles l'ayant fait. Les pourcentages par rapport aux lexiques relatifs à l'amusement et au travail de groupe ne sont pas en grand écart, mais on note qu'un plus grand pourcentage de fille à évoquer le fait de s'être amusé alors qu'un plus grand pourcentage de garçons a évoqué le travail collaboratif. Ces résultats doivent être analysés avec prudence, au vu de l'effectif de l'échantillon.

Les données qualitatives transcrites au niveau de ce chapitre, semblent montrer que tous les indicateurs des fonctions exécutives froides et chaudes ont été mobilisés durant les séances de codage et de robotique. Le développement de ces fonctions se fait à des niveaux différents selon les participants et les groupes. Ces données seront couplées aux données quantitatives dans la partie qui suit.

³⁷ Réfléchir d'une manière efficace

VI.2. Transcription des données quantitatives

Les données quantitatives recueillies grâce aux tâches cognitives et aux questionnaires ont été traitées grâce au logiciel SPSS³⁸ pour réaliser l'analyse statistique et les tableaux. Elles seront présentées dans ce qui suit relativement aux hypothèses proposées. Le traitement statistique sera décrit également.

VI.2.1. Analyse descriptive : les indicateurs de la variable indépendante

Parmi les 35 participants recrutés pour cette étude, 28% (N=10) fréquentent des écoles gratuites (publiques), 26% (N=9) sont inscrits dans des écoles privées ayant des frais de scolarité variant entre 2 000 000 LL et 3 900 000 LL, 20 % (N=7) des fréquentent des écoles privées dont les frais de scolarité varient entre 4 000 000 LL et 5 900 000 LL et le reste des participants (26 %, N=9) sont inscrits dans des écoles privées dont la scolarité s'élève à plus de 6 000 000 LL. Les 35 participants sont répartis entre 40% (N=14) de garçons et 60% de filles (N=21). 31% (N=11) ont déjà réalisé des séances de codage et de robotique alors que 69% (N=24) n'ont jamais participé à de telles séances et tous les élèves scolarisés dans les écoles publiques n'avaient pas eu auparavant des enseignements de codage ou de robotique. Quant au profil exécutif évalué grâce au WCST-64, 11% (N=4) ont trouvé une seule catégorie (la catégorie couleur), 22% (N=8) ont trouvé deux catégories (couleur et forme), 28% (N=10) ont trouvé trois catégories (couleur, forme, nombre), 22% (N=8) ont pu trouver quatre catégories (couleur, forme, nombre et couleur) et 14% (N=5) ont réussi à trouver cinq catégories (couleur, forme, nombre, couleur et forme). Ceci montre que les 35 participants présentent des conditions différentes quant au milieu socioculturel, au genre, à la participation antérieure à des ateliers de codage et au profil exécutif. Les tableaux présentés ci-dessous permettent de visualiser les croisements entre les différents indicateurs.

³⁸ SPSS est un logiciel utilisé pour l'analyse statistique, développé par la compagnie IBM.

Frais de scolarité	Genre		Nombre de catégories au WCST					Participation antérieure	
	Fille	Garçon	1	2	3	4	5	Oui	Non
Frais de scolarité gratuits (École publique)	4	5	2	5	1	1	0	0	9
2 000 000 - 3 900 000	9	1	0	2	4	4	0	6	4
4 000 000 - 5 900 000 LL	4	3	1	1	3	0	2	2	5
Plus que 6 000 000 LL	4	5	1	0	2	3	3	3	6

Tableau 11 : Croisements des indicateurs de la variables indépendante par rapport aux frais de scolarité.

Nombre de catégories au WCST	Frais de scolarité				Genre		Participation antérieure	
	École gratuite (publique)	2 000 000 - 3 900 000	4 000 000 - 5 900 000	Plus que 6 000 000	Fille	Garçon	Oui	Non
1	2	0	1	1	3	1	0	4
2	5	2	1	0	4	4	0	8
3	1	4	3	2	6	4	5	5
4	1	4	0	3	5	3	3	5
5	0	0	2	3	3	2	3	2

Tableau 12 : Croisements des indicateurs de la variable indépendante par rapport aux frais du nombre de catégories trouvées au WCST-64.

VI.2.2. Mesures répétées : les indicateurs de la variable dépendante en T₀, T₁ et

T₂

Dans la partie suivante, chaque indicateur des fonctions exécutives sera présenté à son tour avec l'hypothèse à laquelle cet indicateur revient. Nous présenterons tout d'abord le tableau de statistiques descriptives présentant la moyenne, la médiane, le mode, la déviation standard, le minimum, le maximum et la répartition en percentiles.

Le tableau de statistiques descriptives sera suivi par un tableau présentant les résultats du Shapiro-Wilk qui est le test de normalité utilisé. L'hypothèse nulle de ce test est la suivante :

H_0 = Les données suivent une distribution normale.

Ceci veut dire que lorsque la valeur p représentée par « Sig » dans le tableau est supérieure à 0,05 l'hypothèse H_0 est confirmée, les données suivent une distribution

normale, alors que lorsque la valeur p est inférieure à 0,05, H_0 est rejetée et les données ne suivent pas une distribution normale.

Suite au test de normalité, un test de mesures répétées est effectué pour comparer la moyenne du groupe en T_0 , T_1 et T_2 . Le test est choisi en fonction des résultats du Shapiro-Wilk.

Premier cas : données suivant une distribution normale

Lorsque les données suivent une valeur normale, le test ANOVA à mesures répétées (effets intrasujets)³⁹ est utilisé. L'hypothèse nulle est la suivante :

H_0 = Les trois moyennes comparées sont égales.

Si la valeur p est inférieure à 0,05, on rejette l'hypothèse nulle et on déduit qu'au moins une moyenne est différente des deux autres. Si la valeur p est supérieure à 0,05, l'hypothèse nulle est confirmée et les moyennes sont donc égales. Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, le test de comparaison *Bonferroni Post Hoc* est utilisé afin de pouvoir comparer les trois moyennes entre elles et de découvrir quelle moyenne se distingue des deux autres. Les résultats de ce test sont présentés dans le tableau *Pairwise*. La moyenne qui diffère des deux autres, possède une valeur p inférieure à 0,05.

Second cas : données ne suivant pas une distribution normale

Lorsque la distribution n'est pas normale au niveau du test Shapiro-Wilk la comparaison entre les différentes mesures en T_0 , T_1 et T_2 se fait grâce au test de Friedman. L'hypothèse nulle est la suivante :

H_0 = Les trois moyennes comparées sont égales.

Si la valeur p représentée par « *Asymp. Sig* »⁴⁰ est inférieure à 0,05 on rejette l'hypothèse nulle et on déduit qu'au moins une moyenne est différente des deux autres. Si la valeur p est supérieure à 0,05, l'hypothèse nulle est confirmée et les moyennes sont donc égales. Lorsque l'hypothèse nulle est rejetée, le test Wilcoxon est utilisé afin de

³⁹ Tests of Within-Subjects Effects – repeated measures ANOVA.

⁴⁰ *Asymp. Sig.* est la valeur p basée sur l'approximation du *Chi Square*.

pouvoir comparer les trois moyennes entre elles et de découvrir quelle moyenne se distingue des deux autres. Les résultats de ce test sont présentés dans le tableau « tests statistiques ». La moyenne qui diffère des deux autres, possède une valeur p représentée par « *Asymp. Sig. (2-tailed)* » inférieure à 0,05.

1) Temps de réponse au *Flanker*

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent le contrôle inhibiteur chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Variable dépendante : Temps de réponse moyen (Contrôle inhibiteur)

Variable temps : T_0 , T_1 et T_2

Plan expérimental : $S_{35} * T_3$

$$F_{2,68} = 16.195^{41}$$

Valeur $p = 0.000$

Les valeurs de la moyenne, de la médiane et du mode diminuent d'une phase à l'autre et les moyennes des participants sont plus proches de la moyenne du groupe en T_2 comme le montre l'écart type. Comme la distribution des valeurs des temps de réponse est normale, l'ANOVA à mesures répétées a été utilisée et la valeur p étant inférieure à 0,05, l'hypothèse H_0 est rejetée. Il existe donc une différence au niveau des trois moyennes mesurées en T_0 , T_1 et T_2 . Le test de *Bonferroni* montre une différence significative entre T_0 et T_1 avec une valeur p égale à 0,041 ainsi qu'une différence significative entre T_1 et T_2 avec une valeur p égale à 0,003. Ceci montre que la différence entre T_1 et T_2 est plus importante que la différence entre T_0 et T_1 ; l'évolution observée entre T_0 et T_1 peut être due à des variables exogènes. Ainsi, les douze séances de codage et de robotique étalées sur une période de quatre semaines semblent permettre une

⁴¹ $F_{p-1,(n-1)(p-1)}$ avec $p = 3$ et $N = 35$. Plus F est grand, moins l'hypothèse nulle est crédible.

Le degré de liberté : DDL = 2, 68.

évolution au niveau du contrôle des interférences qui est une des composantes du contrôle inhibiteur et donc des fonctions exécutives (cf. annexe 4).

- 2) Score d'alternance *Hearts and Flowers* : différence entre la moyenne des temps de réponse en contexte isolé et la moyenne des temps de réponse en contexte mixte

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent la flexibilité cognitive chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Variable dépendante : différence entre la moyenne des temps de réponse en contexte isolé et la moyenne des temps de réponse en contexte mixte (Flexibilité cognitive)

Variable temps : T_0 , T_1 et T_2

Plan expérimental : $S_{35} * T_3$

$F_{2,68} = 32.400$

Valeur $p = 0.000$

Les valeurs de la moyenne, de la médiane et du mode diminuent d'une phase à l'autre et les moyennes des participants sont plus proches de la moyenne du groupe en T_2 comme le montre l'écart type. Comme la distribution des valeurs du score d'alternance n'est pas normale, le test de Friedman est utilisé et la valeur p étant inférieure à 0,05, l'hypothèse H_0 est rejetée. Il existe donc une différence au niveau des trois moyennes mesurées en T_0 , T_1 et T_2 . Le test de Wilcoxon montre une différence non significative entre T_0 et T_1 avec une valeur p égale à 0,145, mais une différence significative entre T_1 et T_2 avec une valeur p égale à 0,000. Ceci montre qu'au niveau de cette tâche la moyenne en T_2 est différente des moyennes en T_0 et T_1 et que cette moyenne en T_2 est significativement meilleure que les deux autres. Ainsi, les douze séances de codage et de robotique étalées sur une période de quatre semaines semblent permettre une évolution au niveau de l'alternance entre deux tâches qui est une des composantes de la flexibilité mentale et donc des fonctions exécutives (cf. annexe 5).

3) Erreurs au *Go / No Go* : Fausses alarmes et omissions

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent le contrôle inhibiteur chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Variable dépendante : erreurs : fausses alarmes et omissions (contrôle inhibiteur)

Variable temps : T_0 , T_1 et T_2

Plan expérimental : $S_{35} * T_3$

$F_{2,68} = 3.887$

Valeur $p = 0.143$

Les valeurs de la moyenne au niveau des fausses alarmes montrent une diminution plus importante en T_1 qu'en T_2 et la moyenne des omissions augmente en T_1 et puis diminue au niveau du T_2 . Comme les distributions des valeurs des fausses alarmes et des omissions ne sont pas normales, le Friedman test est utilisé pour les deux indicateurs. Les valeurs p étant respectivement de 0,143 et de 0,110 sont toutes les deux supérieures à 0,05 et l'hypothèse H_0 est acceptée. Il n'existe donc pas de différence au niveau des trois moyennes mesurées en T_0 , T_1 et T_2 . Ainsi, les douze séances de codage et de robotique étalées sur une période de quatre semaines ne semblent pas permettre une évolution au niveau de l'inhibition du comportement qui est une des composantes du contrôle inhibiteur et donc des fonctions exécutives (cf. annexe 6).

4) Réponses correctes au *N-back*

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent la mémoire de travail chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Variable dépendante : nombre de réponses correctes (mémoire de travail)

Variable temps : T_0 , T_1 et T_2

Plan expérimental : $S_{35} * T_3$

$F_{2,68} = 24.047$

Valeur $p = 0.000$

La moyenne des réponses correctes au *N-back* augmente considérablement en T_1 (10,14) par rapport à T_0 (6,91), et légèrement en T_2 (11,25) par rapport à T_1 . Comme les valeurs des nombres de mouvements ne suivent pas une distribution normale, le Friedman test est utilisé et la valeur p étant égale à 0,00 et inférieure à 0,05 l'hypothèse H_0 est rejetée. Il existe donc une différence au niveau des trois moyennes mesurées en T_0 , T_1 et T_2 . Le test de Wilcoxon montre une différence significative entre T_0 et T_1 avec une valeur p égale à 0,000, mais une différence non significative entre T_1 et T_2 avec une valeur p égale à 0,109. Ceci montre qu'au niveau de cette tâche c'est la moyenne en T_1 qui est différente des moyennes en T_0 et T_2 . Ainsi, au niveau de cette étude le test du *N-back* semble montrer un effet d'apprentissage puisqu'une évolution significative est notée suite à la première phase où l'intervention est absente et une évolution non significative suite à la phase d'intervention (cf. annexe 7).

5) Nombre de mouvements effectués pour achever la tâche de la tour de Hanoï à 3 disques

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : Les séances de codage et de robotique présentées en groupe et d'une manière fréquente améliorent la résolution de problèmes chez les enfants scolarisés en CM1 et CM2.

Variable dépendante : (nombre de mouvements effectués) résolution de problèmes

Variable temps : T_0 , T_1 et T_2

Plan expérimental : $S_{35} * T_3$

$F_{2,68} = 19.678$

Valeur $p = 0.000$

La moyenne des mouvements effectués pour transporter trois disques de la première tour à la dernière diminue légèrement en T_1 (12,28) par rapport à T_0 (13,28), et considérablement en T_2 (9,94) par rapport à T_0 et T_1 . Ceci s'applique aussi pour la valeur maximale de mouvements qui était 28 en T_0 et qui est passée à 25 en T_1 et puis à 19 en T_2 . Notons que la valeur minimale pour réussir à cette tâche est de 7 mouvements et cette valeur est observée durant les trois temps. Comme les valeurs des nombres de mouvements ne suivent pas une distribution normale, le Friedman test est utilisé et la

valeur p étant égale à 0,00 et inférieure à 0,05 l'hypothèse H_0 est rejetée. Il existe donc une différence au niveau des trois moyennes mesurées en T_0 , T_1 et T_2 . Le test de Wilcoxon montre une différence non significative entre T_0 et T_1 avec une valeur p égale à 0,164, mais une différence significative entre T_1 et T_2 avec une valeur p égale à 0,000. Ceci montre qu'au niveau de cette tâche la moyenne en T_2 est différente des moyennes en T_0 et T_1 et que cette moyenne en T_2 est significativement meilleure que les deux autres. Ainsi, les douze séances de codage et de robotique étalées sur une période de quatre semaines semblent permettre une réduction au niveau du nombre de mouvements requis pour effectuer une tâche et donc une amélioration au niveau de la résolution de problèmes, composante des fonctions exécutives (*cf.* annexe 8).

Pour récapituler, les mesures répétées montrent que le protocole de codage et de robotique conçu semble permettre une évolution au niveau du contrôle des interférences, de la flexibilité cognitive et de la résolution de problèmes. Par ailleurs, un effet d'apprentissage est observé au niveau du test de mesure de la mémoire de travail et aucune évolution n'est observée sur l'inhibition du comportement.

Dans ce qui suit nous présenterons l'effet des conditions⁴² présentées par les enfants sur le contrôle des interférences, la flexibilité cognitive et la résolution de problèmes puisqu'une évolution significative est notée au niveau de ces trois indicateurs des fonctions exécutives.

⁴²Niveau socio-économique, genre, participation antérieure à des séances de codage et de robotique et nombre de catégories complétées au WCST.

VI.2.3. Impact des variables indépendantes sur les variables dépendantes

Hypothèse à laquelle répondent ces résultats : L'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne dépend pas des conditions que présentent les participants.

La partie qui suit expose le traitement statistique permettant de démontrer l'existence de liens éventuels entre les indicateurs des conditions présentées par les enfants d'une part et les indicateurs des fonctions exécutives ayant montré une évolution significative en T_2 ⁴³ seront statistiquement analysés. Les indicateurs des fonctions exécutives sont présentés en T_0 , T_1 , T_2 et en tant que taux d'évolutions entre T_1 et T_2 .

Le nombre d'enfants dans les échantillons analysés dans cette partie est inférieur à trente et les échantillons sont indépendants, on utilise donc des tests non paramétriques et nous avons deux situations :

Premier cas : Les indicateurs de la variable indépendante présentent uniquement deux groupes, le test *Mann & Whitney* est utilisé. L'hypothèse H_0 serait la suivante :

H_0 = Les moyennes des deux groupes indépendants sont égales.

Lorsque la valeur p est supérieure à 0,05, l'hypothèse H_0 est confirmée et nous déduisons que la condition présentée ne semble pas avoir d'influence sur l'indicateur des fonctions exécutives.

Second cas : Distribution normale et trois groupes ou plus

Les indicateurs de la variable indépendante présentent trois groupes ou plus, le test de *Kruskal & Wallis* est utilisé. L'hypothèse H_0 serait la suivante :

H_0 = Les moyennes des différents groupes indépendants sont égales.

Lorsque la valeur p est supérieure à 0,05, l'hypothèse H_0 est confirmée et nous déduisons que la condition présentée ne semble pas avoir d'influence sur l'indicateur des fonctions exécutives.

⁴³ Le temps de réponse au niveau du *Flanker*, le score d'alternance au niveau du *Hearts and Flowers* et le nombre de mouvements au niveau de la tour de Hanoi.

Les résultats des tests statistiques mettant en relief l'absence ou la présence de liens entre les indicateurs de la variable indépendante (VI) et les indicateurs de la variable dépendante (VD) sont exposés dans le tableau récapitulatif qui suit pour plus de clarté et les tableaux provenant du traitement statistique grâce au logiciel SPSS sont présentés en annexes.

Indicateurs VD	Indicateurs VI	Valeur p en T_0	Valeur p en T_1	Valeur p en T_2	Valeur p du taux d'évolution	Conclusion
Temps de réponse au <i>Flanker</i>	Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.586	0.478	0.570	0.360	Le niveau socioéconomique ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
	Genre	0.881	0.606	0.561	0.342	Le genre ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
	Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.494	0.133	0.061	0.238	La participation antérieure à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
	Nombre de catégories complétées au WCST	0.447	0.384	0.288	0.395	Le nombre de catégories complétées au WCST ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i>	Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.381	0.069	0.542	0.758	Le niveau socioéconomique ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Genre	0.630	0.678	0.606	0.434	Le genre ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.563	0.390	0.903	0.517	La participation antérieure à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Nombre de catégories complétées au WCST	0.671	0.457	0.953	0.558	Le nombre de catégories complétées au WCST ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.

Mouvements effectués dans la tour de Hanoï	Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.283	0.136	0.534	0.935	Le niveau socioéconomique ne semble pas influencer le nombre de mouvements effectués dans la tour de Hanoï ni le taux d'évolution.
	Genre	0.11	0.031	0.009	0.881	Le genre semble influencer le nombre de mouvements effectués dans la tour de Hanoï par les participants et la moyenne des filles est meilleure que celle des garçons sur les trois temps, mais le genre ne semble pas influencé le taux d'évolution.
	Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.085	0.152	0.903	0.390	La participation antérieure à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer le nombre de mouvements effectués dans la tour de Hanoï ni le taux d'évolution.
	Nombre de catégories complétées au WCST	0.184	0.747	0.990	0.887	Le nombre de catégories complétées au WCST ne semble pas influencer le nombre de mouvements effectués dans la tour de Hanoï par les participants ni le taux d'évolution.

Tableau 13 : Analyse statistique de l'influence des conditions des participants sur les scores et les taux d'évolution des fonctions exécutives.

Comme il y a eu une influence au niveau de genre et du nombre de mouvements effectués dans la tour de Hanoï la variable indépendante genre a été croisée avec le reste des variables pour voir si des sous-catégories pourraient présenter de l'influence sur les variables dépendantes. Le tableau récapitulatif qui suit montre les résultats obtenus et les tableaux provenant du traitement statistique grâce au logiciel SPSS sont présentés en annexe.

Indicateurs VD	Indicateurs VI	Valeur p en T_0	Valeur p en T_1	Valeur p en T_2	Valeur p du taux d'évolution	Conclusion
Temps de réponse au <i>Flanker</i>	Filles + Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.407	0.71	0.33	0.549	Le niveau socioéconomique des filles ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.

	Filles + Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.602	0.30	0.179	1	La participation antérieure des filles à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
	Filles + Nombre de catégories complétées au WCST	0.932	0.365	0.503	0.982	Le nombre de catégories complétées par les filles au WCST ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
	Garçons + Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.838	0.270	0.542	0.413	Le niveau socioéconomique des garçons ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
	Garçons + Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.047	0.777	0.119	0.103	La participation antérieure des garçons à des séances de codage et de robotique semble uniquement influencer le score en T_0 et ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences en T_1 et T_2 ni le taux d'évolution.
	Garçons + Nombre de catégories complétées au WCST	0.343	0.656	0.278	0.344	Le nombre de catégories complétées par les garçons au WCST ne semble pas influencer les scores du contrôle des interférences ni le taux d'évolution.
Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i>	Filles + Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.501	0.453	0.286	0.315	Le niveau socioéconomique des filles ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Filles + Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.654	0.412	0.117	0.765	La participation antérieure des filles à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Filles + Nombre de catégories complétées au WCST	0.411	0.619	0.568	0.407	Le nombre de catégories complétées par les filles au WCST ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Garçons + Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.376	0.061	0.079	0.942	Le niveau socioéconomique des garçons ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
	Garçons + Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.203	0.066	0.157	0.258	La participation antérieure des garçons à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.

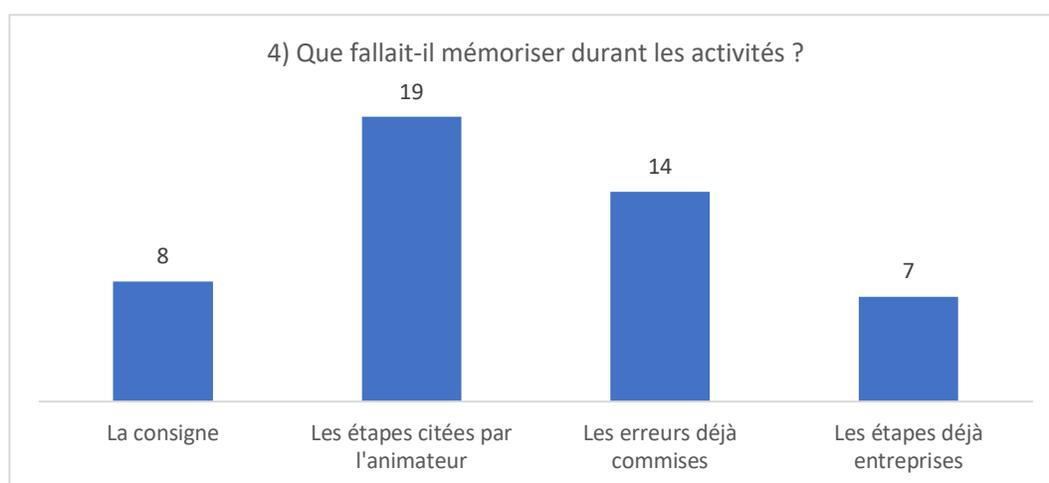
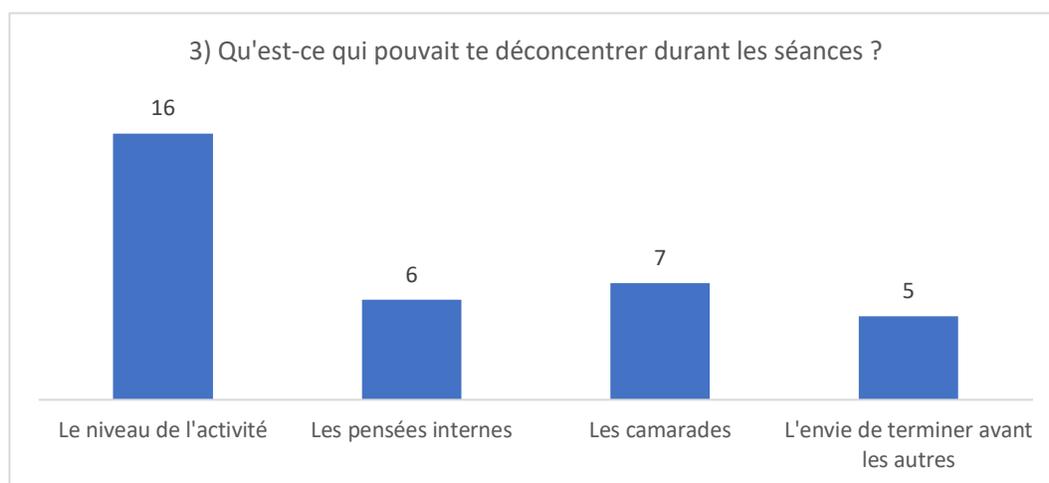
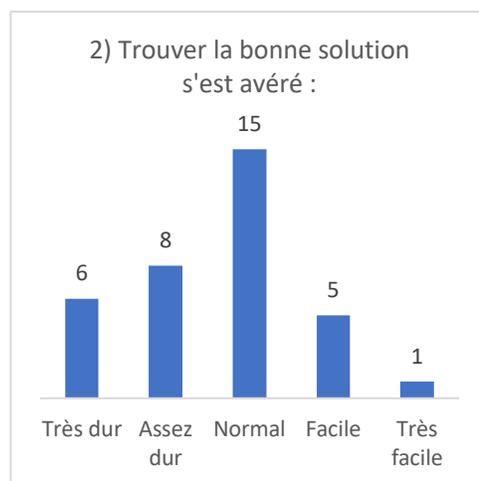
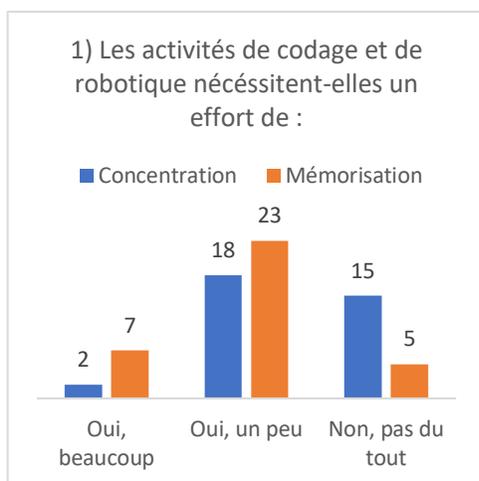
	Garçons + Nombre de catégories complétées au WCST	0.427	0.058	0.238	0.546	Le nombre de catégories complétées par les garçons au WCST ne semble pas influencer les scores d'alternance ni le taux d'évolution.
Mouvements effectués dans la tour de Hanoï	Filles + Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.618	0.161	0.455	0.522	Le niveau socioéconomique des filles ne semble pas influencer les mouvements effectués ni le taux d'évolution.
	Filles + Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.049	0.042	0.419	0.051	La participation antérieure des filles à des séances de codage et de robotique semble influencer leurs scores de départs en T_0 et T_1 , mais ne semblent pas influencer leurs scores en T_2 ni le taux d'évolution.
	Filles + Nombre de catégories complétées au WCST	0.030	0.264	0.771	0.504	Le nombre de catégories complétées par les filles au WCST semble uniquement influencer leurs scores de départ en T_0 et ne semble pas influencer les mouvements effectués ni le taux d'évolution.
	Garçons + Tarif de scolarité / niveau socio-économique	0.782	0.561	0.372	0.392	Le niveau socioéconomique des garçons ne semble pas influencer les mouvements effectués ni le taux d'évolution.
	Garçons + Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	0.436	0.943	0.668	0.287	La participation antérieure des garçons à des séances de codage et de robotique ne semble pas influencer les mouvements effectués ni le taux d'évolution.
	Garçons + Nombre de catégories complétées au WCST	0.967	0.796	0.874	0.731	Le nombre de catégories complétées par les garçons au WCST ne semble pas influencer les mouvements effectués ni le taux d'évolution.

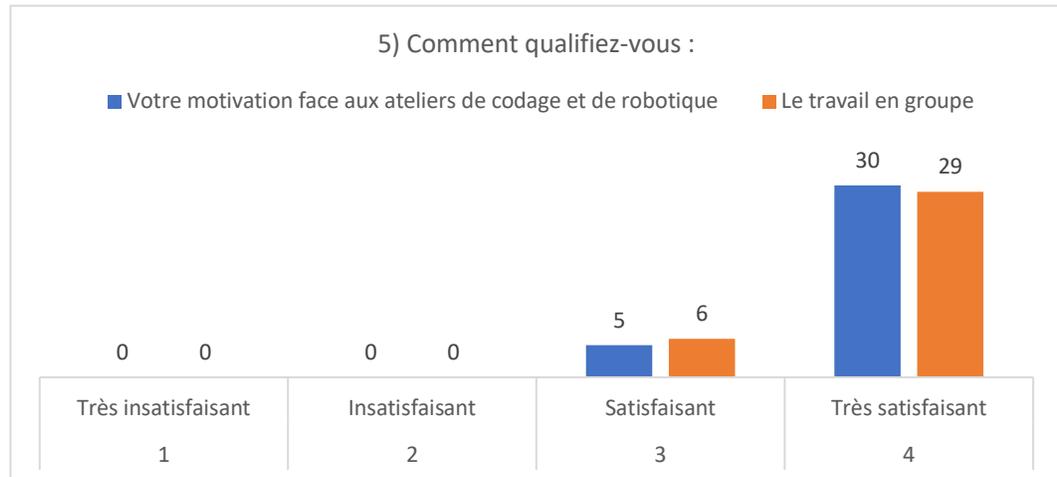
Tableau 14 : Analyse statistique de l'influence des conditions des participants croisées entre elles sur les scores et les taux d'évolution des fonctions exécutives.

Ainsi, ces deux tableaux montrent que les variables indépendantes ne semblent pas influencer le taux d'évolution au niveau des variables dépendantes malgré la présence d'une différence significative entre certains scores en T_0 et T_1 . Nous pouvons ainsi répondre à l'hypothèse formulée en disant que l'amélioration observée au niveau des fonctions exécutives ne semble pas dépendre des conditions que présentent les participants.

VI.2.4. Le questionnaire d'enquête

Contrairement au reste des outils utilisés, le but du questionnaire d'enquête n'est pas l'étude des variables dépendantes ou indépendantes qui sont en train d'être manipulées. En effet, ce questionnaire permet de s'assurer du contrôle des variables parasites que sont la motivation face aux séances et au travail de groupe ainsi que la métacognition mise en jeu. Ces variables ne sont pas maîtrisées par la chercheuse et ne sont pas manipulées au cours de la recherche, mais sont susceptibles d'influencer les résultats. Cinq questions ont été posées aux participants afin d'investiguer l'état de ces variables ; les participants ayant répondu par oui à la question de la concentration ont été invités à répondre à la question numéro 3, et ceux répondant par oui à la question de mémorisation ont été invités à répondre à la question numéro 4. Au niveau des questions 3 et 4, les participants avaient la possibilité de sélectionner plusieurs choix. Les réponses obtenues ont permis de comprendre le niveau de métacognition présenté par les élèves et d'évaluer leur vécu face au travail effectué. Nous en avons déduit que les participants étaient motivés par le contenu des trois premières séances présentées ainsi que par le travail en groupe. Ainsi ces deux variables importantes au déroulement des séances sont contrôlées. De plus, nous avons pu visualiser une hétérogénéité au niveau de la métacognition et donc de la perception de la mise en jeu des fonctions exécutives de la part des participants. Ceci montre que les candidats possèdent différents profils au niveau de la mentalisation des processus mentaux. Les questions et réponses sont visualisées dans ce qui suit.





Les données quantitatives collectées ont permis de montrer que les séances de codage et de robotique semblent permettre une évolution chez les participants au niveau du contrôle des interférences, de la flexibilité cognitive et de la résolution des problèmes.

Par ailleurs, le niveau socioéconomique, le genre, la participation antérieure à des séances de codage et de robotique ainsi que le nombre de catégories effectuées au WCST n'ont pas d'effet sur l'évolution observée.

De plus, les participants étaient très motivés par rapport au travail en groupe et face aux activités proposées.

Enfin, la majorité des participants ont montré une prise de conscience des exigences requises pour réussir les activités ce qui montre que la métacognition a été mobilisée.

En analysant les données quantitatives et les données qualitatives présentées au niveau du chapitre précédent, il semble que le codage et la robotique mobilisent les fonctions exécutives chaudes et froides et permettent de les développer.

VII. Discussion

Cette étude a cherché à répondre à trois questions. La première concerne la conception à adopter pour la présentation des ateliers de codage et de robotique. Elle a trouvé des réponses à travers la revue de littérature. Les deux autres questions concernent d'une part, l'effet des ateliers de codage et de robotique présentés en groupe sur les fonctions exécutives des élèves de CM1 et CM2 au Liban et, d'autre part, l'effet des différences individuelles sur les scores des participants à la suite aux ateliers de codage et de robotique. Elles seront analysées dans cette partie.

VII.1. Synthèse des résultats

Les données quantitatives et qualitatives présentées précédemment permettent de proposer certaines conclusions dans le cadre de cette recherche. Les résultats seront synthétisés dans ce qui suit en présentant l'effet du protocole de codage et de robotique conçu et appliqué dans cette recherche tout d'abord sur la mise en jeu des fonctions exécutives, ensuite sur les différences individuelles entre les participants, et enfin, sur l'influence des variables parasites sur les indicateurs des fonctions exécutives.

VII.1.1. Développement des fonctions exécutives

Tout d'abord, les résultats montrent que les participants ont apprécié les séances de codage et de robotique et qu'ils trouvaient le matériel attrayant et les activités agréables malgré le niveau challenge. La grande majorité des participants a considéré que le travail en groupe avait des aspects positifs comme la possibilité de collaboration et d'entraide, la rapidité d'exécution induite par le groupe et enfin la motivation et l'ambiance agréable créée par la présence des pairs.

D'autre part, les observations structurées et les traces informatiques montrent que les séances de codage et de robotique conçues à un niveau challenge nécessitent la compréhension du fonctionnement du matériel et du code, la construction de nouvelles connaissances et la rectification de connaissances erronées, la compréhension des consignes et l'extraction des inférences qu'elles présentent, la créativité au niveau de la

construction et de la production, le choix des stratégies, des blocs et de la séquence logiques de blocs, la mémorisation de la fonction des blocs, la découverte de fonctionnalités non apprises, le raisonnement et la résistance aux impulsions au niveau de l'exécution ainsi que l'autocorrection. Les compétences des participants ont évolué au fur et à mesure des séances. Ainsi, la participation active aux séances de codage et de robotique semble engager et développer le contrôle de l'inhibition, la flexibilité cognitive, la mémoire de travail et la résolution de problèmes. Ceci signifie que la participation active aux séances de codage et de robotique conçues à un niveau challenge semble permettre l'engagement et le développement des fonctions exécutives froides.

Les observations structurées ont aussi montré que le travail en équipe a permis aux participants de contrôler leurs actions et réactions, d'adapter leurs actions en fonction de ceux de leurs pairs ou des conditions environnementales. Pour certains, les ateliers ont présenté une opportunité de collaborer les uns avec les autres, d'écouter et d'accepter l'avis de leurs pairs, d'aider, de soutenir et de motiver leurs pairs lorsqu'ils en avaient besoin, de faire des compromis, de gérer la différence et les conflits, d'être empathique et de créer une ambiance de travail agréable. De plus, les observations structurées ont montré une évolution au niveau des comportements et de l'attitude de la majorité des participants. Tous ces comportements sont possibles grâce à l'autorégulation du comportement, à la cognition sociale et à la prise de décision affective et donc les ateliers de codage et de robotique présentés en groupe semblent permettre l'engagement et le développement des fonctions exécutives chaudes.

Par ailleurs, les analyses statistiques ont montré que les douze séances de codage et de robotique semblent permettre une évolution significative au niveau du contrôle des interférences, de la flexibilité mentale et de la résolution de problèmes. Ces séances n'ont pas montré d'évolution significative au niveau de l'inhibition du comportement et au niveau de la mémoire de travail.

Une première hypothèse concernant l'absence d'une évolution significative au niveau de ces deux composantes pourrait être la durée de l'entraînement. En effet, nous avons été contraints à le présenter sur une période de quatre semaines à cause de la pandémie

et de la situation du pays. Cette contrainte temporelle pourrait avoir influencé les scores obtenus surtout que les observations structurées et les données qualitatives montrent que l'inhibition du comportement et la mémoire de travail sont nécessaires à la réussite des tâches proposées.

Une deuxième hypothèse quant à la mémoire de travail est le fait que l'amélioration au niveau de la mémoire de travail dépend du niveau de base de la personne. En effet, durant un entraînement visant le développement de la mémoire de travail et utilisant une médiation sportive, ce sont les sujets qui présentent le niveau de base le plus faible par rapport à la mémoire de travail qui répondent le plus favorablement à l'entraînement de la mémoire de travail (Yamazaki, et al., 2018 ; Au, et al., 2015 ; Sibley & Beilock, 2007). Le lien entre le niveau de base des participants au niveau de la tâche N-back et l'évolution au niveau de cette même tâche n'a pas été étudiée au niveau de cette recherche.

Une troisième hypothèse relative aux deux composantes serait un biais au niveau des tâches cognitives utilisées. Ces biais sont expliqués dans les parties qui suivent.

VII.1.2. Différences individuelles

Une méthode corrélationnelle a été utilisée afin d'évaluer les effets des différences individuelles sur la performance des participants, dans le but de voir si les ateliers de codage et de robotique pourraient être bénéfiques à tous les élèves. Nous en déduisons que le niveau socioéconomique, le genre, la participation antérieure à des séances de robotique et le niveau exécutif initial ne semblent pas avoir une influence sur les résultats d'évolution des participants au niveau des différentes phases de cette étude. Ainsi, les différences individuelles évaluées n'ont pas montré d'effets sur le taux d'évolution des participants, ce qui voudrait dire que les élèves pourraient bénéficier de tels ateliers indépendamment de leur niveau socioéconomique, du genre, de la participation antérieure à des ateliers similaires ou de leur niveau exécutif ⁴⁴.

⁴⁴ Nous rappelons que l'étude exclut les sujets ayant des maladies génétiques ou chromosomiques ou un trouble du développement intellectuel influençant le fonctionnement cognitif.

VII.1.3. Influence des variables parasites

Comme l'apprentissage est un résultat des capacités cognitives, métacognitives, et motivationnelles (Hessels-Schlatter, Hessels, & Brandon, 2021), la motivation ressentie face au contenu des séances, la motivation montrée relativement au travail de groupe et le niveau de métacognition chez les apprenants sont considérées dans ce travail comme des variables parasites présentes et pouvant avoir une influence sur les résultats. Ces variables sont en partie liées aux pratiques pédagogiques mises en place par l'enseignant. Ce dernier est chargé de proposer par son attitude et grâce au matériel présenté un environnement propice contribuant à la génération d'une motivation chez les apprenants afin de maintenir leur intérêt au contenu enseigné (Ivowi, 2001). Sur les deux aspects de la motivation, le questionnaire d'enquête effectué à la fin de la première semaine a révélé que les apprenants trouvaient les séances présentées et le format de travail en groupe agréables et cela a été confirmé par l'entretien effectué à la fin des douze séances. Ceci montre que les élèves avaient le désir d'engagement motivationnel requis pour la stimulation des fonctions exécutives. Il est important de mentionner que les séances de codage et de robotique ont eu lieu durant la pandémie et la crise économique, suite à plusieurs mois d'arrêts d'activités scolaires et d'activités de loisir. Ceci a pu favoriser la motivation face à ces ateliers qui sortaient les participants d'un quotidien peu agréable. Quant à la métacognition, le questionnaire d'enquête, les observations et les entretiens montrent que la prise de conscience de l'engagement cognitif effectué n'est pas le même chez tous les apprenants. Ceci pourrait être expliqué par les différences au niveau des profils exécutifs des jeunes et par le fait que la métacognition qui commence à se développer entre 5 et 8 ans (Fleur, Brede, & Van Den Bos, 2021) présente aussi un développement fort durant l'adolescence (Weil, et al., 2013). Ceci révèle l'intérêt que pourrait avoir l'analyse de la genèse des processus de métacognition auprès d'adolescents, dans une poursuite de ce travail de thèse.

VII.2. Relation de réciprocité entre les fonctions exécutives et les séances de codage et de robotique

Les fonctions exécutives froides et chaudes sont nécessaires pour effectuer de nouveaux apprentissages, pour trouver des solutions à de nouveaux problèmes, pour s'orienter dans l'espace, pour trouver les erreurs et les corriger, pour comprendre la perspective des autres, pour contrôler ses émotions, pour adapter son comportement et son discours en fonction de l'interlocuteur ou de la situation. Les séances de codage et de robotique effectuées en groupe, nécessitent de nouveaux apprentissages, une résolution de problèmes nouveaux, c'est-à-dire dont la solution n'est pas connue auparavant, de l'orientation spatiale, de la correction d'erreurs ainsi qu'un travail collaboratif avec les pairs. Subséquemment, les séances de codage et de robotique nécessitent l'implication des fonctions exécutives. Ce que cette recherche a tenté d'étudier va au-delà de l'implication des fonctions exécutives dans le codage et la robotique. En effet, cette étude a montré que le codage et la robotique permettent d'améliorer les fonctions exécutives ce qui crée une relation de réciprocité entre les fonctions exécutives d'une part, et le codage et la robotique d'autre part. Conséquemment, les fonctions exécutives mobilisées durant les séances de codage et de robotique pourraient s'améliorer grâce à ces séances. Ce n'est pas une relation univoque car la relation ne va pas uniquement dans le sens des fonctions exécutives ou dans le sens du codage et de la robotique. Dans le cadre de cette étude ce n'est pas une relation circulaire ou de corrélation parce que la recherche menée ne permet pas de conclure que plus les fonctions exécutives sont développées plus la personne est performante. Il s'agit davantage d'une relation de réciprocité parce que les fonctions exécutives sont nécessaires pour la réalisation du codage et de la robotique, et ce dernier élément apporte à son tour une plus-value aux fonctions exécutives. Cette relation de réciprocité peut être expliquée par la figure 12 et modélisée grâce à la figure 13.

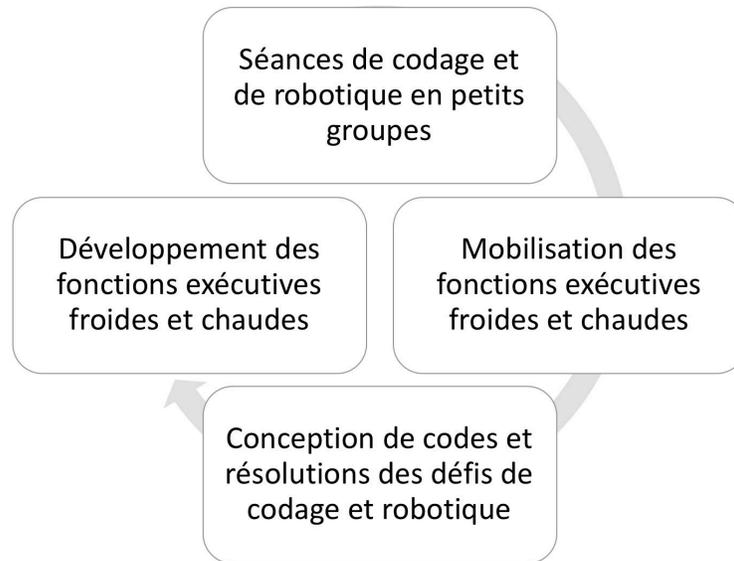


Figure 10 : Le développement des fonctions exécutives grâce à des séances de codage et de robotique.

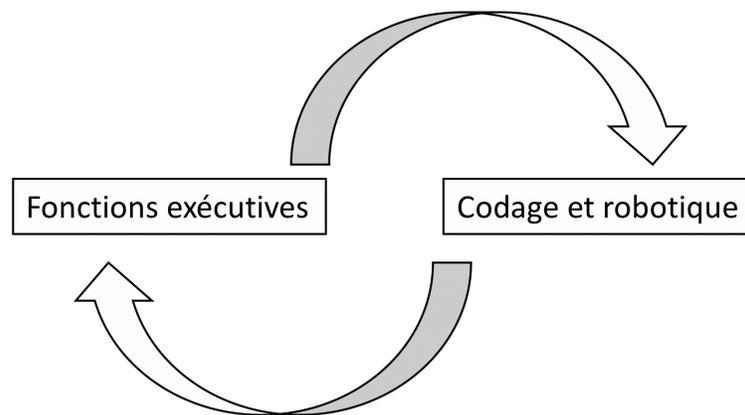


Figure 11 : Relation de réciprocité entre fonctions exécutives et codage et robotique.

VII.3. Modélisation de la situation pédagogique

Le protocole de codage et de robotique conçu en respectant les données de la littérature en lien avec le constructionnisme semble dans le cadre de cette recherche avoir permis le développement des fonctions exécutives chez les participants. Cet apprentissage/enseignement du codage et de la robotique est une situation pédagogique impliquant plusieurs agents.

Nous l'avons vu dans la première partie de ce travail, au niveau mondial, les entités gouvernementales responsables du secteur de l'éducation encouragent l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires afin de permettre aux élèves de développer la littératie numérique et les compétences du XXI^e siècle dont la pensée informatique. Comme pour toute situation pédagogique, les ateliers de codage et de robotique doivent se baser sur des pratiques pédagogiques et une scénarisation pédagogique qui permettent d'atteindre les buts fixés. Pour pouvoir comprendre une situation pédagogique, il est important de la modéliser (Houssaye, 2015). La modélisation proposée dans cette étude s'inspire du triangle pédagogique de Jean Houssaye et le développe pour que cette modélisation puisse répondre aux particularités de la situation pédagogique étudiée. Aux termes de professeur, élève et savoir formulés par Houssaye, nous avons choisi les termes d'enseignant-facilitateur, qui spécifie davantage le rôle du professeur, d'apprenant car nous pensons qu'un apprentissage actif a lieu et enfin de codage et robotique qui constitue l'objet enseigné. Les pratiques pédagogiques ont été ajoutées au triangle de Jean Houssaye pour constituer un quatrième sommet. La littérature montre l'importance que prennent les pratiques pédagogiques pour la réussite de l'apprentissage du codage et de la robotique ce qui explique l'ajout effectué. Dans cette recherche, en se basant sur le scénario pédagogique, sur le constructionnisme et sur la métacognition, les pratiques pédagogiques adoptées pour créer un environnement d'apprentissage adéquat sont les suivantes : l'apprentissage collaboratif, la création de situations d'apprentissage réelles, le bricolage et la construction, l'utilisation d'un matériel ludique, l'évolution au niveau des exigences proposées en résolution de problème et la fréquence des séances.

Le schéma présenté ci-dessous modélise les liens présents entre les quatre pôles durant la situation pédagogique d'enseignement-apprentissage du codage et de la robotique. Nous décomposerons par la suite cette modélisation en plusieurs sous-systèmes afin de la rendre davantage intelligible.

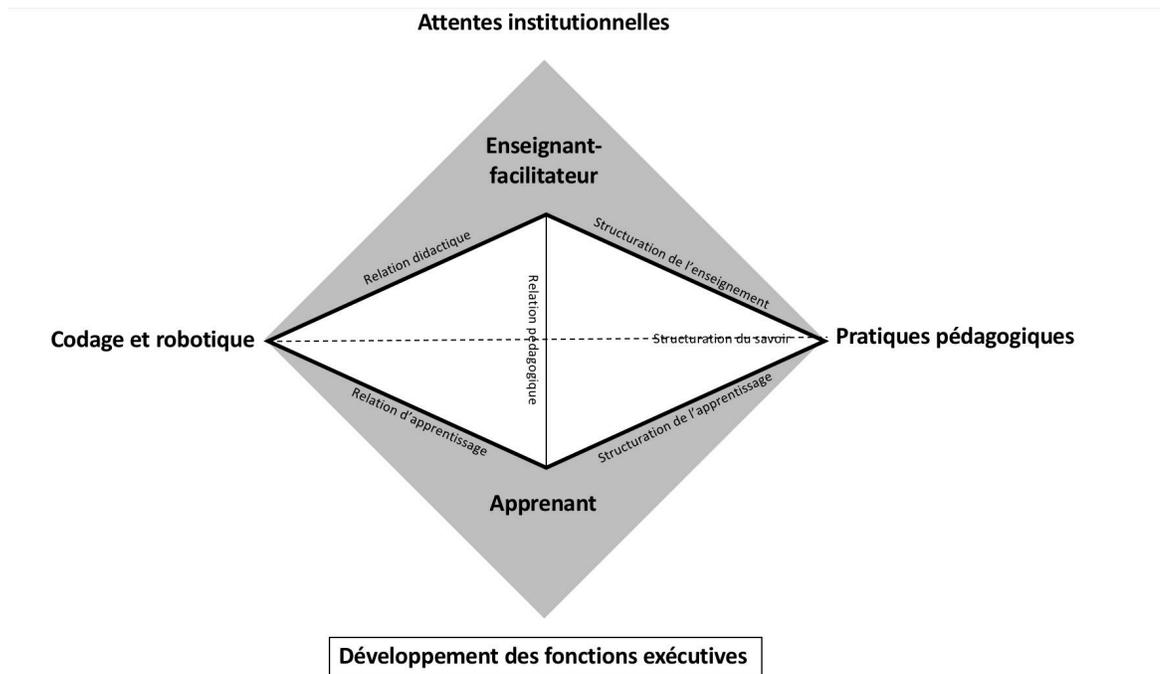


Figure 12 : Modélisation de la situation pédagogique de l'enseignement-apprentissage du codage et de la robotique.

Les sous-systèmes et les faces du schéma :

Sous-système 1 :

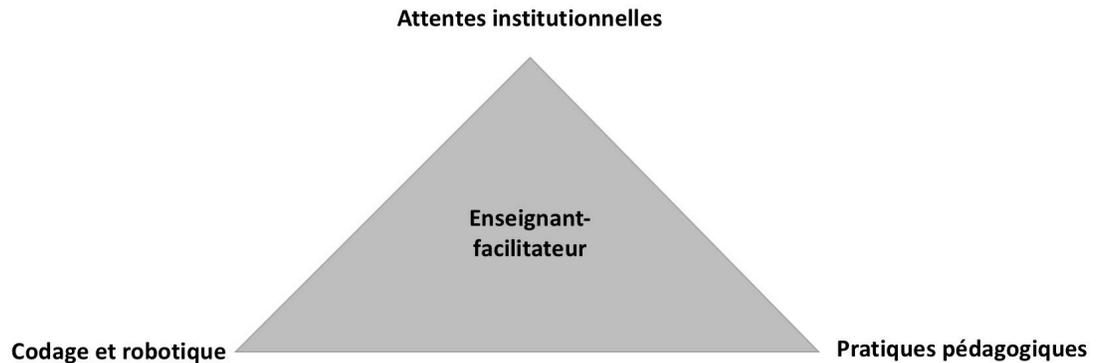


Figure 13 : Place de l'enseignant relativement aux attentes institutionnelles, au savoir à enseigner et aux pratiques pédagogiques.

Nous nous intéressons dans ce premier sous-système aux aspects pratiques des cours de codage et de robotique du point de vue de l'enseignant. Ce sous-système permet d'expliquer et de représenter la place que prend l'enseignant face aux attentes institutionnelles menant à la proposition d'intégrer le codage et la robotique au sein des programmes scolaires. Ce sous-système permet aussi de montrer la place de l'enseignant face au codage et à la robotique en tant que savoir à enseigner et enfin face aux pratiques pédagogiques adoptées. Comme il a été déjà évoqué maintes fois dans cette recherche, nombreuses sont les entités éducatives ayant préconisé l'intégration de cours de codage et de robotique dans les programmes scolaires dans le but de développer les compétences du XXI^e siècle et d'encourager la littératie numérique. Ceci est représenté dans le schéma par le pôle attentes institutionnelles. Afin de mettre en pratique ces attentes institutionnelles, les enseignants peuvent entre autres enseigner le codage et la robotique dans un environnement d'apprentissage approprié, éléments constituant les deux autres pôles du système. En revenant aux discours recueillis par les enseignants libanais proposant des cours de codage et de robotique, nous nous rendons compte que les environnements d'apprentissage ne sont pas identiques dans tous les établissements

scolaires. Comme les entretiens avec les enseignants le montrent, dans certains établissements le codage et la robotique sont enseignés en tant que matière indépendante tandis que dans d'autres ils sont utilisés comme outils d'enseignement. De plus, les établissements scolaires ne disposent pas des mêmes ressources humaines, ni des mêmes ressources matérielles, ni même d'un programme scolaire unifié. Ceci a une influence sur la fréquence des séances de codage et de robotique, sur le choix de matériel proposé aux apprenants et donc sur la motivation, sur l'espace de travail de l'apprenant, sur l'apprentissage collaboratif (certains enseignants proposent un seul outil pour un grand groupe alors que d'autres proposent un outil par petits groupes), sur les objectifs des séances. Tous ces éléments variables d'un établissement à un autre, influencent les pratiques pédagogiques mises en place par l'enseignant qui devront être adaptées. Ces pratiques pédagogiques sont constituées de la conception du scénario pédagogique, du travail sur la métacognition, et de l'environnement d'apprentissage. Ce dernier est composé par le matériel utilisé, par les situations d'apprentissage à proposer, par l'apprentissage collaboratif à développer, par la fréquence des séances et enfin par le niveau de difficulté à accroître selon les conditions environnementales présentes. L'enseignant prend donc un rôle central au niveau de ce système et coordonne attentes institutionnelles et savoir à enseigner afin d'adapter ses pratiques pédagogiques en prenant en compte ces paramètres. La place de l'enseignant au sein de ce système nous ramène aux réflexions de Jacques Wallet sur les nouvelles technologies qui pourraient entrer en concurrence avec l'enseignant (Rinaudo, 2021) pour nous montrer qu'il ne saurait être question de la suppression des enseignants ne peut se faire et qu'ils gardent leur rôle central de contrôle de l'utilisation des TICE (Wallet, 2006).

Sous-système 2 :

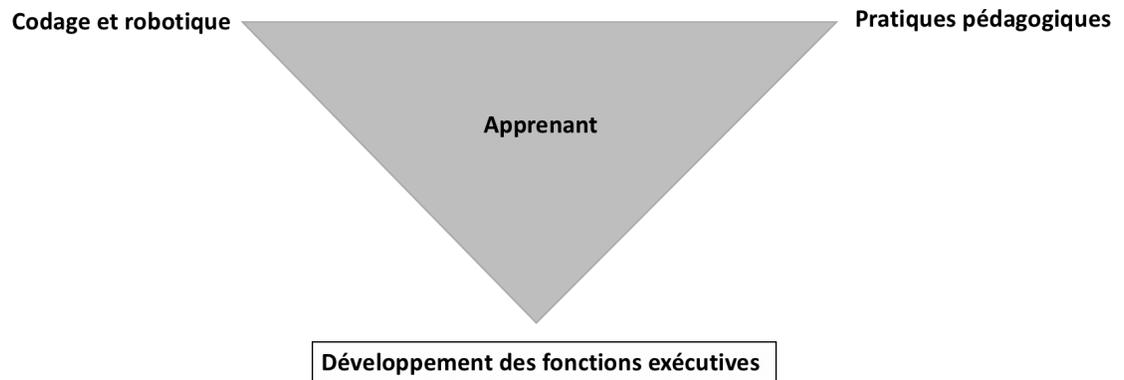


Figure 14 : Le codage et la robotique outil de développement des fonctions exécutives de l'apprenant grâce à des pratiques pédagogiques adaptées.

Les études présentées dans la partie théorique de cette thèse ainsi que les résultats recueillis grâce à un plan en mesures répétées montrent que le codage et la robotique associés aux pratiques pédagogiques présentées, permettent le développement des fonctions exécutives chez l'apprenant. Le constructionnisme décrit par Papert (1980) comme étant le courant en lien avec l'apprentissage de la pensée informatique avait placé l'apprenant au centre de ce système en postulant que l'engagement actif de l'apprenant est primordial dans la construction du savoir. Le protocole fut conçu en suivant les directives du scénario pédagogique de Komis et de ses collaborateurs (2017) ainsi que les perspectives du constructionnisme, ce qui a permis d'appliquer les pratiques pédagogiques en lien avec le codage et la robotique proposées par la littérature. En d'autres termes, les apprenants ont bricolé, ont réalisé des constructions en groupe pour apprendre à coder et ils ont collaboré et discuté ensemble pour réussir à résoudre les problèmes présentés. De plus, le protocole présenté aux participants a respecté une évolution progressive dans la difficulté des problèmes à résoudre, le matériel utilisé était ludique, la motivation envers le travail en groupe et envers les activités proposées était observable et enfin, la métacognition a été mise en place pour la résolution des problèmes. Les pratiques pédagogiques mises en place pour l'apprentissage du codage et de la robotique répondent aux critères repérés au niveau de la littérature pour le

développement des fonctions exécutives. Ces critères sont le respect d'un niveau challenge dans la présentation des activités, la stimulation de toutes les fonctions exécutives simultanément grâce à des activités puisées du quotidien, l'utilisation d'activités ludiques qui répondent aux centres d'intérêt des participants, la mise en jeu de la motivation durant les entraînements et enfin, la mise en place de stratégies de métacognition. La littérature montre que l'apprentissage du codage et de la robotique ainsi que le développement des fonctions exécutives se fondent sur des critères communs, et les résultats de cette recherche montrent que les apprenants effectuant un apprentissage du codage et de la robotique dans le cadre des pratiques pédagogiques citées ont pu développer leurs compétences exécutives.

Les deux sous-systèmes décrits ci-dessus ne prennent pas sens s'ils sont dissociés et ne peuvent fonctionner d'une manière autonome puisque c'est l'apprenant qui donne sens au sous-système 1 et c'est l'enseignant qui contrôle et facilite le sous-système 2. Comme ces deux sous-systèmes ne peuvent fonctionner indépendamment l'un de l'autre, les joindre donne naissance au schéma de la figure 14, un tétraèdre pédagogique du codage et de la robotique où l'enseignant joue le rôle d'un enseignant-facilitateur avec des pratiques pédagogiques régies par les attentes institutionnelles et permettant comme le montrent les résultats de cette recherche de développer les fonctions exécutives grâce au codage et à la robotique. Par la suite, nous allons étudier les différentes faces de ce tétraèdre.

Face 1 du tétraèdre : apprenant – enseignant-facilitateur – codage et robotique

Cette face du tétraèdre s'apparente au triangle pédagogique théorisé par Jean Houssaye (1988) avec le codage et la robotique comme savoir à enseigner et à construire. Il existe donc une relation didactique entre l'enseignant-facilitateur et le codage et la robotique, une relation pédagogique entre l'enseignant-facilitateur et l'apprenant ainsi qu'une relation d'apprentissage entre l'apprenant et le codage et la robotique.

Face 2 : enseignant-facilitateur – apprenant – pratiques pédagogiques

Cette face présente le lien à tisser entre l'enseignant-facilitateur et l'apprenant grâce aux pratiques pédagogiques, au-delà du savoir à enseigner et à construire. L'enseignant-facilitateur utilise les pratiques pédagogiques pour structurer son enseignement et pour tisser des liens avec l'apprenant. L'apprenant investit les pratiques pédagogiques proposées par l'enseignant pour structurer ses propres apprentissages et tisser à son tour des liens avec l'enseignant.

Face 3 : apprenant – codage et robotique – pratiques pédagogiques

Cette phase découle du sous-système 2 et renvoie donc au constructionnisme. L'apprenant a une relation d'apprentissage avec le savoir à construire, le codage et la robotique. Les pratiques pédagogiques permettent une structuration du savoir ainsi qu'une structuration des apprentissages.

Face 4 : enseignant – codage et robotique – pratiques pédagogiques

Cette phase découle également du sous-système 2. On observe une relation didactique entre l'enseignant-facilitateur, le savoir à enseigner, le codage et la robotique et les pratiques pédagogiques. Cette relation permet une structuration de l'enseignement ainsi qu'une structuration du savoir à enseigner.

Les attentes institutionnelles sont représentées en position haute, au-dessus du tétraèdre, car elles ont un rôle d'orientation et de contrôle. Les fonctions exécutives sont quant à elles le produit de ce tétraèdre comme le montrent les résultats de cette recherche.

Le tétraèdre que nous avons proposé se rapproche, par certains côtés d'autres théorisations en lien avec les situations d'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement : le tétraèdre de Faerber, le tétraèdre d'intégration de Lombard ainsi que le carré de Rézeau. Ces trois schémas reprennent les trois pôles du triangle pédagogique de Jean Houssaye et y ajoutent un quatrième pôle. Pour comprendre en quoi notre théorisation se différencie de ces trois autres, nous allons observer en quoi elles se ressemblent, mais aussi sur quels points elles diffèrent.

Chez Faerber (2003), hormis le fait que dans son modèle de tétraèdre l'environnement d'apprentissage est un environnement virtuel, le quatrième pôle représente le groupe. Faerber définit le lien entre l'apprenant et le groupe comme un lien de participation. Dans le travail de recherche mené pour cette thèse, le lien existant entre l'apprenant et le groupe est un lien de collaboration et va au-delà de la participation. De plus, dans cette recherche, grâce à l'apprentissage collaboratif, le groupe fait pleinement partie de l'environnement d'apprentissage qui a son tour fait partie des pratiques pédagogiques mises en place par l'enseignant et constituant le quatrième pôle de notre tétraèdre.

Concernant le tétraèdre d'intégration de Lombard (2007), le quatrième pôle est le dispositif technologique qui constitue dans ce cas-là un outil et non pas le savoir à apprendre/enseigner.

Enfin, dans le carré de Rézeau (2002), le quatrième pôle est constitué des instruments qui sont le contenu enseigné, les méthodes utilisées et les outils employés. Dans ce schéma, les TICE constituent les instruments utilisés pour la transmission du savoir et non pas le savoir à enseigner. Il est vrai que Rézeau s'intéresse à l'apprentissage d'une langue étrangère médiatisé par les TICE et non pas à l'enseignement/apprentissage du codage et de la robotique. Dans notre cas, les TICE constituent à la fois les outils facilitant la transmission du savoir ainsi que le savoir à enseigner.

Le tétraèdre présenté et modélisant la situation pédagogique mise en œuvre dans cette recherche met donc en jeu plusieurs agents. En un premier temps, les attentes institutionnelles régissent le contenu des programmes scolaires et orientent les situations pédagogiques. En un second temps, en accord avec les théories du constructionnisme, l'apprenant est mis en avant, et joue un rôle principal dans la situation d'apprentissage. Il bricole, crée et collabore avec ses pairs pour apprendre. En troisième lieu, l'enseignant-facilitateur met en place des pratiques pédagogiques adaptées au savoir à transmettre et aux particularités des élèves, les quatrième et cinquième agents étant le savoir à développer/transmettre (le codage et la robotique) et les pratiques pédagogiques fondées sur la littérature scientifique et les conditions matérielles et humaines mises à la

disposition de l'enseignant. Toute cette situation pédagogique décrite a permis de développer les fonctions exécutives chez les apprenants suite au protocole de codage et de robotique dans le cadre de cette étude.

VII.4. Limites

Comme tout travail de recherche, ce travail de doctorat a été contraint à plusieurs limites dont certaines sont en lien avec des conditions environnementales et d'autres avec les outils de mesure.

VII.4.1. Limites liées aux contraintes environnementales

En septembre 2019, un accord avait été obtenu de la part du ministère de l'Éducation au Liban pour intervenir dans l'école publique de notre choix du fait que la thématique de la thèse répond aux axes travaillés au sein du ministère. De plus, trois écoles privées avaient donné leur accord pour un démarrage au premier trimestre de l'année scolaire 2019-2020. Le protocole à implémenter était conçu sur une durée de vingt séances. La phase test T_0 a été entamée en septembre 2019 au sein d'une école publique et d'une école privée et sept semaines plus tard l'implémentation du protocole a démarré. Une crise financière a touché le pays en octobre 2019 et les séances présentées n'étaient pas régulières en raison de la fermeture des écoles dues aux blocages des routes et aux manifestations. Une seconde tentative a débuté en janvier 2020, comme la situation sociale se calmait, mais le protocole a été réduit à douze séances, soit quatre semaines par phase, afin de minimiser le risque de suspension. Toutefois en raison de la pandémie du COVID-19, une décision ministérielle a suspendu l'activité scolaire le 1^{er} mars 2020, les établissements scolaires ont été fermés et le pays a été soumis à un confinement total. Une phase d'arrêt de confinement a eu lieu entre juin et juillet 2020, de petits regroupements étaient permis, toutefois les établissements scolaires devaient rester fermés. Un appel a été lancé afin de recruter des participants pour cette étude et le protocole de douze séances a été implémenté auprès de 35 participants volontaires, hors du cadre scolaire. La première semaine du mois d'août, un confinement total et un couvre-feu ont été imposés de nouveau ce qui a eu pour effet que nous n'avons pas pu lancer un appel pour accueillir de nouvelles personnes et élargir l'échantillon de 35 participants. Le 4 août 2020 une explosion a ravagé le pays, la crise financière et la crise sanitaire se sont accrues et les répercussions sur le peuple libanais furent énormes. Les

établissements scolaires n'ont pas ouvert leurs portes sur l'année 2020-2021 et l'enseignement s'est fait en ligne relativement aux moyens des établissements et des familles. L'observation des séances de codage et de robotique au sein des établissements scolaires n'a pas pu avoir lieu entre 2019 et 2021 et ne pourra pas avoir lieu durant l'année scolaire 2021-2022 parce les établissements scolaires publics ont rouvert leurs portes en mars 2022 et les établissements scolaires privés ouverts depuis septembre 2021 ne dispensent pas tous d'enseignement tous les jours et dispensent les enseignements de sujets et matières prioritaires.

Cette étude portant sur l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires n'a donc pas pu aboutir à tous les objectifs initialement projetés. Les objectifs, les moyens, la méthodologie et le contexte ont dû être adaptés aux conditions environnementales présentes. Ainsi, le protocole a été raccourci, l'échantillon a été limité à 35 participants ce qui n'a pas permis de mettre en place un groupe témoin afin d'effectuer un croisement des résultats des mesures répétées, et enfin le protocole n'a pu être implémenté dans des établissements scolaires, mais plutôt dans un centre municipal.

VII.4.2. Limites liées aux outils d'évaluation

Afin de réduire autant que possible les biais au niveau des évaluations, plusieurs méthodes ont été utilisées dont les mesures répétées faisant partie de la méthode expérimentale, la méthode corrélationnelle et les méthodes descriptives.

Nous avons opté au niveau des mesures répétées pour l'utilisation de tâches cognitives informatisées afin de contrôler les biais liés à l'expérimentateur (Borst & Cachia, 2018). Toutefois des biais pourraient être tout de même relevés.

Un biais au niveau de la tâche *Go / No Go* pourrait exister. Les résultats obtenus au niveau de l'inhibition du comportement grâce à cette tâche cognitive montrent un effet paradoxal. En effet, la diminution des fausses alarmes est plus importante en T_1 qu'en T_2 ce qui pourrait sembler être un effet d'apprentissage, alors que les omissions augmentent en T_1 pour diminuer suite à l'entraînement. Comme les résultats ne sont pas homogènes,

nous ne pouvons pas parler de facteur d'apprentissage au niveau de cette tâche, sinon, nous aurions observé une diminution des omissions en T_1 comme la diminution observée au niveau des fausses alarmes. Toutefois, certaines études ont montré que la lenteur de la réponse motrice effectuée par l'individu pourrait biaiser le résultat obtenu au niveau de la tâche *Go / No Go*, et pourrait avoir des implications majeures sur l'utilisation des tâches *Go / No Go* dans les évaluations expérimentales (Wessel, 2017 ; Wessel , 2018). Cette lenteur motrice pourrait avoir des répercussions si le signal disparaît avant que le participant n'ait pu avoir le temps de cliquer. Ceci pourrait expliquer la diminution des fausses alarmes et l'augmentation des omissions chez certaines personnes.

Bien que la tâche N-back soit la tâche cognitive la plus utilisée pour l'évaluation de la mémoire de travail (Meule, 2017), un biais en lien avec la composante réponses correctes pourrait tout de même exister. Hur et ses collègues (2017) ont avancé l'hypothèse d'un plafond au niveau du nombre d'erreurs et le nombre de réponses correctes avec des variations qui existent plutôt au niveau des temps de réaction au niveau de cette tâche. Toutefois, nous avons préféré utiliser la composante nombre de réponses correctes parce que les efforts des participants sont généralement axés davantage sur la précision d'exécution de la tâche que sur la rapidité de réponse (Meule, 2017). Cette hypothèse pourrait expliquer l'effet d'apprentissage observé au niveau de l'analyse statistique.

L'analyse statistique des mesures répétées de la tâche *Flanker* a montré qu'une évolution significative a eu lieu entre T_0 et T_1 . L'évolution reste beaucoup plus grande et plus significative entre T_1 et T_2 . Le biais relié à ce résultat pourrait être le fait que la tâche *Flanker* a été la première tâche informatisée présentée aux participants. Un exemple non coté a eu lieu avec l'enregistrement des résultats, mais comme c'était la première épreuve il est possible qu'une réactivité de la part des participants ait influencé les résultats en T_0 .

Ces tests restent fiables et sont utilisés au niveau des recherches en mesures répétées et pour plus d'exactitude ils ont été accompagnés dans cette étude par des évaluations qualitatives pour permettre une représentation holistique de l'évaluation.

VIII. Conclusion

Cette recherche avait plusieurs objectifs. Le premier étant d'examiner le degré de mobilisation des fonctions exécutives froides et chaudes dans les activités de codage et de robotique, le second étant de vérifier si les séances de codage et de robotique permettent le développement des fonctions exécutives et le troisième étant de juger si les caractéristiques présentées par les participants influencent l'évolution au niveau des fonctions exécutives.

L'application du codage et de la robotique faite dans cette étude répond à la notion de robotique pédagogique qui est définie comme étant « l'utilisation des technologies informatiques dans leurs fonctions d'observation, d'analyse, de modélisation et de contrôle de différents processus physiques » (Komis & Misirli, 2012, p. 144). Concrètement les apprenants sont poussés à collaborer afin de construire un robot, de concevoir un code, de définir un objectif, de structurer le plan nécessaire pour aboutir à l'objectif et résoudre le problème posé en confrontant leur point de vue les uns avec les autres.

Les institutions en lien avec les politiques éducatives incitent les établissements scolaires à développer leurs moyens et compétences en lien avec les TIC dont les activités de codage et de robotique. L'intégration de la discipline de codage et de robotique dans les programmes scolaires répond au développement des compétences du XXI^e siècle qui incluent la littératie numérique et les fonctions exécutives foibles (La fonction publique de l'Ontario, 2016). Une des dimensions de la littératie numérique est la pensée informatique (Karsenti, 2019) qui suppose un travail de bricolage, de création, de débogage, de persévérance et de collaboration entre les pairs pour la conception d'un produit numérique et le contrôle d'un objet tangible « le robot » (Kalelioğlu, 2018 ; Hunsaker, 2018).

Afin de développer la pensée informatique en apprenant à coder, les élèves mobilisent une variété de compétences dont la pensée critique, la résolution de problèmes, les compétences sociales, l'autogestion et les compétences académiques. Il est donc nécessaire de passer par une démarche structurée de conception de la situation

pédagogique, et de favoriser un rôle de facilitation de la part de l'enseignant (Popat & Starkey, 2019).

Komis, Romero et Misirli (2017) proposent un modèle de scénarisation pédagogique de l'enseignement du codage et de la robotique qui permet de minimiser les défauts méthodologiques en lien avec la conception pédagogique et la présentation des séances. Selon ce modèle, les étapes à suivre au niveau de la présentation des activités sont les suivantes : des activités préparatoires, des activités pour la construction des connaissances de base, des activités de consolidation de la construction des connaissances, des activités d'évaluation et des activités de métacognition. Ce modèle a été suivi pour la conception du protocole de codage et de robotique utilisé dans cette recherche. De plus, la situation pédagogique présentée s'est appuyée sur les idées du constructionnisme qui place l'apprenant au centre de la situation d'apprentissage. Selon ce modèle, les apprenants construisent leur savoir en collaborant et partageant leurs idées durant la conception d'un code permettant la mise en marche d'un robot. La situation pédagogique n'exclut pas du tout l'enseignant. Elle lui donne plutôt le rôle d'un enseignant facilitateur qui pousse les apprenants à effectuer des réflexions pertinentes et se corriger en mettant en place des stratégies de métacognition.

Par ailleurs, plusieurs pays se sont mis le défi d'intégrer le codage et la robotique dans leurs cursus scolaires. L'état des lieux effectué dans le cadre de cette recherche montre que des disparités existent entre les pays et parfois au sein d'un même pays comme dans le cas du Liban où s'est déroulée cette étude. Au Liban, l'intégration des cours de codage et de robotique au sein des programmes se fait relativement aux ressources humaines et matérielles dont disposent les établissements scolaires. Il n'existe pas encore de plan national clair vis-à-vis du contenu ou de l'introduction de la discipline TIC qui devrait inclure le codage et la robotique, mais des comités sont en cours de constitution pour la conception du contenu de cette discipline en se basant sur les recherches effectuées au niveau mondial.

L'état des lieux des recherches portant sur le codage et la robotique montre l'importance de la diversification du matériel utilisé pour présenter des expériences riches

et variées et favoriser la créativité ainsi que la résolution de problèmes. Les objectifs proposés en lien avec la pensée informatique sont entre autres la création d'algorithmes, de flux de contrôle et de boucles de répétition. Ces objectifs ont été inclus dans le protocole conçu.

En outre, construire un robot et le coder pour le déplacer dans l'espace et exécuter des commandes met en jeu plusieurs compétences qui ne sont pas en lien avec le numérique. Parmi ces compétences, nous citons la construction en se référant à un modèle ou sans modèle, la nécessité de trouver des alternatives aux erreurs ou obstacles rencontrés, et l'orientation dans l'espace pour déplacer le robot ou l'objet programmable. Nous citons aussi, la mémorisation des consignes, des étapes à suivre et des fonctions des blocs de contrôle. La nécessité de poser des objectifs et des plans est aussi mobilisée. Enfin, comme le travail se fait en groupe il est important que les apprenants mobilisent l'écoute active, la communication relationnelle, l'empathie, le partage des tâches et la bienveillance à l'égard des avis différents.

La mobilisation durant les activités de codage et de robotique des compétences citées, a permis la naissance de la problématique de cette recherche. Ces compétences rappellent les fonctions exécutives froides et chaudes qui sont le contrôle de l'inhibition, la mémoire de travail, la flexibilité mentale, la résolution de problèmes et la planification, l'autorégulation du comportement, la prise de décision affective et la cognition sociale (Roy, Fournet, Le Gall, & Roulin, 2021). Les fonctions exécutives sont impliquées dans toute sorte d'apprentissage (Diamond A. , 2013) et pourraient donc l'être au niveau de l'apprentissage du codage et de la robotique. Le développement des fonctions exécutives se fait dans un environnement motivant et ludique riche en expérimentation et où toutes les fonctions exécutives sont mobilisées à la fois (Borst, 2018). Enfin, les individus peuvent bénéficier d'un développement de leurs fonctions exécutives grâce à la plasticité cérébrale qui permet au cerveau un remodelage continu (Habib, 2014).

Ces avancées scientifiques ont soutenu la problématique de cette recherche, et pour y répondre un protocole de 12 séances de codage et de robotique a été conçu et proposé à 35 enfants âgés de 9 à 11 ans et scolarisés en classe de CM1 et CM2 au Liban. Le

protocole a été conçu en respectant les recommandations tirées du constructionnisme ainsi que du scénario pédagogique proposé par Komis, Romero et Misirli. Plusieurs défis ont influencé l'implémentation de ce protocole et le choix de la méthodologie adoptée. Le premier défi fut la crise économique qui dure depuis 2019 au Liban et qui a causé un arrêt de l'implémentation du protocole ainsi qu'un changement de méthodologie. En effet, au moment où cette recherche a été réfléchi, les mesures répétées devaient être croisées entre un groupe contrôle n'ayant pas suivi des séances de codage et de robotique et le groupe expérimental. Toutefois, la crise économique ayant causée des fermetures ponctuelles, mais fréquentes des établissements scolaires, une adaptation de la démarche fut nécessaire. Le deuxième défi fut la pandémie Covid-19 qui a causé une fermeture prolongée des établissements de mars 2020 à septembre 2021⁴⁵. Afin de poursuivre le travail, au lieu d'implémenter le protocole au sein des établissements scolaires, le protocole fut implémenté dans un centre municipal. De plus, les observations de séances de codage et de robotique ayant lieu dans les établissements scolaires n'ont pu être effectuées. Le troisième défi fut l'explosion ayant lieu à Beyrouth le 4 août 2021 qui a entre autres amplifié les conséquences de la crise économique et de la pandémie. Le protocole a dû être proposé à uniquement 35 participants entre juin 2020 et août 2021 et l'échantillon n'a pu être agrandi.

Malgré ces défis, le protocole a permis de répondre aux trois hypothèses posées. En réponse à la question de mobilisation des fonctions exécutives durant les séances de codage et de robotique, les observations structurées et les traces informatiques ont montré qu'un temps de réflexion et de traitement de l'information a été pris avant le démarrage de l'exécution ce qui implique le contrôle inhibiteur. Les participants ont dû aussi restituer les informations préalablement données ce qui justifie de la mobilisation de la mémoire de travail. De plus, les participants ont dû généraliser les apprentissages effectués pour s'adapter aux changements de consignes et de situations ce qui implique un recours à la flexibilité mentale. Par ailleurs, afin d'aboutir à leurs objectifs de contrôle

⁴⁵ Les établissements scolaires privés ont repris l'enseignement en septembre 2021 et les établissements scolaires publics ont repris l'enseignement en mars 2022.

et de déplacement de l'objet programmable, ils ont dû mettre en place un plan, le corriger et l'adapter en fonction des réponses du robot. Ceci engage des compétences de résolution de problèmes et de planification. Les observations structurées ont montré aussi que les participants ont créé une ambiance agréable grâce à leurs interactions, ils ont pu s'écouter, discuter et prendre des décisions. Certains se sont efforcés d'aider ceux qui avaient du mal à comprendre ou à exécuter les tâches, et d'autres ont défendu leurs pairs au besoin. Ces comportements impliquent la cognition sociale, l'autorégulation du comportement et la prise de décision affective. Ainsi, les séances de codage et de robotique ont permis la mobilisation de toutes les fonctions exécutives.

En réponse à l'évolution des fonctions exécutives, les observations structurées ont permis de montrer que les participants ont évolué au niveau de la mobilisation de toutes les fonctions exécutives froides et chaudes. Les mesures répétées ont montré une évolution statistiquement significative des compétences de contrôle des interférences, de flexibilité cognitive et de résolution de problèmes. La mémoire de travail et l'inhibition du comportement n'ont pas montré d'évolution statistiquement significative ce qui peut être en lien avec les biais d'utilisation des tâches cognitives ou de la durée du protocole.

En réponse à l'influence que pourraient avoir les caractéristiques présentées par les participants sur l'évolution des fonctions exécutives, les analyses statistiques ont montré que dans le cadre de cette étude, le niveau socio-économique, le genre, la participation antérieure à des séances de codage et de robotique ainsi que le niveau général de fonctionnement exécutif n'ont pas d'influences sur l'évolution observée suite aux séances de codage et de robotique.

La motivation face au travail de groupe et au travail proposé ainsi que la mobilisation de la métacognition sont les variables parasites étudiées. Le questionnaire d'enquête montre que ces variables ont été mobilisées chez les participants. On retrouve ici les résultats des recherches et études portant sur le codage et la robotique.

Sur le plan personnel, ce travail de recherche m'a permis de concrétiser les réflexions que j'avais sur les liens entre le codage et la robotique d'une part et les fonctions exécutives d'autre part grâce à un contact direct avec le terrain de recherche. Il m'a

autorisé aussi à vivre l'expérience de double posture que pourrait prendre un chercheur-praticien ; expérience enrichissante tant au niveau du contact avec le terrain qu'au niveau de la distanciation à avoir avec le terrain. Par ailleurs, grâce à cette étude j'ai eu la chance de m'ouvrir aux méthodes qualitatives de collectes de données qui associées aux méthodes quantitatives m'ont permis de trouver un équilibre entre les imprévus ayant eu lieu sur le terrain de recherche et la progression au niveau du travail de recherche. Enfin, cette recherche m'a permis d'allier entre deux domaines qui m'intéressent tant et qui sont les Sciences de l'éducation et les Sciences cognitives.

Plusieurs perspectives s'ouvrent à la suite de cette recherche. Lorsque cette étude a débuté, elle s'inscrivait dans le projet du ministère de l'Éducation libanais qui encourageait l'intégration du codage et de la robotique dans les programmes scolaires. Certains établissements avaient déjà pris l'initiative et expérimentaient ces ateliers-là depuis plusieurs années alors que d'autres établissements se préparaient à le faire. La situation du pays n'a pas permis d'évaluer sur le terrain les différents ateliers afin de les comparer. Ainsi, une première perspective serait d'effectuer des observations des différentes stratégies d'intégration du codage et de la robotique proposées par les établissements, et de comparer les résultats des élèves aux résultats obtenus au niveau de cette recherche.

Une deuxième perspective serait d'élargir l'échantillon ainsi que la durée d'entraînement afin d'obtenir des résultats plus solides permettant de consolider nos résultats et d'en tirer des conclusions plus généralisables.

De plus, il serait intéressant dans une poursuite de ce travail de thèse, d'analyser les effets du codage et de la robotique auprès de participants plus âgés, notamment des adolescents. Ceci, afin de vérifier si la genèse des processus de métacognition et de motivations internes pourrait avoir une influence sur la mobilisation ou le développement des fonctions exécutives suite à des séances de codage et de robotique.

Dans une quatrième perspective, il serait important de soutenir les résultats obtenus par des résultats d'IRM-fonctionnelle démontrant quelles régions du cerveau sont activées lors de l'exécution de tâches de codage et de robotique.

Par ailleurs, sur une perspective plus pragmatique, il serait important de proposer un accompagnement des enseignants sur les critères à respecter afin de pouvoir intégrer le codage et la robotique d'une manière efficiente dans les établissements, que ce soit sous la forme de robotique pédagogique ou de robotique éducative.

Enfin, tenant compte de mon domaine d'exercice professionnel, il serait intéressant de présenter des séances de codage et de robotique adaptées à un public ayant des troubles neurodéveloppementaux ou un handicap. Ces séances seraient adaptées aux compétences des personnes et impliqueraient comme dans le cadre de cette étude un matériel ludique ainsi que des réponses concrètes et tangibles. Ceci afin de vérifier si ce type d'activités permet de mobiliser chez ce public les fonctions exécutives ou d'autres compétences cognitives comme l'orientation dans l'espace et la perception visuelle.

IX. Bibliographie

- Abou Tayeh, P. (2003). *La biologie entre opinions et connaissances : les conceptions d'enseignants et d'étudiants sur le cerveau et son épigénèse et sur d'autres déterminismes génétiques et épigénétiques*. Lyon: Claude Bernard Lyon 1.
- Acevedo-Borrega, J., Valverde-Berrocso, J., & Garrido-Arroyo, M. (2022). Computational Thinking and Educational Technology: A Scoping Review of the Literature. *Education Sciences, 12*(1), 39.
- AEFE. (2021, Février 19). *Les établissements de la zone du proche-orient*. Consulté le Février 19, 2021, sur Agence pour l'enseignement français à l'étranger.: <https://www.aefe-proche-orient.net/les-etablissements?country=lb>
- Agence Nationale Suédoise de l'Éducation. (2017). *Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet REVIDERAD 2017*. Consulté le Mars 30, 2020, sur Svenska utbildningsverket: <https://www.skolverket.se/publikationer?id=3813>
- Aho, A. V. (2012). Computation and computational thinking. *The Computer Journal, 55*(7), 832–835.
- Alimisis, D., Moro, M., & Menegatti, E. (2016). *Educational robotics in the makers era* (Vol. 560). Warsaw: Springer.
- Allain, P., & Le Gall, D. (2008). Approche théorique des fonctions exécutives. Dans O. Godefroy, P. Azouvi, D. Le Gall, T. Meulemans, C. Mosca, & P. Robert, *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques. Evaluation en pratique clinique*. (pp. 9-42). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur SA.
- Alsoliman, B. H. (2018). The Utilization of Educational Robotics in Saudi Schools: Potentials and Barriers from the Perspective of Saudi Teachers. *International Education Studies, 11*(10), 105-111.
- Amadiou, F., & Tricot, A. (2020). *Apprendre avec le numérique*. Paris: Retz.

- Amado, G., & Guittet, A. (2017). Interaction et influence. Dans G. Amado, & A. Guittet, *Dynamique des communications dans les groupes* (pp. 87-100). Paris: Armand Colin.
- Ambrosio, A. P., Almeida, L. d., Macedo, J., & Franco, A. (2014). Exploring Core Cognitive Skills of Computational Thinking. *PPIG 2014 - 25th Annual Workshop* (pp. 1-10). Sussex: University of Sussex.
- Anderson , V. A., Anderson, P., Northam, E., Jacobs, R., & Catroppa, C. (2001). Development of executive functions through late childhood and adolescence in an Australian sample. *Developmental Neuropsychology*, 20(1), 385–406.
- Antonini, T. N., Becker, S. P., Tamm, L., & Epstein, J. N. (2015). Hot and Cool Executive Functions in Children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder and Comorbid Oppositional Defiant Disorder. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 21(8), 584–595.
- Arfé, B., Vardanega, T., & Ronconi, L. (2020). The effects of coding on children’s planning and inhibition skills. *Computers & Education*, 148, 103807.
- Arfé, B., Vardanega, T., Montuori, C., & Lavanga, M. (2019). Coding in Primary Grades Boosts Children’s Executive Functions. *Frontiers in psychology*, 10, 2713-2731.
- Association Libanaise des sciences de l’éducation. (2006). *La Stratégie Nationale de L’éducation et de L’enseignement au Liban : Rapport Final*. Beyrouth: Association Libanaise des sciences de l’éducation.
- Astolfi, J.-P. (1997). *L’erreur, un outil pour enseigner*. Issy-Les-Moulineaux: ESF.
- Athanasidou, L., Topali, P., & Mikropoulos, T. A. (2017). The Use of Robotics in Introductory Programming for Elementary Students. Dans D. Alimisis, E. Menegatti, & M. Moro, *Educational Robotics in the Makers Era* (pp. 183-192). Cham: Springer International Publishing.
- Atmatzidou, S., & Demetriadis, S. (2017). A Didactical Model for Educational Robotics Activities: A Study on Improving Skills Through Strong or Minimal Guidance. Dans

- D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti, *Educational Robotics in the Makers Era* (pp. 58-72). Cham: Springer Nature.
- Au, J., Sheehan, E., Tsai, N., Duncan, G. J., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. M. (2015). Improving fluid intelligence with training on working memory: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22, 366–378.
- Aubret, J., & Blanchard, S. (2010). Techniques de groupe : Observation des comportements et des compétences sociales. Dans J. Aubret, & S. Blanchard, *Pratique du bilan personnalisé* (pp. 205-231). Paris: Dunod.
- Autorité d'Évaluation et de Communication du Curriculum Australien. (2015, Decembre). *Digital technologies*. Consulté le Mars 30, 2020, sur Australian curriculum: https://docs.acara.edu.au/resources/Digital_Technologies_-_Sequence_of_content.pdf
- Ayhan, Ö. (2011). Non-Probability Sampling Survey Methods. Dans M. Lovric, *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 980-981). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford: Clarendon press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in cognitive sciences*, 4(11), 417-423.
- Balanskat, A., & Engelhardt, K. (2015). *Computer programming and coding Priorities, school curricula and initiatives across Europe*. Bruxelles: European Schoolnet.
- Balanskat, A., Engelhardt, K., & Licht, A. H. (2018). *Strategies to include computational thinking in school curricula in Norway and Sweden- European Schoolnet's 2018 Study Visit*. Bruxelles: European Schoolnet.
- Bales, R. F. (1950). A Set of Categories for the Analysis of Small Group Interaction
Author(s): Robert F. Bales. *American Sociological Review*, 15(2), 257-263.

- Bargagna, S., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dario, P., Dell’Omo, M., . . . Sgandurra, G. (2019). Educational Robotics in Down Syndrome: A Feasibility Study. *Technology, Knowledge and Learning, 24*, 315–323.
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer education science community? *ACM Inroads, 2*(1), 48-54.
- Baudrit, A. (2007). *L’apprentissage collaboratif : Plus qu’une méthode collective ?* . Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Beecher, K. (2017). *Computational Thinking: A Beginner's Guide to Problem-Solving and Programming*. Swindon: BCS Learning & Development Limited.
- Bergman Nutley, S., Söderqvist, S., Bryde, S., Thorell, L. B., Humphreys, K., & Klingberg, T. (2011). Gains in fluid intelligence after training non-verbal reasoning in 4-year-old children: a controlled, randomized study. *Developmental Science, 14*, 591-601.
- Bers, M. U., Ponte, I., Juelich, K., Viera, A., & Schenker, J. (2002). Teachers as designers: integrating robotics in early childhood education. *Information Technology in Childhood Education, 123-145*.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A Developmental Perspective on Executive Function. *Child development, 81*(6), 1641-1660.
- Béziat, J. (2019). À l'école primaire, robotique éducative en milieu ordinaire. *Spirale - Revue de recherches en éducation, 63*, 91-109.
- Béziat, J., & Villemonteix, F. (2016). Les TICE au quotidien. Suffit-il d’en faire ? *Education & Formation, e-304-02*.
- Bion, W. R. (1961). *Experiences in groups*. New York: Tavistock Publications Limited.
- Blair, C. (2016). Developmental Science and Executive Function. *Current Directions in Psychological Science, 25*(1), 3-7.

- Blair, C., & Raver, C. (2014). Closing the achievement gap through modification of neurocognitive and neuroendocrine function: results from a cluster randomized controlled trial of an innovative approach to the education of children in kindergarten. *PLoS ONE*, *9*(11), e112393.
- Blair, K. A., Denham, S. A., Kochanoff, A., & Whipple, B. (2004). Playing it cool: Temperament, emotion regulation, and social behavior in preschoolers. *Journal of School Psychology*, *42*(6), 419–443.
- Bocconi, S., Chiocciariello, A., & Earp, J. (2018). The nordic approach to introducing computational thinking and programming in compulsory education. *Nordic BETT*, 1-32.
- Borst, G. (2018). Les fonctions exécutives. Dans O. Houdé, & G. Borst, *Le cerveau et les apprentissages* (pp. 183-205). Paris: Nathan.
- Borst, G., & Cachia, A. (2018). La méthode expérimentale. Dans G. Borst, & A. Cachia, *Les méthodes en psychologie* (pp. 61-89). Paris: Presses Universitaires de France.
- Borst, G., & Cachia, A. (2018). Les méthodes descriptives. Dans G. Borst, & A. Cachia, *Les méthodes en psychologie* (pp. 17-39). Paris: Presses Universitaires de France.
- Brackman, C. P., Barone, D., & Boucinha, R. M. (2019, Avril 4). Development of Computational Thinking In Brazilian Schools With Social And Economic Vulnerability: How To Teach Computer Science Without Machines. *International Journal of Innovation Education and Research*, *7*(4), 79-96.
- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L., & Grimm, K. J. (2009). The contributions of 'hot' and 'cool' executive function to children's academic achievement, learning-related behaviors, and engagement in kindergarten. . *Early Childhood Research Quarterly*, *24*(3), 337-349.
- Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology*, *26*, 571–593.

- Bru, M. (2021). *Les méthodes en pédagogie*. Paris cedex 14: Presses Universitaires de France.
- Bryman, A. (2006). *Mixed methods: A four volume set*. Thousand Oaks: Sage.
- Bugmann, J., & Karsenti, T. (2018). Apprendre à programmer un robot humanoïde : impacts sur des élèves de l'adaptation scolaire. *Formation et profession*, 26(1), 26-42.
- Bull, R., Espy, K. A., & Senn, T. E. (2004). A comparison of performance on the Towers of London and Hanoi in young children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(4), 743–754.
- BusinessTech. (2020, Décembre 23). *The plan to bring coding and robotics subjects to South African schools*. Consulté le Février 12, 2021, sur My Broadband: <https://mybroadband.co.za/news/government/380400-the-plan-to-bring-coding-and-robotics-subjects-to-south-african-schools.html>
- Caballero-González, Y., & García-Valcárcel, A. G. (2019). Robotics to develop computational thinking in early Childhood Education. *Comunicar*, 27(59), 63-72.
- Caci, B., Chiazzese, G., & D'Amico, A. (2013). Robotic and virtual world programming labs to stimulate reasoning and visual-spatial abilities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 93, 1493 – 1497.
- Carrasco, M. (2014). Spatial Covert Attention: Perceptual Modulation. Dans A. G. Nobre, & S. Kastner, *The Oxford Handbook of Attention* (pp. 183-230). Oxford: Oxford University Press.
- Censabella, S. (2007). Les fonctions exécutives. Dans M.-P. Noël, *Bilan neuropsychologique de l'enfant* (pp. 117-137). Wavre: Mardaga.
- Chan, R., Shum, D., Toulopoulou, T., & Chen, E. Y. (2008). Assessment of executive functions: review of instruments and identification of critical issues. *Archives of clinical neuropsychology*(23), 201-216.

- Chevalier, M., Giang, C., El-Hamamsy, L., Bonnet, E., Papaspyros, V., Pellet, J.-P., . . . Mondada, F. (2022). The role of feedback and guidance as intervention methods to foster computational thinking in educational robotics learning activities for primary school. *Computers & Education, 180*, 104431 .
- Chevalier, N. (2010). Les fonctions exécutives chez l'enfant: Concepts et développement. *Canadian psychology, 51*(3), 149–163.
- Choi, H., & Kim, M. (2017). Designing a New Teacher Education Course for Integrating Design Thinking with Computational Thinking. *Journal of The Korean Association of Information Education, 21*, 343-350.
- Coderina. (2020, Juillet 7). *Nigerian Federal Government Partner with Coderina to Introduce Robotics and Coding in Schools*. Consulté le Février 12, 2021, sur Coderina: Coder in Africa: <https://coderina.org/nigerian-federal-government-partner-with-coderina-to-introduce-robotics-and-coding-in-schools/>
- Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biology, 10*(3), e1001293.
- Conner, B. T., Stein, J. A., & Longshore, D. (2008). Examining self-control as a multidimensional predictor of crime and drug use in adolescents with criminal histories. *The journal of behavioral health services & research, 36*(2), 137-149.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Neuroscience Reviews, 3*(3), 201-215.
- Coste, M. H., & Krolak-Salmon, P. (2017). Remédiation cognitive dans la maladie d'Alzheimer. Dans N. Franck, *Remédiation cognitive* (éd. 2ème édition, pp. 349-376). Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- Coulacoglou, C., & Saklofske, D. H. (2018). Executive Function, Theory of Mind, and Adaptive Behavior. Dans C. Coulacoglou, & D. H. Saklofske, *Psychometrics and Psychological Assessment. Principles and Applications* (pp. 91-130). Cambridge, Massachusetts: Academic Press.

- Cragg, L., & Nation, K. (2008). Go or no-go? Developmental improvements in the efficiency of response inhibition in mid-childhood. *Developmental Science, 11*, 819–827.
- CRDP. (2015). *École et numérique : interroger nos pratiques*. Beyrouth: CRDP.
- CRDP. (2017). *Les écoles au Liban : chiffres et indicateurs*. Beyrouth: CRDP.
- CRDP. (2020). *Rapport Statistique de l'année scolaire 2020-2021*. Beyrouth: CRDP.
- CRDP Liban. (1997). *Programme pour l'enseignement de l'informatique*. Consulté le Juin 22, 2020, sur Centre de Recherche et de Développement Pédagogiques: <http://www.crdp.org/curr-content-desc?id=14>
- Creswell, J. W. (2016). *30 essential skills for the qualitative researcher*. Sage: Thousand Oaks.
- Creswell, J. W., & Creswell, D. J. (2018). *Research design: qualitative, quantitative and mixed methods approaches* (éd. 5ème édition). Los Angeles: Sage.
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (éd. 3ème édition). Thousand Oaks: Sage.
- da Silva Eloy, A. A., Martins, A. R., Pazinato, A. M., Lukjanenko, M. S., & Lopes, R. d. (2017, Juin). *Programming Literacy: Computational Thinking in Brazilian Public Schools*. Stanford, CA, USA: IDC 2017.
- Dajani, D., Llabre, M., Nebel, M., Mostofsky, S., & Uddin, L. (2016, November). Heterogeneity of executive functions among comorbid neurodevelopmental disorders. *Scientific Reports, 6*(36566), 1-10.
- Dal Forno, A., & Merlone, U. (2013). Nonlinear dynamics in work groups with Bion's basic assumptions. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences, 17*(2), 295-315.
- Damon, W. (1984). Peer education : The untapped potential. *Journal of Applied Developmental Psychology, 5*, 331-343.

- Dehn, M. J. (2014). Supporting and Strengthening Working Memory in the Classroom to Enhance Executive Functioning. Dans S. Goldstein, & J. A. Naglieri, *Handbook of Executive Functioning* (pp. 495-507). New York: Springer Science.
- Delouée, S. (2018). Le groupe et les décisions collectives. Dans S. Delouée, *Manuel visuel de psychologie sociale* (éd. 2ème édition, pp. 19-40). Paris: Dunod.
- Denis, B. (2000). Vingt ans de robotique pédagogique. *Sciences et techniques éducatives*, 7(1), 195-206.
- Département d'Éducation au Royaume Uni. (2013, Septembre). *Computing programmes of study: key stages 3 and 4 National curriculum in England*. Consulté le Mars 31, 2020, sur Department of Education: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/239067/SECONDARY_national_curriculum_-_Computing.pdf
- Département de l'Éducation au Royaume Uni. (2013, Septembre 17). *National curriculum in england computing programmes of study: key stages 1 and 2. National curriculum in England*. Consulté le Mars 22, 2020, sur Government UK: <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study>
- Département de Révision des Curricula, Ministère de l'Éducation en Malaisie. (2016). *Design and technology, curriculum and assessment standard document*. Putrajaya: Ministère de l'éducation en Malaisie.
- Département des Technologues Éducationnelles aux EUA. (2016). *Future Ready Learning Reimagining the Role of Technology in Education*. Consulté le Mars 27, 2020, sur Office of educational technology, Department of education government of USA: <https://tech.ed.gov/files/2015/12/NETP16.pdf>

- Département des Technologies Éducationnelles aux EUA. (2017). *Guiding Principles for Use of Technology with Early Learners*. Consulté le Mars 27, 2020, sur Department of Education, United States of America: <https://tech.ed.gov/earlylearning/principles/>
- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). *Enseigner avec les technologies*. Québec: Presses de l'Université du Québec.
- D'Esposito, M., & Postle, B. R. (2015). The cognitive neuroscience of working memory. *Annual Review of Psychology, 66*, 115-140.
- Di Lieto, M. C., Castro, E., Pecini, C., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., . . . Sgandurra, G. (2020). Improving Executive Functions at School in Children With Special Needs by Educational Robotics. *Frontiers in psychology, 10*, 2813.
- Di Lieto, M. C., Inguaggiato, E., Castro, E., Cecchi, F., Cioni, G., Dell'Omo, M., . . . Dario, P. (2017). Educational Robotics intervention on Executive Functions in preschool children: A pilot study. *Computers in Human Behavior, 71*, 16-23.
- Di Lieto, M. C., Pecini, C., Castro, E., Inguaggiato, E., Cecchi, F., Dario, P., . . . Sgandurra, G. (2020). Empowering Executive Functions in 5- and 6-Year-Old Typically Developing Children Through Educational Robotics: An RCT Study. *frontiers in psychology, 10*, 3084.
- Diamond, A. (2009). Apprendre à apprendre. *The research file, 34*, 88-92.
- Diamond, A. (2011). Biological and social influences on cognitive control processes dependent on prefrontal cortex. *Progress in Brain Research, 89*(Special issue: Gene Expression to Neurobiology and Behavior: Human Brain Development and Developmental Disorders), 317-337.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual review of psychology(64)*, 135-168.
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions and programs demonstrated to aid executive function development in children 4–12 years of age. *Science, 333*, 959-964.

- Diamond, A., & Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental cognitive neuroscience, 18*, 34-48.
- Division de Planification et de Développement des curricula. (2016). *O level computing teaching and learning syllabus*. Consulté le Mars 26, 2020, sur Ministry of Education Singapore: <https://www.moe.gov.sg/docs/default-source/document/education/syllabuses/sciences/files/o-level-computing-teaching-and-learning-syllabus.pdf>
- Dougherty, D. (2013). The Maker Mindset. Dans M. Honey, & D. E. Kanter, *Design, Make, Play Growing the Next Generation of STEM Innovators* (pp. 55-67). London: Routledge.
- Drigas, A., & Karyotaki, M. (2019). Executive Functioning and Problem Solving: A Bidirectional Relation. *International Journal of Engineering Pedagogy, 9*(3), 76-98.
- Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British Journal of Psychology, 92*, 53-78.
- Duncan, C., Bell, T., & Tanimoto, S. (2014). Should Your 8-year-old Learn Coding? *The 9th Workshop in Primary and Secondary Computing Education* (pp. 60-69). Berlin: ACM.
- Duval, S., Bouchard, C., & Pagé, P. (2016). Quality of classroom interactions in kindergarten and executive functions among five-year-old children. *Cogent Education, 3*(1), 1-18.
- Eickelmann, B. (2019). Measuring Secondary School Students' Competence in Computational Thinking in ICILS 2018—Challenges, Concepts, and Potential Implications for School Systems Around theWorld. Dans S. C. Kong, & H. Abelson, *Computational Thinking Education* (pp. 53-64). Singapour: Springer Nature.

- Entwistle, P. C., & Shinaver, C. (2014). Working Memory Training and Cogmed. Dans S. Goldstein, & J. A. Naglieri, *Handbook of Executive Functioning* (pp. 475-493). New York: Springer Science.
- Ericsson, K. A., & Towne, T. J. (2010). Expertise Wiley Interdisciplinary Reviews. *Cognitive Science, 1*, 404-416.
- Ericsson, K. A., Nandagopal, K., & Roring, R. W. (2009). Toward a science of exceptional achievement: attaining superior performance through deliberate practice. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1172*(1), 199-217.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception Psychophysics, 16*, 143-49.
- Escherle, N. A., Ramirez-Ramirez, S. I., Basawapatna, A. R., Assaf, D., Repenning, A., Maiello, C., . . . Nolzco-Florez, J. A. (2016). Piloting Computer Science Education Week in Mexico. *The 47th ACM Technical Symposium* (pp. 431-436). Memphis Tennessee USA: Association for Computing Machinery.
- Espy, K. (2004). Using Developmental, Cognitive, and Neuroscience Approaches to Understand Executive Control in Young Children. *Developmental neuropsychology, 26*(1), 379-384.
- Fabiyi, S. D., Abdulmalik, A. O., & Tiamiu, H. A. (2016). Introducing Robotics into the Nigerian Secondary Schools Curriculum: Likely Impacts, Challenges and Possible Solutions. *International Journal of Engineering Research and General Science, 4*(4), 6-10.
- Faerber, R. (2003). Groupements, processus pédagogiques et quelques contraintes liés à un environnement virtuel d'apprentissage. *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain.*, 199-210.
- Fassbender, C., Murphy, K., Foxe, J., Wylie, G., Javitt, D., Robertson, I., & Garavan, H. (2004). A topography of executive functions and their interactions revealed by functional magnetic resonance imaging. *cognitive brain research*(20), 132-143.

- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), Dans L. B. Resnick, *The nature of intelligence* (pp. 231-236). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.
- Fleur, D. S., Brede, B., & Van Den Bos, W. (2021). Metacognition: ideas and insights from neuro- and educational sciences. *Sciences of learning*, 6(1), 13-23.
- Flook, L., Smalley, S. L., Kitil, J. M., Galla, B. M., Kaiser-Greenland, S., & Kasari, C. (2010). Effects of mindful awareness practices on executive functions in elementary school children. *Journal of Applied School Psychology*, 26, 70-95.
- Fognini, M. (2011). Les forces émotionnelles des groupes selon Bion. *Le coq-héron*, 124(2), 128-140.
- Fowler, F. J. (2013). *Survey Research Methods. Applied Research Methods*. (éd. Fifth Edition). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Fowler, F. J. (2014). *Survey Research Methods* (éd. 5ème édition). Los Angeles: Sage.
- Franck, N. (2017). *Remédiation cognitive* (éd. 2). Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.
- French, R. B., & Simpson, P. (2010). The work group: redressing the balance in Bion's Experiences in groups. *Human relations*, 63(12), 1859-1878.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: a latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology General*, 133, 101-135.
- Fullan, M., & Langworthy, M. (2014). *A Rich Seam: How New Pedagogies Find Deep Learning*. London: Pearson.
- Fuster, J. M. (2015). *The prefrontal cortex* (éd. 5). London: Academic press Elsevier.
- Gadanidis, G. (2017, Avril). *What Works? Research into practice. Computer Coding in the K-8 Mathematics Curriculum?* Consulté le Mars 28, 2020, sur Ontario Ministry of Education:

http://www.edu.gov.on.ca/eng/literacynumeracy/inspire/research/Computer_Coding_K8_en.pdf

- Gandolfi, E., Viterbori, P., Traverso, L., & Usai, M. C. (2014). Inhibitory processes in toddlers: a latent variable approach. *Frontiers in psychology*, 5(381), 1-11.
- Ganesan, K., & Steinbeis, N. (2022). Development and plasticity of executive functions: A value-based account. *Current Opinion in Psychology*, 44, 215-219.
- Gangloff, B. (2008). *Les Fondements méthodologiques du savoir scientifique*. Mont-Saint-Aignan: Presses universitaires de Rouen et du Havre.
- García-Madruga, J. A., Gómez-Veiga, I., & Villa, J. Ó. (2016). Executive Functions and the Improvement of Thinking Abilities: The Intervention in Reading Comprehension. *Frontiers in Psychology*, 7(58), 58.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40, 177–190.
- Godefroy, O. (2001). *Attention et pathologie frontale : La neuropsychologie de l'attention*. Marseille: Solal.
- Goldstein, S., & Naglieri, J. A. (2014). Introduction: A history of executive functioning as a theoretical and clinical construct. *Handbook of Executive Functioning*, 3-10.
- Grafman, J., & Litvan, I. (1999). Importance of deficits in executive functions. *The Lancet*, 354, 1921-2923.
- Granjon, F. (2011). Fracture numérique. *Communications*, 1(88), 67-74.
- Gronier, G., & Giraudon, J. (2013). Emotion, dynamique de groupe et travail collectif médiatisé en conception architecturale. *Septième Colloque de Psychologie Ergonomique* (pp. 285-294). Bruxelles: Arpege Science Publishing.

- Groupe de travail numérique OCEAN. (2017). *La robotique éducative*. Institut français de l'éducation - ENS de Lyon, Direction du Numérique Educatif DNE - Numérlab - MENESR. Lyon: Université de Lyon.
- Guillery-Girard, B., & Eustache, F. (2018). La mémoire. Dans O. Houdé, & G. Borst, *Le cerveau et les apprentissages* (pp. 157-179). Paris: Nathan.
- Gumuchian, H., & Marois, C. (2000). Les méthodes d'échantillonnage et la détermination de la taille de l'échantillon. Dans H. Gumuchian, & C. Marois, *Chapitre 6 : Initiation à la recherche en géographie* (pp. 265-294). Montréal: Presses de l'Université de Montréal.
- Habib, M. (2014). *La constellation des Dys - bases neurologiques de l'apprentissage et de ses troubles*. Paris: De Boeck Solal.
- Hailpern, B., & Santhanam, P. (2002). Software debugging, testing, and verification. *IBM Systems Journal*, 41(1), 4-12.
- Harel, I., & Papert, S. (1991). *Constructionism*. Norwood: Ablex Publishing Corporation.
- Hatch, J. A. (2002). *Doing qualitative research in educational settings*. Albany: State University of New York Press.
- Heaton, R. K. (1981). *A manual for the Wisconsin Card Sorting Test*. Odessa, Florida: Psychological assessment resources.
- Hedden, T., & Gabrieli, J. (2010). Shared and selective neural correlates of inhibition, facilitation, and shifting processes during executive control. *NeuroImage*(51), 421-431.
- Heintz, F., Mannila, L., & Färnqvist, T. (2016). A review of models for introducing computational thinking, computer science and computing in K-12 education. *Frontiers in Education Conference (FIE)*. Erie, PA: IEEE.
- Heintz, F., Mannila, L., Nordén, L., Parnes, P., & Regnell, B. (2017). Läroplan för grundskolan, förskoleklassen och fritidshemmet. *10th International Conference on*

- Informatics in Schools: Situation, Evolution, and Perspectives* (pp. 117-128). Helsinki: Springer.
- Hendry, A., Jones, E. J., & Charman, T. (2016). Executive function in the first three years of life: Precursors, predictors and patterns. *Developmental Review, 42*, 1-33.
- Henri, F. (2010). Collaboration, communautés et réseaux : partenariats pour l'apprentissage. Dans B. Charlier, & F. Henri, *Apprendre avec les technologies* (pp. 169-180). Paris: Presses Universitaires de France.
- Hessels-Schlatter, C., Hessels, M., & Brandon, S. (2021). Cognition, métacognition, éducation : l'approche intégrative de l'Atelier d'Apprentissage. *Raisons éducatives, 1*(25), 289 à 311.
- Hirschtritt, M. E., Hammond, C. J., Luckenbaugh, D., Buhle, J., Thurm, A. E., Casey, B. J., & Swedo, S. E. (2009). Executive and attention functioning among children in the PANDAS subgroup. *Child Neuropsychology, 15*(2), 179–194.
- Hoechsmann, M., & DeWaard, H. (2015). *Définir la politique de littératie numérique et la pratique dans le paysage de l'éducation canadienne*. Ottawa: HabiloMédias.
- Hoppe, H., & Werneburg, S. (2019). Computational Thinking—More Than a Variant of Scientific Inquiry! Dans S.-C. Kong, & H. Abelson, *Computational Thinking Education* (pp. 13-30). Singapour: Springer Nature.
- Hoskyn, M. J., Iarocci, G., & Young, A. R. (2017). *Executive functions in Children's everyday life: a handbook for professionals in applied psychology*. New York: Oxford univeristy press.
- Houdé, O., & Borst, G. (2015). Evidence for an inhibitory-control theory of the reasoning brain. *Frontiers in Human Neuroscience, 9*(148), 1-5.
- Houdé, O., & Borst, G. (2018). *Le cerveau et les apprentissages*. Paris: Nathan.
- Houssaye, J. (1988). *Le triangle pédagogique*. Berne: Peter Lang.

- Houssaye, J. (2015). *Le triangle pédagogique : Les différentes facettes de la pédagogie*. Issy-les-Moulineaux: ESF.
- Hughes, C. (2011). Changes and Challenges in 20 Years of Research Into the Development of Executive Functions. *Infant and Child Development*(20), 251-271.
- Hughes, C., White, A., Sharpen, J., & Dunn, J. (2000). Antisocial, angry, and unsympathetic: "Hard-to-manage" preschoolers' peer problems and possible cognitive influences. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 169-179.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & Van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017–2036.
- Hunsaker, E. (2018). *Understanding Computational Thinking*. Provo: Brigham Young University.
- Hunter, S. J., & Sparrow, E. P. (2012). *Executive Function and Dysfunction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hur, J., Iordan, A. D., Dolcos, F., & Berenbaum, H. (2017). Emotional influences on perception and working memory. *Cognition and Emotion*, 31(6), 1294-1302.
- Ivowi, U. (2001). Rôle des enseignants dans la motivation des élèves pour les intéresser aux sciences et aux mathématiques. *Bulletin de l'IIRCA*, 3(1), 1-29.
- Jacobson, S., Marcus, E. M., & Pugsley, S. (2018). *Neuroanatomy for the neuroscientists*. Springer.
- Jaeggi, S., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Shah, P. (2011). Short- and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108, 10081-10086.
- Jaillet, A., & Larose, F. (2009). *Le numérique dans l'enseignement et la formation : Analyses, traces et usages*. (éd. Sciences et Société). Paris: L'Harmattan.

- James, W. (1890). *The principles of psychology* (Vol. 1). New York: Henry Holt and company.
- Jeggan, T., Testa, R., Bellgrove, M. A., Pantelis, C., & Whittle, S. (2018). A Hierarchical Model of Inhibitory Control. *Frontiers in Psychology, 9*(1339), 1-25.
- Jick, T. D. (1979). Mixing qualitative and quantitative methods. Triangulation in action. *Administrative Science Quarterly, 24*, 602-611.
- Kafai, Y. B. (2006). Constructionism. Dans R. K. Sawyer, *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 35-46). New York: Cambridge University Press.
- Kalelioğlu, F. (2018). Characteristics of Studies Conducted on Computational Thinking: A Content Analysis. Dans M. S. Khine, *Computational Thinking in the STEM Disciplines* (pp. 10-29). Singapour: Springer International Publishing.
- Kane, M. J., Meier, M. E., Smeekens, B. A., Gross, G. M., Chunn, C. A., Silvia, P. J., & Kwapil, T. R. (2016). Individual Differences In The Executive Control Of Attention, Memory, And Thought, And Their Associations With Schizotypy. *Journal of experimental psychology, 145*(8), 1017-1048.
- Kangas, M. (2010). Creative and playful learning: Learning through game co-creation and games in a playful learning environment. *Thinking Skills and Creativity, 5*(1), 1–15.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Development Science, 12*, 978-990.
- Karsenti, T. (2019). *Le numérique en éducation*. Québec: Presses de l'université du Québec.
- Karsenti, T., & Bugmann, J. (2017). Are Canadian Schools Ready to Code? *Formation et profession, 25*(2), 111-114.
- Karsenti, T., & Bugmann, J. (2017). *Transformer l'école avec Minecraft? Résultats d'une recherche menée auprès de 118 élèves du primaire*. Montréal: CRIFPE.

- Keulers, E. H., & Jonkman, L. M. (2019). Mind wandering in children: Examining task-unrelated thoughts in computerized tasks and a classroom lesson, and the association with different executive functions. *Journal of Experimental Psychology, 179*, 276-290.
- Khanlari, A. (2019). The Use of Robotics for STEM Education in Primary Schools: Teachers' Perceptions. Dans L. Daniela, *Smart Learning with Educational Robotics* (pp. 267-278). Cham: Springer Nature.
- Khenner, E., & Semakin, I. (2014). School Subject Informatics (Computer Science) in Russia: Educational Relevant Areas. *ACM Trans. Comput. Educ., 14*(2).
- Kim, S., Nordling, J. K., Yoon, J. E., Boldt, L. J., & Kochanska, G. (2013). Effortful Control in "Hot" and "Cool" Tasks Differentially Predicts Children's Behavior Problems and Academic Performance. *Journal of Abnormal Child Psychology, 41*(1), 43-56.
- King, F. J., Goodson, L., & Rohani, F. (2012). *Higher Order Thinking Skills*. Florida: Center for Advancement of Learning and Assessment.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology, 55*(4), 352.
- Kiryukhin, V. M., & Tsvetkova, M. S. (2016). Informatics at Russian Secondary School. *Olympiads in Informatics, 10*, 13-24.
- Kitchener Post. (2016, Janvier 20). *Google opens its doors on Breithaupt; PM Trudeau takes part*. Consulté le Mars 26, 2020, sur The Record: <https://www.therecord.com/news-story/6240341-google-opens-its-doors-on-breithaupt-pm-trudeau-takes-part/>
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences, 14*, 317-324.
- Komis, V., & Misirli, A. (2012). L'usage des jouets programmables à l'école maternelle : Concevoir et utiliser des scénarios pédagogiques de robotique éducative. Dans *Actes du Colloque SIEST Méditerranée. Dispositifs, démarches, apprentissage dans*

l'Enseignement des sciences et technologies. 17, pp. 143-154. Aix-Marseille: Revue Skholê.

Komis, V., & Misrili, A. (2011). Robotique pédagogique et concepts préliminaires de la programmation à l'école maternelle : une étude de cas basée sur le jouet programmable Bee-Bot. *Colloque International DIDAPRO* (pp. 1-12). Patras: Université de Patras.

Komis, V., Romero, M., & Misirli, A. (2017). A Scenario-Based Approach for Designing Educational Robotics Activities for Co-creative Problem Solving. Dans D. Alimisis, M. Moro, & E. Menegatti, *Educational Robotics in the Makers Era* (pp. 158-169). Cham: Springer International Publishing.

Kong, C. S. (2016). A framework of curriculum design for computational thinking development in K-12 education. *Journal of Computers in Education*, 3(4), 377–394.

Kong, S.-C., Abelson, H., & Lai, M. (2019). Introduction to Computational Thinking Education. Dans S.-C. Kong, & H. Abelson, *Computational Thinking Education* (pp. 2-12). Singapore: Springer Nature.

Kongs, S. K., Thompson, L. L., Iverson, G. L., & Heaton, R. K. (2000). *Wisconsin Card Sorting Test - 64 Card Version: Professional Manual*. Florida: Par.

La fonction publique de l'Ontario. (2016). *Définir les compétences du 21ème siècle pour l'Ontario*. Ontario: Imprimeur de la Reine pour l'Ontario.

Labusch, A., Eickelmann, B., & Vennemann, M. (2019). Computational Thinking Processes and Their Congruence with Problem-Solving and Information Processing. Dans S. C. Kong, & H. Abelson, *Computational Thinking Education* (pp. 65-78). Singapour: Springer Nature.

Lachaux, J. P. (2018). Qu'est ce que l'attention. Dans O. Houdé, & G. Borst, *Le cerveau et les apprentissages* (pp. 129-156). Paris: Nathan.

Lange, F., & Dewitte, S. (2019). Cognitive Flexibility and Pro-environmental Behaviour: A Multimethod Approach. *European Journal of Personality*, 33(4), 488-505.

- Laureiro-Martínez, D., & Brusoni, S. (2018). Cognitive flexibility and adaptive decision-making: Evidence from a laboratory study of expert decision makers. *Strategic Management Journal*, 39(4), 1031-1058.
- Le Commerce du Levant. (2017, Novembre 3). *Le Liban parmi les pays les plus inégalitaires au monde*. Consulté le Février 12, 2021, sur Commerce du Levant: <https://www.lecommercedulevant.com/article/27862-le-liban-parmi-les-pays-les-plus-inegalitaires-au-monde>
- Le monde. (2020, Juillet 2020). *Le naufrage économique de la classe moyenne au Liban : « La "Suisse du Proche-Orient" va devenir un nouvel Afghanistan »*. Consulté le Février 12, 2021, sur Le monde: https://www.lemonde.fr/international/article/2020/07/16/au-liban-le-naufrage-de-la-classe-moyenne_6046315_3210.html
- Leavy, P. (2017). *Research design*. New York: The Guilford Press.
- Lebrun, M., Smidts, D., & Bricoult, G. (2011). *Comment construire un dispositif de formation ?* Bruxelles: De Boeck.
- Lévi-Strauss, C. (1962). *La Pensée sauvage*. Paris: Pion.
- Lewin, K. (1959). *Psychologie Dynamique*. Paris: Presses Universitaires De France.
- Lewis, F. C., Reeve, R., Kelly, S., & Johnson, K. A. (2017). Evidence of substantial development of inhibitory control and sustained attention between 6 and 8 years of age on an unpredictable Go/No-Go task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 157, 66-80.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment* (éd. 3rd). New York: Oxford University Press.
- Li, Q., Long, Q., Hu, N., Tang, Y., & Chen, A. (2020). N-Back Task Training Helps to Improve Post-error Performance. *Frontiers in Psychology*, 11, 370.
- Lindh, J., & Holgersson, T. (2007). Does lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems? *Computers & Education*, 49(4), 1097-1111.

- Lombard, F. (2007). Du triangle de Houssaye au tétraèdre des TIC : comprendre les interactions entre les savoirs d'expérience et ceux de recherche. Dans B. Charlier, & D. Peraya, *Transformations des regards sur la recherche en Technologie de l'Education* (pp. 137-154). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Loue, S. J., & Sajatovic, M. (2006). *Encyclopedia of Aging and Public Health*. Boston: Springer.
- Lovric, M. (2014). *International Encyclopedia of Statistical Science*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Luciana, M., Conklin, H. M., Hooper, C. J., & Yarger, R. S. (2005). The development of nonverbal working memory and executive control processes in adolescents. *Child Development, 76*, 697–712.
- Lung, F. W., Chen, P. F., & Shu, B. C. (2018). Performance of Wisconsin Card Sorting Test in five-year-old children in Taiwan: Relationship to intelligence and cognitive development. *PloS one, 13*(8), e0202099.
- Müller, U., & Kerns, K. (2015). The development of executive function. Dans R. M. Lerner, L. S. Liben, & U. Mueller, *Handbook of Child Psychology and Developmental Science* (Vol. 2, pp. 571-623). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Maisonneuve, J. (2011). *La dynamique des groupes*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Marchand, D. (1992). La robotique pédagogique ! ça existe ? *Revue EPI, 65*, 119-124.
- Marshall, C., & Rossman, G. B. (2016). *Designing qualitative research* (éd. 6ème édition). Thousand Oaks: Sage.
- Martin, L. (2015). The Promise of the Maker Movement for Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research, 5*(1), Article 4.
- Maruyama, Y. (2018). Investigation into Parents' Concerns about the Introduction of Investigation into Parents' Concerns about the Introduction of Programming

Education into Japanese Primary School Programming Education into Japanese Primary School. *Procedia Computer Science*, 126, 1037–1045.

Masson, S., & Borst, G. (2017). *Méthodes de recherche en neuroéducation*. 2017: Presses de l'Université du Québec.

May Lee, R., & Yuan, Y. (2018). Innovation Education in China: Preparing Attitudes, Approaches, and Intellectual Environments for Life in the Automation Economy. Dans N. W. Gleason, *Higher Education in the Era of the Fourth Industrial Revolution* (pp. 93-119). Gateway East, Singapore: Springer.

Mazeau, M. (2008). *Conduite du bilan neuropsychologique chez l'enfant* (éd. 2). Paris: Elsevier Masson SAS.

McIntyre, L. L., Blacher, J., & Baker, B. L. (2006). Transition to school: Adaptation in young children with and without developmental delays. *Journal of Intellectual Disability Research*, 50, 349–361.

Meirieu, P. (2006). *Ecole : Demandez le programme !* Paris: ESF.

Meirieu, P., Delevay, M., Durand, C., & Mariani, Y. (1996). *Le transfert de connaissances en formation initiale et en formation continue*. Lyon: CRDP de l'académie de Lyon.

Meule, A. (2017). Reporting and Interpreting Working Memory Performance in n-back Tasks. *Frontiers in Psychology*, 8, 352.

Meunier, J.-M. (2016). *Raisonnement, résolution de problèmes et prise de décision*. Paris: Dunod.

Michael, G. A. (2018). Attention et pédagogie. L'importance de l'attention en classe. *A.N.A.E*, 157, 743-753.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.

Miller, H. V., Barnes, J. C., & Beaver, K. M. (2011). Self-control and health outcomes in a nationally representative sample. *American Journal of Health Behavior*, 35(1), 15-27.

Ministère de l'Éducation de la province de la Colombie Britannique. (2016). *British Columbia's new curriculum*. Consulté le Mars 27, 2020, sur Government of British Columbia:

https://curriculum.gov.bc.ca/sites/curriculum.gov.bc.ca/files/curriculum/adst/en_adst_k-9.pdf

Ministère de l'Éducation au Brésil. (2018). *Base Nacional Comum Curricular (BNCC)*.

Consulté le Mars 27, 2020, sur Ministério da Educação - Brasil: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf

Ministère de l'Éducation des EAU. (2017). *Design Technology*. Consulté le Mars 30, 2020,

sur UAE ministry of education: <https://www.moe.gov.ae/Ar/ImportantLinks/Assessment/Documents/Courses/DT-%20Term%20plan.pdf>

Ministère de l'Éducation du Bahreïn. (2019, Mars 26). *Enhancing education training and*

lifelong learning. Consulté le Mars 29, 2020, sur Bahrain ministry of education: <http://www.moe.gov.bh/pdf/training-summit-booklet.pdf>

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur au Québec. (2018). *Plan d'action*

numérique en éducation et en enseignement supérieur. Consulté le Mars 27, 2020, sur Ministère de l'éducation et de l'enseignement supérieur au Québec: <http://www.education.gouv.qc.ca/dossiers-thematiques/plan-daction-numerique/plan-daction-numerique/>

Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement Supérieur au Québec. (2020, Mars).

Programme de formation de l'école québécoise mathématique science et technologie au primaire. Consulté le Mars 27, 2020, sur Education et enseignement supérieur au Québec:

http://www.education.gouv.qc.ca/fileadmin/site_web/documents/education/junes/pfeq/PFEQ_sciences-technologie-primaire.pdf

Ministère de l'Éducation et du Développement de la Petite Enfance, Province de la Nouvelle-Écosse. (2015). *The 3Rs: Renew, Refocus, Rebuild—Nova Scotia's Action Plan for Education*. Consulté le Mars 27, 2020, sur Education and Early Childhood Development Ministry of Nova Scotia: <https://www.ednet.ns.ca/sites/default/files/docs/educationactionplan2015en.pdf>

Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. (2015, Avril 9). *Conseil supérieur des programmes*. Consulté le Mars 25, 2020, sur Ministère de l'éducation: http://www.cafepedagogique.net/lexpresso/Documents/docsjoints/programme_cycle2.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. (2015, Avril 9). *Projet de programme pour le cycle 3*. Consulté le Mars 26, 2020, sur Ministère de l'éducation: http://www.cafepedagogique.net/lexpresso/Documents/docsjoints/programme_cycle3.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale et de la Jeunesse. (2019). *Développement du numérique éducatif*. Consulté le Mars 25, 2020, sur Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse: https://www.education.gouv.fr/sites/default/files/imported_files/document/ME_NJ_Numerique_educatif_novembre_2019_1206700.pdf

Ministère de l'Éducation Nationale et Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation. (2019). *Le numérique au service de l'école de la confiance*. Consulté le Mars 25, 2020, sur Ministère de l'éducation nationale et de la jeunesse: https://www.education.gouv.fr/sites/default/files/imported_files/document/DP-LUDOVIA_987361.pdf

- Ministère de l'Éducation Nationale, de la Jeunesse et des Sports. (2019, Janvier 22). *Eduscol - Programmes et ressources en sciences numériques et technologie*. Consulté le Février 19, 2021, sur Ministère de l'Éducation National, de la Jeunesse et des Sports.: <https://eduscol.education.fr/1670/programmes-et-ressources-en-sciences-numeriques-et-technologie-voie-gt>
- Ministère de l'Education - Nouvelle Zélande. (2018, decembre 14). *The Content — what's changed?* Consulté le Mars 30, 2020, sur Ministry of education - New Zealand: <http://www.education.govt.nz/our-work/changes-in-education/digital-technologies-and-hangarau-matihiko-learning/more-information-on-the-curriculum-change/the-content-whats-changed/>
- Ministère Norvégien de l'Éducation. (2017). *Framtid, fornyelse og digitalisering Digitaliseringsstrategi for grunnopplæringen 2017–2021*. Consulté le Mars 28, 2020, sur kunnskapsdepartementet: https://www.regjeringen.no/contentassets/dc02a65c18a7464db394766247e5f5fc/kd_framtid_fornyelse_digitalisering_net.pdf
- Ministère Suédois de l'Éducation. (2017, octobre 17). *Nationell digitaliseringsstrategi för skolväsendet*. Consulté le Mars 20, 2020, sur Utbildningsdepartementet: <https://www.regeringen.se/4a9d9a/contentassets/00b3d9118b0144f6bb95302f3e08d11c/nationell-digitaliseringsstrategi-for-skolvasendet.pdf>
- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. L. (1989). Delay of gratification in children. *Science, 244*, 933-938.
- Moffitt, T. E., Arseneault, L., Belsky, D., Dickson, N., Hancox, R. J., Harrington, H., . . . Caspi, a. (2011). . . . Caspi, A. A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108*, 2693–2698.
- Moret, A., & Mazeau, M. (2013). *Le syndrome dys-exécutif chez l'enfant et l'adolescent : répercussions scolaires et comportementales*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson.

- Morgan, A. B., & Lilienfeld, S. O. (2000). A meta-analytic review of the relation between antisocial behavior and neuropsychological measures of executive function. . *Clinical Psychology Review, 20*, 113-136.
- Morlaix, S., & Duguet, A. (2017). Les pratiques pédagogiques des enseignants du secondaire. *Éducation comparée, 17*, 127-149.
- Mulet, J., Van De Leemput, C., & Amadiou, F. (2019). A critical literature review of perception of tablets for learning in primary and secondary schools. *Educational Psychology Review, 31*(3), 631-662.
- Mullane, J. C., Corkum, P. V., Klein, R. M., & McLaughlin, E. (2009). Interference control in children with and without ADHD: a systematic review of Flanker and Simon task performance. *Child Neuropsychology, 15*, 321–342.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin, 126*(2), 220-246.
- Nigg, J. T. (2017). Annual research review: on the relations among self- regulation, self-control, executive functioning, effortful control, cognitive control, impulsivity, risk-taking, and inhibition for developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 58*, 361-383.
- Nobre, A. C., & Mesulam, M. M. (2014). Large-scale Networks for Attentional Biases. Dans A. C. Nobre, & S. Kastner, *The Oxford Handbook of Attention* (pp. 105-151). Oxford: Oxford University Press.
- Noël, M.-P. (2007). *Bilan neuropsychologique de l'enfant*. Wavre: Mardaga.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Dans R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro, *Consciousness and self regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1-18). New York: Springer US.

- Octobre, N. (2009). Pratiques culturelles chez les jeunes et institutions de transmission : un choc de cultures? *Culture prospective*, 1(1), 1-8.
- OECD. (2017). *PISA 2015, Results (volume V), Collaborative Problem Solving*. Paris: PISA, OECD Publishing.
- Ospennikova, E., Ershov, M., & Iljin, I. (2015). Educational Robotics as an Inovative Educational Technology. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*(214), 18-26.
- Ospennikova, E., Ershovb, M., & Iljin, I. (2015). Educational Robotics as an Inovative Educational Technology. *PRocedia - Social and Behavioral Sciences*, 214, 18-26.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: a metaanalysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 25, 46–59.
- Papadakis, S., & Orfanakis, V. (2017). The Combined Use of Lego Mindstorms NXT and App Inventor for Teaching Novice Programmers. Dans D. Alimisis, E. Menegatti, & M. Moro, *Educational Robotics in the Makers Era* (pp. 193-204). Cham.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- Papert, S., & Harel, I. (1991). Situating constructionism. *Constructionism*, 36, 1-11.
- Parks, C., & Tasca, G. A. (2020). *The psychology of groups. The intersection of social psychology and psychotherapy research*. Washington, DC: American Psychological Association Press.
- Parmaxi, A., & Zaphiris, P. (2014). The Evolvment of Constructionism: An Overview of the Literature. Dans P. Zaphiris, & A. Ioannou, *Learning and collaboration technologies. Designing and developing novel learning experiences* (Vol. 8523, pp. 452-461). Heraklion: Springer.
- Pellegrino, J. W., & Hilton, M. L. (2012). *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century*. National Research Council, Committee on Defining Deeper Learning and 21st Century Skills, Board on Testing

and Assessment and Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: Washington, DC : National Academies Press.

Perone, S., Almy, B., & Zelazo, P. D. (2018). Toward an Understanding of the Neural Basis of Executive Function Development. Dans R. Gibb, & B. Kolb, *The Neurobiology of Brain and Behavioral Development* (pp. 291-314). Cambridge: Elsevier Academic Press.

Piéron, H. (2003). *Vocab.* (éd. 4ème). Paris: Quadrige.

Pinto-Llorente, A., Casillas-Martín, S., Cabezas-González, M., & García-Peñalvo, F. J. (2018). Building, coding and programming 3D models via a visual programming environment. *Qual Quant*, 52, 2455–2468.

Piquée, C. (2010). Pratiques enseignantes envers les élèves en difficulté dans des classes à efficacité contrastée. *Revue française de pédagogie*, 43-60.

Plantard, P. (2013). E-inclusion : Braconnage, bricolage et butinage. *Faut-il avoir peur de la ville numérique*, 16-21.

Ponitz, C. C., McClelland, M. M., Matthews, J. S., & Morrison, F. J. (2009). A structured observation of behavioral self-regulation and its contribution to kindergarten outcomes. *Developmental psychology*, 45, 605-619.

Poon, K. (2018). Hot and Cool Executive Functions in Adolescence: Development and Contributions to Important Developmental Outcomes. *Frontiers in psychology*, 8, 2311.

Popat, S., & Starkey, L. (2019). Learning to code or coding to learn? A systematic review. *Computers & Education*, 128, 365-376.

Posner, M. (2014). Orienting of attention: Then and now. *Quarterly journal of experimental psychology*, 1-11.

- Poyet, F. (2014). La culture numérique des jeunes professeurs des écoles peut-elle permettre de réduire l'écart entre natifs et immigrants du numérique? *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 11(3), 6-21.
- Pretz, J. E., Naples, A. J., & Sternberg, R. J. (2003). Recognizing, Defining, and Representing Problems. Dans J. E. Davidson, & R. J. Sternberg, *The Psychology of Problem Solving* (pp. 3-30). New York: Cambridge University Press.
- Pribram, K., & Luria, A. (1973). *Psychophysiology of the frontal lobes*. Oxford, England: Academic Press.
- Proust, J. (2018). La métacognition et l'auto-évaluation. Dans O. Houdé, & G. Borst, *Le cerveau et les apprentissages* (pp. 207-232). Paris: Nathan.
- Qualls, J. A., & Sherrell, L. B. (2010). Why computational thinking should be integrated into the curriculum. *Journal of Computer Science in Colleges*, 25(5), 66-71.
- Ratiu, P., & Talos, I. (2004). Images in clinical medicine. The tale of Phineas Gage, digitally remastered. *New England Journal of Medicine*, 351(23), e21.
- Raud, L., Westerhausen, R., Doley, N., & Huster, R. J. (2020). Differences in unity: The go/no-go and stop signal tasks rely on different mechanisms. *Neuroimage*, 210, 116582.
- Resing, W. C., Vogelaar, B., & Elliott, J. G. (2020). Children's solving of 'Tower of Hanoi' tasks: dynamic testing with the help of a robot. *Educational Psychology*, 40(9), 1136-1163.
- Rézeau, J. (2002). Médiation, médiatisation et instruments d'enseignement : Du triangle au «carré pédagogique». *ASp*, 183-200.
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T., & Domitrovich, C. E. (2009). The contributions of inhibitory control to social-emotional competence. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 30, 310-320.
- Rich, P., & Hodges, C. B. (2017). *Emerging research, practice, and policy on computational thinking*. 2017: Springer Publishing Company.

- Rijike, W. J., Bollen, L., & Eysink, T. H. (2018). Computational Thinking in Primary School: An Examination of Abstraction and Decomposition in Different Age Groups. *Informatics in Education, 17*(1), 77-92.
- Rinaudo, J.-L. (2021). Positionner les enseignants au centre du dispositif. *Frantice, 19.3*, 77-79.
- Robert, F. (1985). L'utilisation de l'ordinateur dans l'enseignement primaire : l'exemple de la France. *Enfance, 38*(1).
- Robinson, S. J., & Brewer, G. (2016). Performance on the traditional and the touch screen, tablet versions of the Corsi Block and the Tower of Hanoi tasks. *Computers in Human Behavior, 60*, 29-34.
- Romero, M., Giauffret, L., & Komis, V. (2020). Résoudre des problèmes d'interdépendance par la robotique. *Les Cahiers Pédagogiques, Service d'édition et de vente des publications de l'Education nationale*, hal-02420396.
- Romine, C. B., & Reynolds, C. R. (2005). A Model of the Development of Frontal Lobe Functioning: Findings From a Meta-Analysis. *Applied neuropsychology, 12*(4), 190-201.
- Roy, A., Fournet, N., Le Gall, D., & Roulin, J.-L. (2021). *Les fonctions exécutives de l'enfant*. Paris: De Boeck supérieur.
- Roy, A., Le Gall, D., Roulin, J., & Fournet, N. (2012). Les fonctions exécutives chez l'enfant : approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de neuropsychologie neurosciences cognitives et cliniques, 4*(4), 287-297.
- Rueda, M. R., Rothbart, M. K., Mccandliss, B. D., Saccomanno, L., & Posner, M. (2005). Training, maturation and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 102*(41), 14931-14936.

- Ruschoff, B., & Ritter, M. (2001). Technology-Enhanced Language Learning: Construction of Knowledge and Template-Based Learning in the Foreign Language Classroom. *Computer Assisted Language Learning*, 14(3), 219–232.
- Sáez-López, J.-M., Román-González, M., & Vázquez-Cano, E. (2016). Visual programming languages integrated across the curriculum in elementary school: A two year case study using “Scratch” in five schools. *Computers & Education*, 129-141.
- Sala, G., & Gobet, F. (2017). Working memory training in typically developing children: A meta-analysis of the available evidence. *Developmental psychology*, 53, 671-685.
- Saldaña, J. (2014). Coding and analysis strategies. Dans P. Leavy, *The Oxford handbook of qualitative research* (pp. 581–605). New York: Oxford University Press.
- Samuels, P., & Poppa, S. (2017). Developing Extended Real and Virtual Robotics Enhancement Classes with Years 10–13. Dans M. Merdan, G. Koppensteiner, W. Lepuschitz, & R. Balogh, *Robotics in Education, Advances in Intelligent Systems and Computing* (pp. 69-82). Cham: Springer Nature.
- Scaradozzi, D., Screpanti, L., & Cesaretti, L. (2019). Towards a Definition of Educational Robotics: A Classification of Tools, Experiences and Assessments. Dans L. Daniela, *Smart Learning with Educational Robotics: Using Robots to Scaffold Learning Outcomes* (pp. 63-92). Cham: Springer Nature.
- Schonert-Reichl, K. A., Oberle, E., Lawlor MS, M. S., Abbott, D., Thomson, K., Oberlander, T. F., & Diamond, A. (2015). Enhancing cognitive and social-emotional development through a simple-to-administer mindfulness-based school program for elementary school children: a randomized controlled trial. *Dev Psychol.*, 51(1), 52-66.
- Se, S., Ashwini, B., Chandran, A., & Soman, K. P. (2015). Computational thinking leads to computational learning: Flipped class room experiments in linear algebra. *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems* (pp. 1-6). Coimbatore: IEEE.

- Segretin, M. S., Lipina, S. J., Hermida, M. J., Sheffield, T. D., Nelson, J. M., Espy, K. A., & Colombo, J. A. (2014). Predictors of cognitive enhancement after training in preschoolers from diverse socioeconomic backgrounds. *Frontiers in Psychology, 5*, 1-21.
- Séguin, J. R., Nagin, D., Assaad, J., & Tremblay, R. E. (2004). Cognitive-neuropsychological function in chronic physical aggression and hyperactivity. *Journal of Abnormal Psychology, 113*(4), 603–613.
- Seow, P., Looi, C.-K., & Bimlesh, M.-L. (2019). Educational Policy and Implementation of Computational Thinking and Programming: Case Study of Singapore. Dans S.-C. Kong, & H. Abelson, *Computational thinking education* (pp. 345-362). Gateway East, Singapore: Springer.
- Shannon, S. V. (2008). Using Metacognitive Strategies and Learning styles to Create Self-directed Learners. *Institute for Learning Styles Journal, 1*, 14-28.
- Shell, D. F., Hazley, M. P., Soh, L. K., Miller, L. D., Chiriacescu, V., & Ingraham, E. (2014). Improving learning of computational thinking using computational creativity exercises in a college CSI computer science course for engineers. *Frontiers in Education Conference* (pp. 1-7). Madrid: IEEE.
- Shriffin, R., & Shneider, W. (1977, march). Controlled and Automatic Human Information Processing: II. Perceptual Learning, Automatic Attending, and a General Theory. *Psychological review by the American Psychological Association., 84*(2).
- Sibley, B. A., & Beilock, S. L. (2007). Exercise and working memory: an individual differences investigation. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 29*(6), 783–91.
- Simon, H. A. (1975). The functional equivalence of problem solving skills. *Cognitive Psychology, 7*, 268–288.
- Simpson, A., Riggs, K. J., Beck, S. R., Gorniak, S., Wu, Y., Abbott, D., & Diamond, A. (2012). Refining the understanding of inhibitory control: How response prepotency is created and overcome. *Developmental Science, 15*, 62-73.

- So, H.-J., Jong, M. S.-Y., & Liu, C.-C. (2020). Computational Thinking Education in the Asian Pacific Region. *Asia-Pacific Edu Res*, 29(1), 1-8.
- Société Finlandaise de l'Éducation. (2017). *Coding in Schools Comparing Integration of Programming into Basic Education Curricula of Finland and South Korea*. Consulté le March 24, 2020, sur The Finnish Society on Media Education: <https://mediakasvatus.fi/>
- Souza, A. S., Vergauwe, E., & Oberauer, K. (2018). Where to attend next: guiding refreshing of visual, spatial, and verbal representations in working memory. *Annals of the New York academy of sciences*, 1424, 76-90.
- Sparrow, E. P. (2012). Assessment and identification of executive dysfunction. Dans S. J. Hunter, & E. P. Sparrow, *Executive Function and Dysfunction* (pp. 65-90). New York: Cambridge University Press.
- Spector, J. M., & Park, S. W. (2012). Argumentation, critical reasoning, and problem solving. Dans S. B. Fee, & B. R. Belland, *The Role of Criticism in Understanding Problem Solving* (pp. 13-33). New York: Springer.
- Stahl, C., Vossa, A., Scmitz, F., Nuszbaum, M., Tüscher, O., Lieb, K., & Klauer, K. C. (2014). Behavioral components of impulsivity. *Journal of experimental psychology general*, 143(2), 850-886.
- Stelzer, F., Mazzoni, C., & Cervigni, M. (2014). Cognitive models of executive functions development. Methodological limitations and theoretical challenges. *anales de psicología*, 30(1), 329-336.
- Stewart, J. L., & May, A. C. (2016). Electrophysiology for addiction medicine: From methodology to conceptualization of reward deficits. Dans H. Ekhtiari, & M. P. Paulus, *Neuroscience for Addiction Medicine: From Prevention to Rehabilitation - Methods and Interventions* (Vol. 224, pp. 67-84). Amsterdam: Elsevier BV.
- Stiles, J., Brown, T. T., Haist, F., & Jernigan, T. L. (2015). Brain and Cognitive Development. Dans L. S. Liben, & U. Müller, *Handbook of child psychology and developmental*

science . Volume 2: Cognitive Processes (Vol. 2, pp. 9-62). Hoboken: John Wiley & Sons.

- Strawhacker, A., & Bers, M. U. (2019). What they learn when they learn coding: investigating cognitive domains and computer programming knowledge in young children. *Educational Technology Research and Development*, *61*, 541–575.
- Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S., . . . Spitzer, M. (2010). Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiology of Learning and Memory*, *94*, 364-372.
- Stucke, N. J., Stoet, G., & Doebel, S. (2022). What are the kids doing? Exploring young children's activities at home and relations with externally cued executive function and child temperament. *Developmental science*, e13226.
- Stuss, D. (2011). Functions of the Frontal Lobes: Relation to Executive Functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*(17), 759-765.
- Stuss, D., & Benson, F. (1986). *The frontal lobes*. New York: Raven Press.
- Stuss, D., Levine, B., Alexander, M. P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., . . . Izkawa, D. (2000). Wisconsin Card Sorting Test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: Effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, *38*(4), 388-402.
- Sullivan, A., & Bars, M. U. (2016). Robotics in the early childhood classroom: learning outcomes from an 8-week robotics curriculum in pre-kindergarten through second grade. *International journal of technology and design education*, *26*, 3-20.
- Sullivan, A., Kazakoff, E. R., & Bers, M. U. (2013). The Wheels on the Bot go Round and Round: Robotics Curriculum in Pre-Kindergarten. *Journal of Information Technology Education: Innovation in practice*, *12*, 203-219.

- Sylvester, C.-Y., Wager, T., Lacey, S., Hernandez, L., Nichols, T., Smith, E., & Jonides, J. (2003). Switching attention and resolving interference: fMRI measures of executive functions. *Neuropsychologia*(41), 357-370.
- Tasca, G. A. (2020). What Is Group Dynamics? *Group Dynamics: Theory, Research, and Practice*, 24(1), 1-5.
- Tashakkori, A., & Teddlie, C. (2010). *Handbook of mixed methods in social & behavioral research* (éd. 2ème édition). Thousand Oaks: Sage.
- Touzet, C. (2012). Théorie neuronale de la Cognition et entraînement cognitif. *Congrès Européen de Stimulation Cognitive*, (pp. 1-2). Dijon: Université de Bourgogne.
- Turchi, T., Fogli, D., & Malizia, A. (2019). Fostering computational thinking through collaborative game-based learning. *Multimedia Tools and Applications*, 78, 13649–13673.
- UNESCO. (2019, Décembre 10). *L'UNESCO prépare les enseignants et les apprenants aux défis du XXIe siècle*. Consulté le Mars 31, 2020, sur UNESCO: <https://fr.unesco.org/news/lunesco-prepare-enseignants-apprenants-aux-defis-du-xxie-siecle>
- Van der Linden, M., Seron, X., Le Gall, D., & Andres, P. (1999). *Neuropsychologie des lobes frontaux*. Paris: Solal.
- Verba, M. (1994). The beginnings of collaboration in peer interaction. *Human Development*, 37(2), 125-139.
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of Experimental Psychology*, 137, 649–672.
- Verhaeghen, P., & Basak, C. (2005). Ageing and switching of the focus of attention in working memory: results from a modified N-back task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58, 134–154.

- Vianin, P. (2020). *Comment donner à l'élève les clés de sa réussite: L'enseignement des stratégies d'apprentissage à l'école*. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Vivian, R., Falkner, K., & Falkner, N. (2014). Addressing the challenges of a new digital technologies curriculum: MOOCs as a scalable solution for teacher professional development. *Research in Learning Technology*, 22, 1-19.
- Vuontela, V., Steenari, M. R., Carlson, S., Koivisto, J., Fjallberg, M., & Aronen, E. T. (2003). Audiospatial and visuospatial working memory in 6–13-year-old school children. *Learning and Memory*, 10(1), 74–81.
- Vygotsky, L. S. (1986). *Thought and Language*. Cambridge: MIT Press.
- Wallet, J. (2006). À l'heure de la société mondialisée du savoir, peut-on supprimer les enseignants ? *Hermès, La Revue*, 45, 91-98.
- Weber, e. u., & Johnson, e. (2009). Mindful judgment and decision making. *annual review of psychology*(60), 53-85.
- Weil, L. G., Fleming, S. M., Dumontheil, I., Kilford, E. J., Weil, R. S., Rees, G., . . . Blakemore, S.-J. (2013). The development of metacognitive ability in adolescence. *Consciousness and Cognition*, 22(1), 264-271.
- Welsh, M. C. (1991). Rule-guided behavior and self-monitoring on the tower of hanoi disk-transfer task. *Cognitive Development*, 6(1), 59–76.
- Welsh, M. C. (2002). Developmental and clinical variations in executive functions. Dans D. L. Molfese, & V. J. Molfese , *Developmental variations in learning: Applications to social, executive function, language, and reading skills* (pp. 139–185). Mahwah: NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Welsh, M. C., & Peterson, E. (2014). Issues in the conceptualization and assessment of hot executive functions in childhood. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 20(2), 1-5.
- Wessel , J. R. (2018). Prepotent motor activity and inhibitory control demands in different variants of the go/no-go paradigm. *Psychophysiology*, 55(3), e12871.

- Wessel, J. R. (2017). Testing multiple psychological processes for common neural mechanisms using EEG and independent component analysis. *Brain Topography*, *31*(1), 90-100.
- Wiebe, S. A., Espy, K. A., & Charak, D. (2008). Using confirmatory factor analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Psychology*, *44*(2), 575-587.
- Wiebe, S. A., Sheffield, T. D., & Espy, K. A. (2012). Separating the fish from the sharks: A longitudinal study of preschool response inhibition. *Child Development*, *83*, 1245-1261.
- Wilensky, U. (1991). Abstract meditations on the concrete and concrete implications for mathematics education. Dans I. Harel, & S. Papert, *Constructionism* (pp. 193-203). Norwood: Ablex Publishing Corporation.
- Willis, S. L., Tennstedt, S. L., Marsiske, M., Ball, K., Elias, J., & Koepke, K. M. (2006). Long-term effects of cognitive training on everyday functional outcomes in older adults. *Journal of American Medical Association*, *296*, 2805-2814.
- Wimmer, H., & Perner, J. (1983). Beliefs about beliefs: Representation and constraining function of wrong beliefs in young children's understanding of deception. *Cognition*, *13*, 103-128.
- Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, *49*(3), 33-35.
- Winnicott, D. W. (1970). Living Creatively. Dans L. Caldwell, & H. T. Robinson, *The Collected Works of D.W. Winnicott* (Vol. 9, pp. 216-224). Oxford: Oxford University Press.
- Winnicott, D. W. (1988). Vivre créativement. Dans D. W. Winnicott, *Conversations ordinaires* (pp. 43-59). Paris: Gallimard.
- Wolfe, S. E., Reisig, M. D., & Holtfreter, K. (2016). Low self-control and crime in late adulthood. *Research on Aging*, *38*, 767-790.

- Wong, G. K., Ching, E., Mark, K. P., Tang, J. K., Lei, C. U., Cheung, H. Y., & Chui, M. (2015). Impact of computational thinking through coding in K-12 education: a pilot study in Hong Kong. *Proceedings of the 11th international conference on technology education in the Asia Pacific Region*. Hong Kong:: Hong Kong Polytechnic University.
- Wright, A., & Diamond, A. (2014). An effect of inhibitory load in children while keeping working memory load constant. *Frontiers in Psychology, 5*, 213-221.
- Yamazaki, Y., Sato, D., Yamashiro, K., Tsubaki, A., Takehara, N., Uetake, Y., . . . Maruyama, A. (2018). Inter-individual differences in working memory improvement after acute mild and moderate aerobic exercise. *PLoS ONE, 13*(12), e0210053.
- Zaharin, N. L., & Mariappan, M. (2018). Computational Thinking: A Strategy for Developing Problem Solving Skills and Higher Order Thinking Skills. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 8*(10), 1265–1278.
- Zanto, T. P., & Gazzaley, A. (2014). Attention and ageing. Dans A. C. Nobre, & S. Kastner, *The Oxford Handbook of attention* (pp. 927–971). Oxford: Oxford University Press.
- Zelazo, P. D., & Carlson, S. M. (2012). Hot and Cool Executive Function in Childhood and Adolescence: Development and Plasticity. *Child Development Perspectives, 6*(4), 354-360.
- Zepeda, C. D., Hlutkowsky, C. O., Partika, A. C., & Nokes-Malach, T. J. (2019). Identifying teachers' supports of metacognition through classroom talk and its relation to growth in conceptual learning. *Journal of educational psychology, 111*(13), 522-541.

X. Annexes

Annexe 1 : Guide d'entretiens auprès des enseignants d'informatique au Liban

- 1) Dans quel cadre donnez-vous des cours de codage et de robotique à l'école ? Ces cours sont-ils limités au programme de TIC ou les utilisez-vous dans d'autres disciplines telles que les mathématiques ou la physique ?
- 2) Quel est votre domaine d'études initiales ? Et quel est votre rôle par rapport à l'enseignement du codage et de la robotique au sein de l'établissement scolaire ?
- 3) Quand l'établissement a-t-il commencé à donner des cours de codage et de robotique et comment cela a-t-il évolué ?
- 4) A partir de quel âge ou de quelle classe commencez-vous à donner des cours de robotique/codage ?
- 5) Quels sont les logiciels et outils que vous utilisez ?
- 6) Pouvez-vous me parler du programme que vous suivez pour les différentes classes ?
- 7) Quelle est la raison pour laquelle vous proposez de tels cours et quelle est leur importance du point de vue de votre établissement scolaire ?
- 8) Avez-vous des projets ou des plans futurs concernant le développement de ces cours dans votre programme ?

Annexe 2 : Questionnaire d'enquête en français

1) Aviez-vous participé à des activités de robotique et de codage avant cet atelier ?

Oui

Non

2) Comment visualisez-vous votre motivation par rapport à la participation aux ateliers en cours ?



3) Trouver la bonne solution a été :

Très dur

Assez dur

Normal

Facile

Très facile

4) Les activités demandent-elles un effort de mémorisation ?

Oui, beaucoup

Oui, un peu

Non, pas du

tout

5) Si oui, qu'est-ce tu sentais qu'il fallait mémoriser durant les activités ?

La consigne

Les erreurs déjà commises pour ne pas les

répéter

Les étapes citées par Karen

Les étapes déjà entreprises

Autre : _____

6) Les activités demandent-elles un effort de concentration ?

Oui, beaucoup

Oui, un peu

Non, pas du

tout

7) Si oui, qu'est-ce qui te dérangeait et te déconcentrait durant les activités ?

La difficulté de l'activité

La présence des camarades (voix,

mouvements)

Des pensées que tu avais

L'envie de finir avant les autres

Autre : _____

8) Comment visualisez-vous le travail effectué en groupe ?



Annexe 3 : Les courtes entrevues individuelles

1592 ont été dit par les enfants dans le discours original, les enfants avaient parlé en arabe, en français et ou en anglais.

La traduction a été faite d'une manière littérale pour tenter de ne pas changer les structures de phrases produites par les enfants. La traduction française de la question est la suivante :

Raconte-moi comment se sont passées les séances de codage et de robotique proposées durant ce mois ?

Patrick : Les séances de l'atelier ce sont très bien passées. Moi, j'ai aimé les ateliers qu'on a fait et les robots et la construction et surtout parmi les robots construits la voiture et le tremblement de terre. De plus scratch était joli, mais le plus dur. J'aurai aimé avoir ça à l'école parce que j'aime construire des legos et des robots et tout ça fait travailler le cerveau. Mais des fois j'aime en groupe et d'autres c'est mieux si on est seul selon ce qu'on construit. C'est tout.

Quentin : Je me suis beaucoup amusé avec le groupe surtout qu'il y avait plusieurs personnes qui pensent chacun d'une façon et je me suis amusé avec Tony dans le groupe j'ai aimé qu'on a inventé un jeu et lui il nous aidait dans scratch pour faire quelque chose de beau parce qu'il sait plus que nous et je l'ai aimé beaucoup à la fin j'ai même pris une vidéo de ce qu'on a fait et je les montrés à ma famille. Maintenant scratch, au début pour comprendre comment ça fonctionne n'était pas facile et la deuxième fois aussi je n'ai pas compris scratch après ça a marché « euu » et depuis j'aime quand il y a la robotique et à chaque fois quand je pars de la séance je dis à ma maman que j'aimerais bien avoir la robotique à l'école. Et je suis allé chez Tony j'ai installé scratch sur l'ordinateur et on a essayé de faire les choses qu'on a fait avant et des choses nouvelles.

Karam : Qu'est-ce que je dois dire ? Toi tu enregistres ma voix ? Qu'est-ce que tu vas faire avec ? Tu peux me l'envoyer ? Tout était facile pour moi et le groupe m'a amusé. J'ai

aimé parce qu'ils me laissaient moi aussi travailler et parce qu'on s'amuse et s'il y avait quelque chose que je ne savais pas ils le savaient et s'il y avait quelque chose qu'ils ne savaient pas je le savais parfois et je me suis concentré tout le temps. Ce robot bleu d'où je peux le chercher ? Tu vas toujours venir nous faire des séances ? L'été prochain aussi tu viens ou c'est fini ? Tu vas laisser ça ici au centre ? Tout ça est pour toi ?

Ursula : Je ne savais pas c'était quoi quand mam m'a dit qu'on va venir à la robotique. Puis je suis venu toutes les fois et j'ai aimé toutes les activités même scratch. Mam a dit que le niveau c'était bien pour mon âge et que les activités sont importantes et seulement et que à l'école si on ouvre en 6^{ème} on aura ça en informatique peut-être. J'aimerais bien avoir comme ça à l'école car c'était beau et plus amusant que la maison. Et Anna et Elena sont gentilles et je les aime.

Chirine : J'ai aimé le robot et il n'y a rien de difficile et je connais plus des choses avec l'ordinateur et on s'amuse, je m'amuse.

Zeina : Scratch est difficile les legos sont beaux je les ai aimés en plus ils m'ont été bénéfique un peu et je m'amuse et il y a une entraide dans le groupe c'est sympa.

Astride : C'est beau parce que je pense mieux je m'amuse plus et tous ensemble on s'entraide j'aime ça. J'ai aimé les ateliers et les robots le plus et scratch.

Bérengère : C'est difficile si je suis toute seule et scratch est difficile le lego est plus facile j'ai aimé plus le lego et le plus difficile c'est scratch et ça ne sert à rien. Heureusement il y avait le groupe parce que c'est très difficile si j'étais toute seule.

Bilal : C'est surtout le robot et scratch qui ont été bénéfique pour mon cerveau. J'aime, j'ai aimé les activités c'est beau et le groupe parce que si je n'ai pas su ils m'aident et sans se moquer de moi. Nous sommes tous égaux. Mon frère étudie la robotique à

l'université donc je faisais la même chose. C'est intelligent. Et facile. Et peut-être on le cherchera pour mes cousins. Ils veulent venir à tes séances la prochaine fois. Je leur ai dit. On va faire une autre fois ? Ta maison est proche ?

Elio : Il y avait beaucoup de règles pour faire un programme c'est difficile, un peu, mais j'ai aimé la construction je m'amusai ici au lieu de rester seulement à la maison. Et j'aimerais bien faire des activités de robotiques quand je serai grand. Et ils sont sympa et si tout le monde s'entraide notre travail sera meilleur.

Joumana : Je me rappelle du Zombie, il était difficile je ne l'ai pas complètement compris, mais le robot était wow j'ai aimé parce que c'est beau c'est très beau et on s'entraide pour faire un bon produit.

Fares : Nous nous sommesentraidés quand nous étions un groupe. J'aime J'ai aimé seulement. C'est beau. C'est juste ça.

Iyad : On a contrôlé le robot oui j'ai aimé ce n'était pas difficile et on fait travailler notre mémoire c'est joli et amusant et aussi s'il y a des choses qu'on arrive pas à faire et que quelqu'un sait faire il nous aide. Et on était deux au même prénom dans le groupe. La chance ! On termine et je pars ?

Chadi : Le plus difficile c'était la fois où on a fait le tremblement de terre c'était joli, mais très dur à faire. J'ai bien aimé quand on construit et que tous les immeubles tombent, mais j'oublie des choses et je m'amuse et on travaille ensemble tout était beau.

Diane : On s'est amusé et on a profité. On arrivait à être rapides à la fin en groupe parce qu'on était ensemble. Rien n'était difficile j'aime j'ai tout aimé.

Heaven : Les activités m'ont été trop bénéfiques au niveau de l'ordinateur j'ai bien aimé et je me suis amusée avec le groupe parce qu'ils s'entraident et ça devient plus facile et plus joli, la construction et l'ordinateur. Et je pourrais m'inscrire dans des activités de robots et c'est tout ce que j'ai à dire et merci.

Yara : On a fait le jeu de l'ours, eu la vidéo et on a fait la voiture et on a fait les zombies et les fleurs et les abeilles. Et les instruments et les fils comment ça s'appelait ? oui j'ai aimé makey-makey j'ai appris à construire et à utiliser l'ordinateur et je me suis amusée et j'ai aidé mon équipe on a travaillé comme un seul cœur tous ensemble.

Gabriella : On a fait scratch des robots et l'ordinateur. J'aurai aimé que ça ne se termine pas parce que j'aime ces activités et le groupe et qu'on s'aide quand la personne ne sait pas faire.

Haya : Scratch est un peu dur il fallait se rappeler et on ne se rappelle pas toujours donc on s'entraide en équipe. On a appris de nouvelles choses que j'ai aimé tous ensemble c'est tout ce que je veux dire.

Isabelle : On a beaucoup travaillé sur scratch à la fin on a fait des choses dures, mais j'ai aimé la voiture qui klaxonne sur scratch et qu'on a enregistré nos voix avec les vidéos et notre photo et on a décidé quoi dire et j'aime aussi quand on s'aide et qu'on s'amuse tous ensemble.

Ghiwa : L'avant dernière séance on a fait des choses et des choses un peu difficiles et j'ai aimé, beaucoup, parce qu'on a appris à faire des jeux et à construire des robots et j'aurai aimé avoir tout le temps comme ça tous les jours, pour qu'on fasse quelque chose d'amusant et qu'on travaille tous ensemble.

Victoria : On a fait ce truc le truc l'ours et le gâteau c'était le meilleur. Le robot était le plus dur, mais on profite quand c'est difficile ce n'était pas très très très difficile, mais pas facile. Un défi au fait. Je suis triste parce qu'on a terminé on venait s'amuser et on prenait des informations en groupe et on s'amusait et on aime venir. Et le temps passe vite. C'est toujours comme ça durant les activités on s'amuse et comme si ça avait pris 5 minutes.

Karen : On a fait du codage c'était difficile, mais joli et on a construit des robots et on travaillait tous ensemble on aimait tous ça et Jean faisait des blagues on rigolait en arrangeant les codes. C'est joli ça j'aime bien.

Mathéo : Makey-makey robots scratch quoi d'autre et des zombies, j'ai aimé tout ce que je viens de citer et le plus dur c'était le robot qui avait un capteur et qu'on devait arrêter avec notre main, mais c'était un beau défi pour nous de ne pas oublier comment tu avais dit qu'il fallait faire. Je préfère travaille des fois tout seul car quand on n'est pas nombreux je peux essayer plus de choses et d'autres fois j'aime le groupe car je suis avec mes amis on rigole bien, mais des fois ils nous ralentissent parce qu'ils n'ont pas compris aaahhh et on a fait le plus beau jeu celui du dragon on a l'a inventé nous-même et on a dit des choses sur le micro du scratch. Et on a trouvé de nouvelles choses dont tu ne nous avais pas parlé c'est sympa on les a utilisés nous on a été créatifs.

Jean : Je me suis amusé et j'ai rigolé et amusé les autres, mais je n'arrivai pas tout le temps à travailler tout seul donc je les fais rigoler et ils m'aident c'est la meilleure solution. On a fait des robots c'était amusant ça. Mais le plus difficile c'est scratch j'ai aimé c'est beau, mais plus difficile que le reste.

Leonel : Honnêtement, on a fait des choses très bénéfiques et qui ressemblent au boulot de mon papa et de ma maman. Par exemple il faut faire bouger le robot j'ai aimé et j'ai appris si je veux inventer seul maintenant je sais comment le faire et les jeux qu'on

a créé surtout avec Mathéo étaient jolis c'est bien on s'aide tous les deux et on profite et j'aime ces choses-là. Et mes parents savent travailler avec les applications et les codes et maintenant je peux le faire aussi. Je veux faire ça encore plus et essayer de nouvelles fois de jolis jeux et vidéos et finir code.org en entier c'est un défi qu'on a commencé ici et je le continuerai grâce à l'aide de mes parents et de mon frère il étudie les robots à l'école maintenant que moi aussi j'ai fabriqué un robot on sait tous le faire en famille.

Nathalie : J'ai aimé le robot de la boîte bleue puisqu'il n'est pas difficile et c'est amusant et quand j'oublie ils m'aidaient dans le groupe ils me rappelaient et j'aime ça. C'est tout. Il faut parler encore ?

Elena : On a fait des choses qui nous permettent de nous concentrer c'était joli et sympa et j'ai aimé quand on a construit les robots et on était fortes rien rien n'a été dur pour nous. Sauf si sauf la dernière fois la voiture qui marche et le robot aussi qui doit s'arrêter klaxonner là c'était difficile, mais important parce que ça me permet de raisonner d'une manière rapide et intelligente et c'est amusant et certainement en groupe nous réfléchissions ensemble tout le temps pour être plus rapides.

Daria : On a construit des choses tous ensemble robots makey-makey codage, des choses comme ça j'ai aimé l'ordinateur et l'ipad ils sont bénéfiques pas comme à la maison, mais je préfère travailler seule parce que si quelqu'un ne sait pas répondre et l'autre sait il se peut que le premier n'apprenne pas alors que c'était bénéfique pour moi je me concentrais c'est pour cette raison que je préfère être seule, mais ce qui est bien c'est qu'on n'a pas ça à l'école je n'aurai pas aimé parce que ça prend du temps qui devait être consacré à des choses importantes que je dois apprendre à l'école. Et s'il y a des personnes lentes on devient très lents.

Anna : Je devais faire bouger des objets et j'ai tout aimé parce que j'ai pu le faire et mes amis m'ont aidé, ils s'assoient à côté de moi, ils sont gentils, ils m'expliquent, ils

m'aident et moi j'aime bien puisqu'on n'étudie pas, mais que c'est bénéfique on a fait beaucoup de choses bénéfiques, on a contrôlé des voitures grâce à l'ordinateur et au sol c'était beau.

Annexe 4 : Temps de réponse au *Flanker*

Statistiques descriptives

N		Temps de réponse au	Temps de réponse au	Temps de réponse
		<i>Flanker</i> T ₀	<i>Flanker</i> T ₁	au <i>Flanker</i> T ₂
	Valides	35	35	35
	Manquantes	0	0	0
Moyenne		806.0600	739.6686	680.1514
Médiane		779.7000	685.8000	656.9000
Mode		746.20	600.70	573.40
Écart type		147.20924	149.45220	122.42391
Minimum		568.70	439.70	506.40
Maximum		1174.60	1038.80	994.80
es	Percentil 25	703.1000	624.3000	573.6000
	50	779.7000	685.8000	656.9000
	75	893.1000	865.8000	762.4000

Test de Normalité

	Shapiro-Wilk	df	Sig.
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	.957	35	.189
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	.946	35	.083
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	.933	35	.034

ANOVA à mesures répétées

Mesure : Temps de réponse au *Flanker*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Sphericity Assumed	277702.605	2	138851.303	16.195	.000	.323
Greenhouse-Geisser	277702.605	1.635	169883.881	16.195	.000	.323
Huynh-Feldt	277702.605	1.706	162786.214	16.195	.000	.323
Lower-bound	277702.605	1.000	277702.605	16.195	.000	.323

Comparaison *Pairwise*

Mesure : Temps de réponse au *Flanker*

(I) Time	(J) Time	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig. ^b	95% Confidence Interval for Difference ^b	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	66.391*	25.546	.041	2.060	130.723
	2	125.909*	23.482	.000	66.774	185.043
1	0	-66.391*	25.546	.041	-130.723	-2.060
	2	59.517*	16.304	.003	18.460	100.574
2	0	-125.909*	23.482	.000	-185.043	-66.774
	1	-59.517*	16.304	.003	-100.574	-18.460

Based on estimated marginal means

*. The mean difference is significant at the .05 level.

b. Adjustment for multiple comparisons: Bonferroni.

Annexe 5 : Score d'alternance au *Hearts and Flowers*

Statistiques descriptives

		Score d'alternance	Score	Score
		au <i>Hearts and Flowers</i> T ₀	d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₁	au d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₂
N	Valides	35	35	35
	Manquantes	0	0	0
Moyenne		739.8722	697.8215	329.5665
Médiane		635.1424	541.5652	293.2333
Mode		225.86 ^a	38.18 ^a	34.87 ^a
Écart type		458.63254	502.88544	206.25863
Minimum		225.86	38.18	34.87
Maximum		1782.72	2097.30	982.15
Percentiles	25	345.2765	344.6837	187.6500
	50	635.1424	541.5652	293.2333
	75	986.4000	997.4598	419.1917

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Test de Normalité

	Shapiro-Wilk	df	Sig.
T ₀ Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i>	.896	35	.003
T ₁ Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i>	.876	35	.001
T ₂ Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i>	.894	35	.003

Test Statistique de Friedman^a

N	35
Chi-Square	32.40
	0
df	2
Asymp. Sig.	.000

a. Friedman Test

Test Statistique de Wilcoxon^a

	Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₀ -T ₁	Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₁ -T ₂	Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₀ -T ₂
Z	-1.458 ^b	-4.897 ^b	-4.799 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.145	.000	.000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Annexe 6 : Erreurs au *Go / No Go* : Fausses alarmes et omissions

Statistiques descriptives

		Fausses alarmes au <i>No go</i>		Fausses alarmes au <i>No go</i>		Fausses alarmes au <i>No go</i>		Omissions au <i>Go</i>		Omissions au <i>Go</i>	
		T ₀	T ₁	T ₁	T ₂	T ₂	T ₀	T ₁	T ₁	T ₂	
N	Valides	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
	Manquantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Moyenne		3.5429	2.8000	3.0571		.6857	.8857		.5143		
Médiane		4.0000	3.0000	3.0000		.0000	.0000		.0000		
Écart type		2.20084	2.08355	1.96952		1.15737	1.82743		1.22165		
Minimum		.00	.00	.00		.00	.00		.00		
Maximum		9.00	9.00	8.00		5.00	10.00		6.00		
Test de Normalité						.0000	.0000		.0000		
Shapiro-Wilk Statistique						.0000	.0000		.0000		
						1.0000	1.0000		.0000		

	es	Df	Sig.
Fausses alarmes au <i>No Go</i> T ₀	.952	35	.133
Fausses alarmes au <i>No Go</i> T ₁	.924	35	.019
Fausses alarmes au <i>No Go</i> T ₂	.918	35	.012
Omissions au <i>Go</i> T ₀	.639	35	.000
Omissions au <i>Go</i> T ₁	.494	35	.000
Omissions au <i>Go</i> T ₂	.494	35	.000

Test de Friedman

N	35
Chi-Square	3.887
df	2
Asymp. Sig.	.143

a. Friedman Test

Annexe 7 : Réponses correctes au N-back

Statistiques descriptives

		Réponses	Réponses	Réponses
		correctes au N-back T ₀	correctes au N-back T ₁	correctes au N-back T ₂
N	Valides	35	35	35
	Manquantes	0	0	0
Moyenne		6.9143	10.1429	11.2571
Médiane		7.0000	11.0000	13.0000
Écart type		4.76736	5.38594	4.79180
Minimum		-3.00	-5.00	.00
Maximum		16.00	17.00	17.00
Percentiles	25	3.0000	8.0000	7.0000
	50	7.0000	11.0000	13.0000
	75	10.0000	14.0000	15.0000

Test de normalité

		Shapiro-Wilk		S
		Statistiques	df	
T ₀	Réponses correctes au N-back	.979	35	.720
T ₁	Réponses correctes au N-back	.859	35	.000
T ₂	Réponses correctes au N-back	.876	35	.001

Test de Friedman

N	35
Chi-Square	24.047
df	2
Asymp. Sig.	.000

a. Friedman Test

Test de Wilcoxon

	Réponses correctes au N-back T ₀ – T ₁	Réponses correctes au N-back T ₁ – T ₂	Réponses correctes au N-back T ₀ – T ₂
Z	-3.667 ^b	-1.602 ^b	-4.358 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000	.109	.000

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on negative ranks.

Annexe 8 :

Statistiques descriptives

		Nombre total de	Nombre total de	Nombre total de
		mouvements au TOH T ₀	mouvements au TOH T ₁	mouvements au TOH T ₂
N	Valides	35	35	35
	Manquantes	0	0	0
Moyenne		13.2857	12.2857	9.9429
Médiane		11.0000	12.0000	9.0000
Mode		10.00	14.00	7.00
Écart type		5.67021	3.98948	3.18953
Minimum		7.00	7.00	7.00
Maximum		28.00	25.00	19.00
Percentiles	25	9.0000	9.0000	7.0000
	50	11.0000	12.0000	9.0000
	75	15.0000	14.0000	12.0000

Test de normalité

Shapiro-Wilk	Statistiques	df	Sig.
Nombre total de mouvements au TOH T ₀	.849	35	.000
Nombre total de mouvements au TOH T ₁	.903	35	.005
Nombre total de mouvements au TOH T ₂	.851	35	.000

Test de Friedman^a

N	35
Chi-Square	19.678
df	2
Asymp. Sig.	.000

a. Friedman Test

Test Statistique de Wilcoxon^a

	Nombre total de mouvements au TOH T ₀ - T ₁	Nombre total de mouvements au TOH T ₁ - T ₂	Nombre total de mouvements au TOH T ₀ - T ₂
Z	-1.391 ^b	-3.882 ^b	-3.229 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.164	.000	.001

a. Wilcoxon Signed Ranks Test

b. Based on positive ranks.

Annexe 9 : Liens statistiques entre les indicateurs de la VI et ceux de la VD

1) Temps de réponse au Flanker et tarif de scolarité

		Shapiro-Wilk		
		Statistiques	df	Sig.
		Tarif de scolarité		
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	Publique - gratuite	.842	9	.061
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.882	10	.139
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.867	7	.176
	Privée, plus de 6 000 000	.914	9	.345
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	Publique - gratuite	.918	9	.378
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.931	10	.455
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.935	7	.592
	Privée, plus de 6 000 000	.818	9	.033
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	Publique - gratuite	.900	9	.254
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.964	10	.831
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.954	7	.766
	Privée, plus de 6 000 000	.935	9	.527

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	Between Groups	48137.261	3	16045.754	.722	.546
	Within Groups	688661.763	31	22214.896		
	Total	736799.024	34			
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	Between Groups	65125.322	3	21708.441	.969	.420
	Within Groups	694297.273	31	22396.686		
	Total	759422.595	34			
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	Between Groups	50342.067	3	16780.689	1.133	.351
	Within Groups	459236.821	31	14814.091		
	Total	509578.887	34			

		Shapiro-Wilk		
		Statistique	df	Sig.
		Ecole		
Taux d'évolution du	Publique - gratuite	.937	9	.547
temps de réponse au <i>Flanker</i> entre T ₁ et T ₂	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.885	10	.149
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.942	7	.653

Privée, plus de 6 000 000	.981	9	.969
---------------------------	------	---	------

ANOVA

2) Taux d'évolution du temps de réponse au *Flanker* entre T₁ et T₂

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.004	3	.001	.090	.965
Within Groups	.438	31	.014		
Total	.442	34			

Independent Samples Test											
		Levene's Test for Equality of Variances				t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper	
Temps de réponses au <i>Flanker</i> T ₀	Equal variances assumed	.767	.387	.224	33	.824	11.56429	51.51653	-93.24688	116.37545	
	Equal variances not assumed			.234	31.577	.816	11.56429	49.39211	-89.09700	112.22557	
Temps de réponses au <i>Flanker</i> T ₁	Equal variances assumed	.637	.431	-.164	33	.871	-8.58810	52.32002	-115.03398	97.85779	
	Equal variances not assumed			-.163	27.057	.872	-8.58810	52.84285	-117.00192	99.82573	
Temps de réponses au <i>Flanker</i> T ₂	Equal variances assumed	.148	.703	.561	33	.579	23.94286	42.67243	-62.87485	110.76057	
	Equal variances not assumed			.564	28.531	.577	23.94286	42.44201	-62.92281	110.80852	

3) Temps de réponse au *Flanker* et genre

	Genre	Statistiques	df	Sig.
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	Fille	.957	21	.461
	Garçon	.958	14	.682
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	Fille	.950	21	.338
	Garçon	.847	14	.020
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	Fille	.955	21	.422
	Garçon	.843	14	.018

Shapiro-Wilk

	Genre	Statistique	df	Sig.
Taux d'évolution du temps de	Fille	.932	21	.151
réponse au <i>Flanker</i> entre T ₁ et T ₂	Garçon	.940	14	.424

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Taux d'évolution du temps de réponse au <i>Flanker</i> entre T ₁ et T ₂	Equal variances assumed	.115	.737	1.098	33	.280	.04310	.03923	-.03672	.12292
	Equal variances not assumed			1.108	28.839	.277	.04310	.03889	-.03647	.12266

4) Temps de réponse au Flanker et participation antérieure à des séances de robotique

		Participation antérieure à des séances de codage et robotique	Shapiro-Wilk
		Statistiques	df
			Sig.
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	Oui	.919	11
	Non	.951	23
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	Oui	.742	11
	Non	.954	23
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	Oui	.847	11
	Non	.927	23

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	Equal variances assumed	.296	.590	-.844	33	.405	-44.43225	52.64531	-151.53993	62.67544
	Equal variances not assumed			-.862	23.768	.397	-44.43225	51.54566	-150.87233	62.00784
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	Equal variances assumed	1.438	.239	-1.237	33	.225	-65.33043	52.81056	-172.77433	42.11346
	Equal variances not assumed			-1.380	29.818	.178	-65.33043	47.34813	-162.05302	31.39215
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	Equal variances assumed	.139	.711	-1.113	33	.274	-48.33841	43.44412	-136.72612	40.04931
	Equal variances not assumed			-1.144	24.230	.264	-48.33841	42.24106	-135.47594	38.79913

		robotique	Statistiques	df	Sig.
Taux d'évolution du temps de réponse au <i>Flanker</i> entre T ₁ et T ₂	Oui	.887	11	.127	
	Non	.977	24	.825	

Independent Samples Test										
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Taux d'évolution du temps de réponse au <i>Flanker</i> entre T ₁ et T ₂	Equal variances assumed	.009	.926	-.187	33	.853	-.00788	.04213	-.09359	.07784
	Equal variances not assumed			-.173	16.303	.865	-.00788	.04560	-.10440	.08864

5) Temps de réponse au Flanker et nombres de catégories complétées au WCST

	Nombre de catégories complétées WCST	Shapiro-Wilk		
		Statistiques	df	Sig.
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀ 1	1	.785	4	.078
	2	.794	8	.025
	3	.947	10	.632
	4	.928	8	.498
	5	.907	5	.449
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁ 1	1	.978	4	.890
	2	.923	8	.455
	3	.872	10	.107
	4	.890	8	.236
	5	.878	5	.302
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂ 1	1	.992	4	.966
	2	.948	8	.693
	3	.940	10	.548
	4	.954	8	.749
	5	.897	5	.391

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₀	Between Groups	76473.327	4	19118.332	.869	.494
	Within Groups	660325.697	30	22010.857		
	Total	736799.024	34			
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₁	Between Groups	95794.738	4	23948.685	1.083	.383
	Within Groups	663627.857	30	22120.929		
	Total	759422.595	34			
Temps de réponse au <i>Flanker</i> T ₂	Between Groups	73854.112	4	18463.528	1.271	.303
	Within Groups	435724.775	30	14524.159		
	Total	509578.887	34			

Nombre de catégories complétées WCST	Shapiro-Wilk		
	Statistique	df	Sig.

Taux d'évolution du temps1		.950	4	.714
de réponse au <i>Flanker</i> entre2		.952	8	.734
T ₁ et T ₂	3	.978	10	.951
	4	.903	8	.307
	5	.965	5	.844

ANOVA

Taux d'évolution du temps de réponse au *Flanker* entre T₁ et T₂

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.061	4	.015	1.201	.331
Within Groups	.381	30	.013		
Total	.442	34			

6) Score d'alternance au Hearts and Flowers et tarif de scolarité

	Tarif de scolarité	Shapiro-Wilk		
		Statistiques	df	Sig.
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₀	Publique - gratuite	.955	9	.747
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.906	10	.253
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.949	7	.724
	Privée, plus de 6 000 000	.711	9	.002
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Publique - gratuite	.861	9	.099
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.949	10	.655
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.910	7	.392
	Privée, plus de 6 000 000	.754	9	.006
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Publique - gratuite	.938	9	.561
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.863	10	.084
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.854	7	.134
	Privée, plus de 6 000 000	.939	9	.570

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₀	Between Groups	696997.646	3	232332.549	1.116	.358
	Within Groups	6454691.636	31	208215.859		
	Total	7151689.282	34			
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Between Groups	1474650.119	3	491550.040	2.139	.115
	Within Groups	7123737.999	31	229798.000		
	Total	8598388.118	34			
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Between Groups	117372.869	3	39124.290	.913	.446
	Within Groups	1329076.250	31	42873.427		
	Total	1446449.119	34			

		Shapiro-Wilk		
		Statistique	df	Sig.
Taux d'évolution du score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> entre T ₁ et T ₂	Publique - gratuite	.977	9	.944
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.805	10	.017
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.867	7	.174
	Privée, plus de 6 000 000	.629	9	.000

ANOVA

Taux d'évolution du score d'alternance au *Hearts and Flowers* entre T₁ et T₂

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.349	3	.450	1.173	.336
Within Groups	11.889	31	.384		
Total	13.238	34			

7) Score d'alternance au Hearts and Flowers et genre

	Genre	Shapiro-Wilk			
		Statistic	Statistic	df	Sig.
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₀	Garçon	.147	.889	21	.022
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Garçon	.199	.878	14	.055
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Garçon	.204	.893	21	.026
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Garçon	.257	.852	14	.024
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Garçon	.152	.921	21	.092
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Garçon	.169	.899	14	.108

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₀	Equal variances assumed	.133	.718	.479	33	.635	76.68397	160.06733	-248.97546	402.34340
	Equal variances not assumed			.479	28.049	.635	76.68397	160.01422	-251.06452	404.43246
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Equal variances assumed	2.970	.094	-.957	33	.346	-166.21362	173.72834	-519.66658	187.23934
	Equal variances not assumed			-.889	21.127	.384	-166.21362	187.07182	-555.10796	222.68073
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Equal variances assumed	3.390	.075	-1.044	33	.304	-74.21687	71.07149	-218.81290	70.37917
	Equal variances not assumed			-.953	19.700	.352	-74.21687	77.90771	-236.88854	88.45481

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₀	Equal variances assumed	.133	.718	.479	33	.635	76.68397	160.06733	-248.97546	402.21108
	Equal variances not assumed			.479	28.049	.635	76.68397	160.01422	-251.06452	404.21108
Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₁	Equal variances assumed	2.970	.094	-.957	33	.346	-166.21362	173.72834	-519.66658	187.18934
	Equal variances not assumed			-.889	21.127	.384	-166.21362	187.07182	-555.10796	222.60270
Score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> T ₂	Equal variances assumed	3.390	.075	-1.044	33	.304	-74.21687	71.07149	-218.81290	70.36917
	Equal variances not assumed			-.953	19.700	.352	-74.21687	77.90771	-236.88854	88.45480

Genre

	Shapiro-Wilk		
	Statistique	df	Sig.
Taux d'évolution du score Fille	.655	21	.000
d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> entre T ₁ et T ₂ Garçon	.931	14	.313

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Taux d'évolution du score d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> entre T ₁ et T ₂	Equal variances assumed	2.057	.161	.964	33	.342	.2077504	.2155227	-.2307338	.6462346
	Equal variances not assumed			1.142	25.552	.264	.2077504	.1819281	-.1665274	.5820283

8) Score d'alternance au Hearts and Flowers et participation antérieure à des séances de robotique et de codage

		Participation antérieure à des séances de codage et robotique	Shapiro-Wilk Statistiques	df	Sig.
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₀	Oui		.908	11	.229
	Non		.893	24	.016
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Oui		.909	11	.238
	Non		.885	24	.010
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Oui		.888	11	.132
	Non		.882	24	.009

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₀	Equal variances assumed	3.612	.066	-1.091	33	.283	-181.62686	166.52894	-520.43253	157.17882
	Equal variances not assumed			-1.314	30.627	.198	-181.62686	138.18157	-463.58926	100.33555
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₁	Equal variances assumed	5.573	.024	-1.206	33	.236	-219.32891	181.89513	-589.39733	150.73951
	Equal variances not assumed			-1.519	32.585	.138	-219.32891	144.36605	-513.18585	74.52803
Score d'alternance au Hearts and Flowers T ₂	Equal variances assumed	.240	.627	.034	33	.973	2.57532	76.22881	-152.51337	157.66400
	Equal variances not assumed			.035	21.621	.972	2.57532	73.09772	-149.17442	154.32506

Participation antérieure à des séances de codage et de robotique		Shapiro-Wilk	df	Sig.
Taux d'évolution du score	Oui	.904	11	.209
d'alternance au <i>Hearts and Flowers</i> entre T ₁ et T ₂	Non	.603	24	.000

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Taux d'évolution du temps de réponse au <i>Flanker</i> entre T ₁ et T ₂	Equal variances assumed	.923	.344	-.138	33	.891	-.0317152	.2305525	-.5007778	.4373475
	Equal variances not assumed			-.185	32.157	.854	-.0317152	.1712914	-.3805574	.3171271

9) Score d'alternance au Hearts and Flowers et nombre de catégories complétées au WCST

		Nombre de catégories complétées WCST Shapiro-Wilk		
		Statistiques	df	Sig.
Score d'alternance au <i>Hearts</i> and <i>Flowers</i> T ₀	1	.879	4	.334
	2	.928	8	.501
	3	.967	10	.866
	4	.818	8	.044
	5	.881	5	.314
Score d'alternance au <i>Hearts</i> and <i>Flowers</i> T ₁	1	.682	4	.007
	2	.950	8	.712
	3	.876	10	.119
	4	.976	8	.940
	5	.876	5	.292
Score d'alternance au <i>Hearts</i> and <i>Flowers</i> T ₂	1	.995	4	.982
	2	.773	8	.014
	3	.885	10	.148
	4	.893	8	.251
	5	.946	5	.706

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Score d'alternance au <i>Hearts</i> and <i>Flowers</i> T ₀	Between Groups	480246.369	4	120061.592	.540	.708
	Within Groups	6671442.913	30	222381.430		
	Total	7151689.282	34			
Score d'alternance au <i>Hearts</i> and <i>Flowers</i> T ₁	Between Groups	1325983.980	4	331495.995	1.367	.269
	Within Groups	7272404.138	30	242413.471		
	Total	8598388.118	34			
Score d'alternance au <i>Hearts</i> and <i>Flowers</i> T ₂	Between Groups	50245.224	4	12561.306	.270	.895
	Within Groups	1396203.895	30	46540.130		
	Total	1446449.119	34			

		Nombre de catégories complétées WCST Shapiro-Wilk		
		Statistique	df	Sig.

Taux d'évolution du score1		.950	4	.890
d'alternance au <i>Hearts and</i> 2		.952	8	.002
<i>Flowers</i> entre T ₁ et T ₂	3	.978	10	.951
	4	.903	8	.307
	5	.965	5	.844

ANOVA

Taux d'évolution du score d'alternance au *Hearts and Flowers* entre T₁ et T₂

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.112	4	.278	.688	.606
Within Groups	12.126	30	.404		
Total	13.238	34			

10) Nombre de mouvements effectués à la tour de Hanoï et tarif de scolarité

		Shapiro-Wilk		
Tarif de scolarité		Statistiques	df	Sig.
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	Publique - gratuite	.839	9	.056
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.811	10	.020
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.996	7	1.000
	Privée, plus de 6 000 000	.769	9	.009
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	Publique - gratuite	.933	9	.507
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.838	10	.042
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.980	7	.957
	Privée, plus de 6 000 000	.960	9	.801
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	Publique - gratuite	.856	9	.088
	Privée - 2 000 000 - 3 900 000	.792	10	.012
	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.626	7	.001
	Privée, plus de 6 000 000	.866	9	.110

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	Between Groups	156.425	3	52.142	1.726	.182
	Within Groups	936.717	31	30.217		
	Total	1093.143	34			
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	Between Groups	92.008	3	30.669	2.117	.118
	Within Groups	449.135	31	14.488		
	Total	541.143	34			
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	Between Groups	21.060	3	7.020	.670	.577
	Within Groups	324.825	31	10.478		
	Total	345.886	34			

		Shapiro-Wilk		
Tarif de scolarité		Statistique	df	Sig.
Publique - gratuite		.798	9	.020
Privée - 2 000 000 - 3 900 000		.969	10	.884

Taux d'évolution des	Privée, 4 000 000 - 5 900 000	.859	7	.150
mouvements effectués à la tour	Privée, plus de 6 000 000	.941	9	.587
de Hanoi entre T ₁ et T ₂ .				

ANOVA

Taux d'évolution des mouvements effectués à la tour de Hanoi entre T₁ et T₂.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.033	3	.011	.267	.849
Within Groups	1.275	31	.041		
Total	1.308	34			

11) Nombre de mouvements effectués à la tour de Hanoï et genre

		Shapiro-Wilk		
Genre		Statistiques	df	Sig.
Mouvements effectués à la tour de	Fille	.823	21	.001
Hanoï en T ₀	Garçon	.908	14	.149
Mouvements effectués à la tour de	Fille	.906	21	.045
Hanoï en T ₁	Garçon	.926	14	.265
Mouvements effectués à la tour de	Fille	.734	21	.000
Hanoï en T ₂	Garçon	.949	14	.539

Statistiques descriptives

	Genre	N	Moyenne	Std. Deviation	Std. Error Mean
Mouvements effectués à la	Fille	21	11.3333	4.09064	.89265
tour de Hanoï en T ₀	Garçon	14	16.2143	6.55367	1.75154
Mouvements effectués à la	Fille	21	11.0952	3.14491	.68628
tour de Hanoï en T ₁	Garçon	14	14.0714	4.54828	1.21558
Mouvements effectués à la	Fille	21	8.8095	2.60037	.56745
tour de Hanoï en T ₂	Garçon	14	11.6429	3.31911	.88707

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means				95% Confidence Interval of the Difference		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	Equal variances assumed	5.294	.028	-2.719	33	.010	-4.88095	1.79488	-8.53266	-1.22925
	Equal variances not assumed			-2.483	19.763	.022	-4.88095	1.96589	-8.98488	-.77703
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	Equal variances assumed	.642	.429	-2.294	33	.028	-2.97619	1.29760	-5.61617	-.33621
	Equal variances not assumed			-2.132	21.207	.045	-2.97619	1.39592	-5.87745	-.07493
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	Equal variances assumed	.540	.468	-2.827	33	.008	-2.83333	1.00226	-4.87244	-.79423
	Equal variances not assumed			-2.691	23.282	.013	-2.83333	1.05304	-5.01025	-.65642

	Genre	Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.
Taux d'évolution des mouvements effectués à la tour de Hanoï entre T ₁ et T ₂ .	Fille	.961	21	.534
	Garçon	.953	14	.602

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Taux d'évolution des mouvements effectués à la tour de Hanoï entre T ₁ et T ₂ .	Equal variances assumed	.503	.483	-.494	33	.625	-.03381	.06845	-.17307	.10545
	Equal variances not assumed			-.501	29.420	.620	-.03381	.06742	-.17162	.10400

12) Nombre de mouvements effectués à la tour de Hanoï et participation antérieure à des séances de codage et de robotique

		Participation antérieure à des séances de codage et de robotique	Shapiro-Wilk Statistiques	df	Sig.
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	Oui		.946	11	.592
	Non		.866	24	.004
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	Oui		.858	11	.054
	Non		.908	24	.032
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	Oui		.894	11	.155
	Non		.834	24	.001

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	Equal variances assumed	5.887	.021	-1.947	33	.060	-3.86364	1.98476	-7.90167	.1744
	Equal variances not assumed			-2.514	32.993	.017	-3.86364	1.53710	-6.99091	-.7363
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	Equal variances assumed	.408	.527	-1.208	33	.236	-1.74242	1.44292	-4.67806	1.1932
	Equal variances not assumed			-1.272	22.168	.217	-1.74242	1.37011	-4.58262	1.0977
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	Equal variances assumed	3.545	.069	-.493	33	.625	-.57955	1.17448	-2.96904	1.8099
	Equal variances not assumed			-.570	27.954	.573	-.57955	1.01733	-2.66360	1.5045

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
Taux d'évolution des mouvements effectués à la tour de Hanoï entre T ₁ et T ₂ .	Equal variances assumed	.575	.454	1.080	33	.288	.07693	.07125	-.06803	.22189
	Equal variances not assumed			1.156	23.104	.260	.07693	.06657	-.06075	.21461

13) Nombre de mouvements effectués à la tour de Hanoï et nombre de catégories complétées au WCST

		Nombre de catégories complétées au WCST	Shapiro-Wilk Statistiques	df	Sig.
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	1		.963	4	.798
	2		.930	8	.513
	3		.745	10	.003
	4		.744	8	.007
	5		.923	5	.549
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	1		.863	4	.272
	2		.928	8	.497
	3		.923	10	.382
	4		.822	8	.049
	5		.958	5	.795
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	1		.849	4	.224
	2		.797	8	.026
	3		.881	10	.134
	4		.874	8	.167
	5		.833	5	.147

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₀	Between Groups	170.918	4	42.729	1.390	.261
	Within Groups	922.225	30	30.741		
	Total	1093.143	34			
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₁	Between Groups	40.168	4	10.042	.601	.665
	Within Groups	500.975	30	16.699		
	Total	541.143	34			
Mouvements effectués à la tour de Hanoï en T ₂	Between Groups	2.911	4	.728	.064	.992
	Within Groups	342.975	30	11.433		
	Total	345.886	34			

Shapiro-Wilk

		Nombre de catégories complétées au WCST	Statistique	df	Sig.
Taux d'évolution des1			.748	4	.037
mouvements effectués à2			.975	8	.933
la tour de Hanoï entre T1 et3			.913	10	.299
T2.	4		.833	8	.064
	5		.939	5	.657

ANOVA

Taux d'évolution des mouvements effectués à la tour de Hanoï entre T₁ et T₂.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.069	4	.017	.415	.797
Within Groups	1.240	30	.041		
Total	1.308	34			

14) Croisement entre genre (filles) et type d'écoles pour les indicateurs des mesures répétées présentant une amélioration significative

Test Statistics^{a,b}						
	Moyenne des temps de réponses au flanker T0	Moyenne des temps de reponses au flanker T1	Moyenne des temps de reponses au flanker T2	Taux d'evolution flanker	Score switching Hearts and flowers T0	Score switching Hearts and flowers T1
Kruskal-Wallis H	2.903	7.038	8.766	2.116	2.362	2.623
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.407	.071	.033	.549	.501	.453

Test Statistics^{a,b}						
	Score switching Hearts and flowers T2	Taux d'evolution Heart and flowers RT	TOH moves pour 3 T0	TOH moves pour 3 T1	TOH moves pour 3 T2	Taux d'evolution TOH M3
Kruskal-Wallis H	3.779	3.545	1.787	5.157	2.614	2.250
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.286	.315	.618	.161	.455	.522

- a. Kruskal Wallis Test
- b. Grouping Variable: École

15) Croisement entre genre (filles) et la participation antérieure à des séances de codage et robotique pour les indicateurs des mesures répétées présentant une amélioration significative

Test Statistics^a

	Moyenne des temps de reponses au flanker T0	Moyenne des temps de reponses au flanker T1	Moyenne des temps de reponses au flanker T2	Taux d'evolution flanker	Score switching Hearts and flowers T0	Score switching Hearts and flowers T1
Mann-Whitney U	42.000	20.000	31.000	49.000	43.000	38.000
Wilcoxon W	147.000	48.000	59.000	154.000	148.000	143.000
Z	-.522	-2.164	-1.343	.000	-.448	-.821
Asymp. Sig. (2-tailed)	.602	.030	.179	1.000	.654	.412
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.636 ^b	.031 ^b	.197 ^b	1.000 ^b	.689 ^b	.443 ^b

Test Statistics^a

	Score switching Hearts and flowers T2	Taux d'evolution Heart and flowers RT	TOH moves pour 3 T0	TOH moves pour 3 T1	TOH moves pour 3 T2	Taux d'evolution TOH M3
Mann-Whitney U	28.000	45.000	23.000	22.000	39.000	23.000
Wilcoxon W	133.000	150.000	51.000	50.000	144.000	128.000
Z	-1.567	-.298	-1.969	-2.036	-.808	-1.954
Asymp. Sig. (2-tailed)	.117	.765	.049	.042	.419	.051
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.128 ^b	.799 ^b	.056 ^b	.046 ^b	.488 ^b	.056 ^b

16) Croisement entre genre (fille) et le nombre de catégories trouvées au WCST pour les indicateurs des mesures répétées présentant une amélioration significative

Test Statistics^{a,b}						
	Moyenne des temps de reponses au flanker T0	Moyenne des temps de reponses au flanker T1	Moyenne des temps de reponses au flanker T2	Taux d'evolution flanker	Score switching Hearts and flowers T0	Score switching Hearts and flowers T1
Kruskal-Wallis H	.846	4.313	3.336	.403	3.960	2.645
df	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.932	.365	.503	.982	.411	.619

Test Statistics^{a,b}						
	Score switching Hearts and flowers T2	Taux d'evolution Heart and flowers RT	TOH moves pour 3 T0	TOH moves pour 3 T1	TOH moves pour 3 T2	Taux d'evolution TOH M3
Kruskal-Wallis H	2.937	3.994	10.736	5.237	1.805	3.329
df	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.568	.407	.030	.264	.771	.504

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Nombre de categories completees WCST

17) Croisement entre genre (garçon) et type d'écoles pour les indicateurs des mesures répétées présentant une amélioration significative

Test Statistics^{a,b}

	Moyenne des temps de reponses au eflanker T0	Moyenne des temps de reponses au flanker T1	Moyenne des temps de reponses au flanker T2	Taux d'evolution flanker	Score switching Hearts and flowers T0	Score switching Hearts and flowers T1
Kruskal-Wallis H	.849	3.919	2.148	2.867	3.103	7.385
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.838	.270	.542	.413	.376	.061

Test Statistics^{a,b}

	Score switching Hearts and flowers T2	Taux d'evolution Heart and flowers RT	TOH moves pour 3 T0	TOH moves pour 3 T1	TOH moves pour 3 T2	Taux d'evolution TOH M3
Kruskal-Wallis H	6.790	.390	1.081	2.055	3.128	2.997
df	3	3	3	3	3	3
Asymp. Sig.	.079	.942	.782	.561	.372	.392

- a. Kruskal Wallis Test
- b. Grouping Variable: Ecole

18) Croisement entre genre (garçon) et la participation antérieure à des séances de codage et robotique pour les indicateurs des mesures répétées présentant une amélioration significative

	Test Statistics ^a					
	Moyenne des temps de reponses au flanker T0	Moyenne des temps de reponses au flanker T1	Moyenne des temps de reponses au flanker T2	Taux d'evolution flanker	Score switching Hearts and flowers T0	Score switching Hearts and flowers T1
Mann-Whitney U	6.000	18.000	9.000	8.500	11.000	7.000
Wilcoxon W	16.000	73.000	19.000	18.500	21.000	17.000
Z	-1.982	-.283	-1.557	-1.632	-1.273	-1.838
Asymp. Sig. (2-tailed)	.047	.777	.119	.103	.203	.066
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	.054 ^b	.839 ^b	.142 ^b	.106 ^b	.240 ^b	.076 ^b

	Test Statistics ^a					
	Score switching Hearts and flowers T2	Taux d'evolution Heart and flowers RT	TOH moves pour 3 T0	TOH moves pour 3 T1	TOH moves pour 3 T2	Taux d'evolution TOH M3
Mann-Whitney U	10.000	12.000	14.500	19.500	17.000	12.500
Wilcoxon W	20.000	67.000	24.500	74.500	27.000	22.500
Z	-1.414	-1.131	-.780	-.072	-.429	-1.064
Asymp. Sig. (2-tailed)	.157	.258	.436	.943	.668	.287

Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]							
	.188 ^b	.304 ^b	.454 ^b	.945 ^b	.733 ^b	.304 ^b	

a. Grouping Variable: Participation antérieure à des séances de codage et robotique

b. Not corrected for ties.

19) Croisement entre genre (garçon) et le nombre de catégories trouvées au WCST pour les indicateurs des mesures répétées présentant une amélioration significative

Test Statistics ^{a,b}						
	Moyenne des temps de reponses au flanker T0	Moyenne des temps de reponses au flanker T1	Moyenne des temps de reponses au flanker T2	Taux d'evolution flanker	Score switching Hearts and flowers T0	Score switching Hearts and flowers T1
Kruskal-Wallis H	4.500	2.439	5.087	4.487	3.848	9.148
df	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.343	.656	.278	.344	.427	.058

Test Statistics ^{a,b}						
	Score switching Hearts and flowers T2	Taux d'evolution Heart and flowers RT	TOH moves pour 3 T0	TOH moves pour 3 T1	TOH moves pour 3 T2	Taux d'evolution TOH M3
Kruskal-Wallis H	5.519	3.071	.564	1.669	1.223	2.024
df	4	4	4	4	4	4
Asymp. Sig.	.238	.546	.967	.796	.874	.731

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Nombre de c

Filename: Thèse.docx
Directory: /Users/macuser/Library/Containers/com.microsoft.Word/Data
/Documents
Template: Normal.dotm
Title:
Subject:
Author: Microsoft Office User
Keywords:
Comments:
Creation Date: 5/11/22 12:40:00 PM
Change Number: 2
Last Saved On: 5/11/22 12:40:00 PM
Last Saved By: Karen ABOU ASSI
Total Editing Time: 1 Minute
Last Printed On: 5/11/22 12:40:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 285
Number of Words: 76 293 (approx.)
Number of Characters: 434 875 (approx.)