



HAL
open science

Evaluation de l'autonomie des personnes à l'aide de dispositifs de type intelligence ambiante: création et validation d'un nouveau test écologique et modélisation de son analyse, une approche ergonomique du processus d'automatisation.

Mateo Campos

► **To cite this version:**

Mateo Campos. Evaluation de l'autonomie des personnes à l'aide de dispositifs de type intelligence ambiante: création et validation d'un nouveau test écologique et modélisation de son analyse, une approche ergonomique du processus d'automatisation.. Médecine humaine et pathologie. Université Paris Cité, 2022. Français. NNT : 2022UNIP7032 . tel-04190448

HAL Id: tel-04190448

<https://theses.hal.science/tel-04190448v1>

Submitted on 29 Aug 2023

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

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



Université Paris Cité
Ecole doctorale Cerveau Cognition Comportement (ED3C) – ED 158
Laboratoire Centre Borelli (UMR 9010)

Evaluation de l'autonomie des personnes à l'aide de dispositifs de type intelligence ambiante

Création et validation d'un nouveau test écologique et modélisation de son analyse,
une approche ergonomique du processus d'automatisation

Par Mateo CAMPOS

Thèse de doctorat en Neurosciences

Dirigée par Stéphane Buffat

Présentée et soutenue publiquement le 05 juillet 2022

Devant un jury composé de :

Stéphane BUFFAT, Maître de Conférence HDR, Université Paris Cité, Directeur de thèse
Gilles LAFARGUE, Professeur des Universités, Université de Reims Champagne-Ardenne,
Président du jury

Mathilde CHEVIGNARD, Praticien Hospitalier HDR, Hôpitaux de Saint-Maurice,
Rapportrice

Emilie LOUP-ESCANDE, Professeure des Universités, Université de Picardie Jules Verne,
Rapportrice

Cédric ALBINET, Professeur des Universités, Institut National Universitaire Champollion,
Examineur

Sylvia PELAYO, Maître de Conférence HDR, Université de Lille, Examinatrice

Julien NELSON, Maître de Conférence HDR, Université Paris Cité, Membre invité

Damien RICARD, MCSCN – Professeur agrégé de l’Ecole du Val-de-Grâce, Directeur de
Recherche, Université Paris Cité, membre invité

Titre de la thèse : Evaluation de l'autonomie des personnes à l'aide de dispositifs de type intelligence ambiante

Sous-titre : Création et validation d'un nouveau test écologique et modélisation de son analyse, une approche ergonomique du processus d'automatisation.

Résumé :

Le diagnostic du syndrome dysexécutif s'appuie le plus couramment sur la mesure des performances du patient dans la réalisation de tâches dans la réalisation de tests, fondés sur des tâches en laboratoire, visant à évaluer séparément les différentes fonctions exécutives de ce dernier. Malgré leur intérêt manifeste d'un point de vue thérapeutique, ces tests présentent des limites importantes dans la mesure où ces performances sont souvent de mauvais prédicteurs de la capacité du patient à réaliser des tâches mobilisant ces mêmes fonctions dans la vie quotidienne de mener une vie autonome. Pour résoudre ce problème de validité écologique, certains tests reposent sur l'observation systématique du comportement du patient dans la vie quotidienne, suivant une approche semblable à celle développée en ergonomie de l'activité. L'un de ceux-ci, le Cooking Task test, concerne la préparation d'un gâteau à partir du suivi d'une recette de cuisine (Chevignard et al., 2008). Le test est accompagné d'une typologie d'erreurs cognitives dont la fréquence peut être tenue pour un indicateur de sévérité du syndrome dysexécutif.

Dans cette thèse de doctorat, nous présentons un état de l'art des connaissances relatives aux fonctions exécutives et des tests diagnostiques du syndrome dysexécutif. Bien que les méthodes les plus récemment développées tendent vers une plus grande validité écologique, une analyse de leurs limites nous a conduit à proposer un test alternatif reposant sur la construction d'un édifice complexe utilisant des briques de Lego®, dénommé « Arc de Triomphe Construction Test » (ATCT). Nous avons réalisé une observation systématique du comportement et de la prise d'information visuelle chez 63 patients – dont 43 étaient atteints d'un traumatisme crânien, et 20 d'une leucopathie post-radique – réalisant ce test, et avons comparé leur performance avec celles de la réalisation du Cooking Task test. Les résultats montrent une validité supérieure de l'ATCT par rapport au test existant. Nous discutons de ces résultats.

Malgré ces résultats encourageants, une limite à l'adoption du test à grande échelle provient du coût de l'observation systématique, car cette méthode est chronophage lorsqu'elle est réalisée manuellement. C'est pourquoi une étude complémentaire s'est proposée de réaliser une analyse de l'activité de codage d'un enregistrement vidéo du comportement d'un patient et des mouvements oculaires associés par dix participants, ergonomes formés à l'utilisation d'un logiciel de codage. Cette analyse a permis de produire un modèle de cette activité. Nous discutons des perspectives en termes de développements d'outils exploitant l'Intelligence Artificielle pour la reconnaissance de l'image en vue d'automatiser, en partie ou totalement, le codage de données comportementales.

Mots clefs :

Fonction Exécutives, Traumatisme Crânien, Leucopathie Post-Radique, Syndrome dysexécutif, Test avec score basé sur la performance, Analyse du comportement, Ergonomie, Observation systématique, Modélisation de l'activité, Validité écologique.

Thesis title: Evaluation of people's autonomy using ambient intelligence devices

Subtitle: Creation and validation of a new ecological test and modelling of its analysis, an ergonomic approach to the automation process.

Abstract:

The diagnosis of the dysexecutive syndrome is commonly based on the measurement of the patient's performance in performing tasks in the performance of tests, derived from laboratory tasks aimed at separately evaluating the different executive functions of the latter. Despite their clear therapeutic value, these tests have significant limitations. These performances are often poor predictors of the patient's ability to perform tasks that mobilize these same daily functions to lead an independent life. A few tests tackle the systematic observation of the patient's behavior in everyday life to solve the issue of ecological validity, following an approach similar to that developed in the ergonomics of the activity. One of these, the Cooking Task test, concerns the preparation of a cake from the follow-up of a cooking recipe (Chevignard et al., 2008). A typology of cognitive errors, whose frequency can be considered an indicator of the severity of the dysexecutive syndrome, serves to analyse the results. One of these, the Cooking Task test, concerns the preparation of a cake from the follow-up of a cooking recipe (Chevignard et al., 2008). A typology of cognitive errors whose frequency can be considered an indicator of the severity of the dysexecutive syndrome.

This doctoral thesis presents state-of-the-art knowledge relating to executive functions and diagnostic tests for the dysexecutive syndrome. Although the most recently developed methods tend towards greater ecological validity, an analysis of their limits led us to propose an alternative test based on constructing a complex building using Lego® bricks, called the "Arc de Triomphe Construction Test" (ATCT). We carried out a systematic observation of behaviour and visual information taking in 63 patients – 43 of whom had head trauma and 20 with post-radiation leukopathy – performing this test, and we compared their performance with the Cooking Task test. The results show a higher validity of the ATCT compared to the existing test. We discuss these results.

Despite these encouraging results, a limitation to the widespread test adoption comes from the cost of systematic observation because this method is time-consuming when done manually. A complementary study proposes to analyse the coding activity of a video recording of the behaviour of a patient by eight participants, ergonomists trained in the use of coding software. This analysis produced a model of this activity. We discuss the prospects of developing tools that exploit Artificial Intelligence for image recognition to automate, in part or in full, the coding of behavioural data.

Keywords:

Executive Functions, Head Trauma, Post-Radiation Leukopathy, Dysexecutive Syndrome, Performance-Based Score Test, Behavior Analysis, Ergonomics, Systematic Observation, Activity Modelling, Ecological Validity.

Il est des choses qu'il vaut mieux entreprendre que refuser,
même si la fin risque d'être sombre.
Le Seigneur des anneaux.
(traduction de Daniel Lauzon)
J.R.R. Tolkien.

A ma famille.
A ma mère.
Au poisson, à la tortue et au crocodile.

Remerciements

*Je crois que mon premier remerciement doit aller à **Marie-Agnès Sari**, qui, il y a dix ans a acceptée de me faire confiance et m'a permis de m'inscrire en Licence. Dix ans plus tard, je peux enfin lui dire fièrement que le contrat que nous avons établi tous les deux ce jour-là a été rempli avec plaisir et fierté. Merci Madame pour cette preuve de confiance qui aujourd'hui m'a permis d'aller jusqu'au bout de mes espérances.*

*Je voudrais ensuite remercier **Stéphane Buffat**, mon directeur de thèse, qui a cru en moi pour réaliser ce projet de thèse à l'issue de mon stage de Master, qui a cru dans ce projet de proposer un nouveau test neuropsychologique utilisant des briques de Lego®. Je voudrais te remercier pour tout ce que tu as pu m'apprendre malgré les conditions qui étaient celles de cette thèse. Je voudrais te remercier d'avoir toujours réussi à dégager du temps pour m'aider, quand tout allait bien, mais aussi quand rien n'allait. Je voudrais te remercier de m'avoir fait découvrir toutes les facettes de la Recherche.*

*Je voudrais remercier **Julien Nelson**, qui d'enseignant est devenu un collègue, puis un ami. Je crois que quelques lignes ne suffiraient pas pour te remercier de tout ce que tu as pu faire pour m'aider durant cette thèse, car sans tes conseils et tes suggestions, cette thèse ne serait définitivement pas la même. Merci pour ton soutien sans faille.*

*Je voudrais remercier **Damien Ricard**, le chef de service de Neurologie de l'HIA Percy, pour avoir cru dans ce projet. Je voudrais le remercier pour avoir toujours su trouver du temps pour m'aider même quand c'était impossible. Je voudrais le remercier pour m'avoir prodigué conseils et remarques.*

*Je voudrais remercier les rapportrices de cette thèse, **Emilie Loup-Escande** et **Mathilde Chevignard**. Je voudrais remercier les membres de mon jury pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail de thèse, **Cedric Albinet**, **Gilles Lafargue** et **Sylvia Pelayo**.*

*Je voudrais remercier l'ensemble des membres d'hier et d'aujourd'hui de l'Unité de Recherche Clinique de l'HIA Percy, **Issam**, **Amandine**, **Céline**, **Laura**, **Gwenaelle**, **Karine**, **Mélanie**, **Mona**, pour m'avoir accepté parmi eux, pour tous les échanges enrichissants et pour m'avoir tant appris sur la recherche dans le milieu hospitalier et sur la prise en charge des patients dans ce cadre si particulier.*

*Je voudrais remercier l'ensemble des membres du service de Neurologie, les médecins, les infirmières et infirmiers, les aides-soignantes et aides-soignants, pour avoir accepté de m'accueillir alors que je ne connaissais rien à la neurologie. Je voudrais vous remercier toutes et tous pour votre patience, votre gentillesse et vos conseils qui ont permis que mon séjour à l'HIA soit chaleureux, convivial et agréable. Je voudrais remercier tout particulièrement **Flavie Bompaire**, qui a été à mon écoute lorsque cela était nécessaire.*

*Je voudrais remercier les orthophonistes de l'hôpital, les deux **Marie** pour m'avoir expliqué et montré à quoi correspondait un bilan neuropsychologique. Je voudrais également remercier **Frank** qui connaissait tout le monde à l'HIA et qui a toujours été intéressé par mon travail et les modèles de Lego®.*

Je voudrais remercier toutes les personnes qui ont accepté de se prêter au jeu, littéralement, lors du processus de validation de l'ATCT.

*Je voudrais remercier **Christophe Labourdette**, qui a toujours su m'écouter et me rassurer, même quand j'avais des problèmes informatiques insolubles.*

Je voudrais remercier les membres du Réseau des Jeunes Chercheurs en Ergonomie qui m'ont permis d'affronter les derniers mois de cette thèse plus sereinement.

*Je voudrais remercier **Elie Netter** et **Noémie Kempa**, qui ont été les meilleurs stagiaires qu'on puisse rêver d'avoir et qui ont fourni un travail digne d'éloges durant ces quelques mois à l'HIA.*

*Je voudrais remercier tous les amis qui ont acceptés de me voir disparaître pendant la durée de cette thèse mais qui répondaient présent quand j'en avais besoin, **Laureline**, **Antoine**, **Elena-Maria**, **Ceryan**, merci.*

Je voudrais remercier Alexandre, Sandrine, Emmanuel, Lionel D, Julien P, Lionel L, Elodie, Barbara, Marie et son barbu, Margaux, Matthias et Martin pour avoir illuminé mes soirées. Par contre, maintenant, je demande à avoir +1 à mes jets de dés en int. et en wis.

*Enfin, mes remerciements vont à ma **famille**, qui a toujours su avoir confiance en moi, qui a toujours su me soutenir, qui a toujours été là quand j'en avais besoin, qui a toujours su m'encourager, qui a toujours été là... Merci de m'avoir accompagné durant cette longue aventure. Merci, merci pour ce que vous êtes. Je vous aime.*

Merci à vous tous pour avoir permis à cette thèse d'être ce qu'elle est.

Merci.

Liste des principales abréviations

ADL Profile	Activities of Daily Living Profile
AERA	American Educational Research Association
AMPS	Assessment of Motor and Process Skills
ANOVA	Analysis Of Variance
AOI	Area Of Interest
APA	American Psychological Association
APT	Amnésie Post Traumatique
ATCT	Arc de Triomphe Construction Test
BNP	Bilan Neuropsychologique
BORIS	Behavioral Observation Research Interactive Software
CANTAB	Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery
CMLA	Centre des Mathématiques et de Leurs Applications
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
COGNAC-G	Cognition and Action Group
CSCT	Computerised Speed Cognitive Test
CT	Cooking Task
EFPT	Executive Function Performance Test
EFRFT	Executive Function Route Finding Task
ENS	Ecole Normale Supérieur
FAD	Executive Function Route Finding Task
GCS	Glasgow Coma Scale
GRECO	Groupe de Réflexion sur les Evaluation Cognitive
GREC-Onco	Groupe de réflexion sur les évaluations cognitives en oncologie
GREFEX	Groupe de Réflexions pour l'Evaluation des Fonctions Exécutives
HCERES	Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur
HIA	Hôpital d'instruction des Armées
IADL	Instrumental Activities of Daily Living Profile
ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health
IEA	International Ergonomics Association
IHM	Interface Humain-Machine
INSERM	Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
ISDC	L'Index du Syndrome Dysexécutif Comportemental
LDD	Lego Digital Designer
LPR	Leucopathie Post-Radique
MET	Multiple Errands Test
MLAT	Multi-Level Action Test
MMSE	Mini Mental State Examination

MoCA	Montréal Cognitive Assessment
MPS	Meal Preparation Scale
NAT	Naturalistic Action Test
NCMUE	National Council on Measurements Used in Education
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OPEX	OPération EXterieur
PASAT	Paced Auditory Serial Addition Test
PCI	Perte de Connaissance Initiale
QI	Quotient Intellectuel
QOLIBRI	Quality Of Life after Brain Injury
R-ADL	Rivermead ADL Assessment
RFID	Radio Frequency IDentification
RKE-R	Rabideau Kitchen Evaluation – Revised
SOFMER	Société Française de Médecine physique et de Réadaptation
SSA	Service de Santé des Armées
TAP	Test of Attentional Performance
TC	Traumatisme Crânien
TCG	Traumatisme Crânien Grave
TCL	Traumatisme Crânien Leger
TCM	Traumatisme Crânien Modéré
TDAH	Troubles de l'Hyperactivité avec Déficit de l'Attention
TOC	Trouble Obsessionnel Compulsif
TTT	TinkerToy Test
UFR	Unité de Formation et de Recherche
WCST	Wisconsin Card Sorting Test

Table des matières

Table des matières	19
Table des illustrations	27
1. Contexte	31
1.1. Contexte institutionnel	31
1.1.1. Le Centre Giovanni Borelli	31
1.1.2. Le projet SmartFlat	32
1.2. Le rôle des fonctions exécutives dans la vie quotidienne et le diagnostic des troubles de ces fonctions lors d'une atteinte pathologique	34
1.2.1. Fonctions exécutives et syndrome dysexécutif	34
1.2.2. Les méthodes de diagnostic et leurs limites.....	36
1.3. Positionnement en ergonomie	37
1.4. L'organisation du manuscrit de thèse	39
2. Modèles descriptifs des fonctions exécutives	41
2.1. Historique de l'étude et de la modélisation des fonctions exécutives	41
2.2. Trois modèles pour permettre la qualification et la quantification des troubles des fonctions exécutives	42
2.2.1. Le modèle de Lezak et al. (2012 / 1995)	42
2.2.2. Le modèle de Miyake et al. (2000)	43
2.2.3. Le modèle de Diamond (2013)	44
2.3. Une nouvelle approche des fonctions exécutives par l'ergonomie de l'Activité	46
2.4. Substrats anatomiques des fonctions exécutives	52
2.5. Conclusion intermédiaire	54
3. Les pathologies des fonctions exécutives	55
3.1. Les traumatismes crâniens	55
3.2. La Leucopathie Post-Radique	60
3.3. Conclusion intermédiaire	62
4. Le diagnostic des troubles dysexécutifs	63
4.1. Les tests neuropsychologiques utilisés en pratique clinique courante en neurologie	65
4.1.1. La batterie de Test neuropsychologique du Groupe de réflexion sur les évaluations cognitives en oncologie (Grec-Onco).....	65
4.1.2. La batterie de tests "Test of Attentional Performance" (TAP)	71
4.1.3. Les autres tests utilisés couramment pour qualifier les troubles des fonctions exécutives	73
4.2. Les tests écologiques existants	79
5. Un dénominateur commun, le comportement du patient – validité prédictive de la qualité de vie et de son autonomie	85
5.1. Les définitions de l'erreur	85
5.1.1. L'erreur selon Chevignard et al. (2000)	85
5.1.2. De l'erreur dans un test neuropsychologique à l'erreur en ergonomie	88

5.2. De la validité à la validité écologique	91
5.2.1. L'origine de la validité.....	91
5.2.2. La notion de validité de construit.....	93
5.2.3. La notion de validité écologique.....	96
5.3. Apports de l'oculométrie dans l'analyse du comportement	104
5.4. Conclusion intermédiaire.....	106
6. Problématique et démarche de recherche	107
6.1. Des postulats implicites autour de la validité écologique du <i>Cooking Task Test</i>	108
6.2. Étendre le réseau nomologique du <i>Cooking Task Test</i>	109
6.3. Vers des outils automatiques pour l'observation systématique de l'activité	110
7. Création d'un modèle représentant l'Arc de Triomphe en brique Lego®.	111
7.1. Le choix du modèle de Lego®	111
7.2. Le choix des briques Lego® composants le modèle et la création de la notice	114
7.3. Démarche de validation du modèle Lego®	117
8. Validation du test de Construction de l'Arc de Triomphe (Arc de Triomphe Construction Test - ATCT).....	119
8.1. Matériel et Méthode	119
8.1.1. Participants.....	119
8.1.2. Procédure	121
8.1.3. Analyses statistiques	126
8.2. Résultats	128
8.2.1. Participants.....	128
8.2.2. Analyse des données recueillies avec BORIS lors de l'ATCT	130
8.2.3. Comparaison entre le nombre total d'erreurs réalisé durant l'ATCT et le <i>Cooking Task Test</i>	138
8.2.4. Durée de l'analyse	140
8.3. Discussion	140
8.4. Conclusion.....	143
9. Analyse oculométrique des stratégies de recherche d'information lors de l'ATCT.....	145
9.1. Matériel et méthode	145
9.1.1. Participants.....	145
9.1.2. Procédure d'analyse des données oculométriques.....	146
9.2. Résultats	149
9.2.1. Participants.....	149
9.2.2. Chroniques d'activité.....	151
9.2.3. Matrices de Transition.....	158
9.3. Discussion	169
9.4. Conclusion.....	170
10. Modélisation de l'activité de codage d'une observation assistée par ordinateur.....	171
10.1. Introduction	171
10.1.1. Limites de l'observation systématique de tâches écologiques : une approche cognitive.....	171
10.1.2. Vers un système expert pour l'assistance au codage	173
10.2. Méthode	174

10.2.1. Participants et matériel	174
10.2.2. Procédure	174
10.2.3. Mesures	175
10.3. Résultats	175
10.3.1. L'analyse des comportements observés.....	175
10.3.2. Analyse thématique des verbalisations.....	176
10.3.3. Analyse des verbalisations par IRaMuTeQ	178
10.4. Discussion.....	181
10.5. Conclusion	183
11. Discussion générale.....	185
11.1. Introduction	185
11.2. Contributions théoriques et méthodologiques de la thèse	185
11.3. Perspectives de recherche	189
11.4. Synthèse.....	191
Bibliographie	193
Annexes	217
Annexe 1 : Modèle en trois dimensions du modèle Lego® de l'Arc de Triomphe	217
Annexe 2 : Notice de montage du modèle de Lego® utilisé durant l'ATCT	218
Annexe 3 : Projet BORIS paramétré pour l'analyse des tests écologiques	265
Annexe 3.1 : Projet BORIS utilisé lors du Cooking Task Test	265
Annexe 3.2 : Projet BORIS utilisé lors de l'ATCT	265
Annexe 4 : Protocole de passation de test de l'ATCT.....	266
Matériel :	266
Méthode :	268
Annexe 5 : Catalogue vidéo des erreurs.....	278
Annexe 5.1 : Addition	278
Annexe 5.2 : Commentaires et questions.....	278
Annexe 5.3 : Erreur d'Estimation.....	278
Annexe 5.4 : Omission	278
Annexe 5.5 : Substitution et Inversion	278
Annexe 5.6 : Manuel explicatif du catalogue vidéo des erreurs	278
Annexe 6 : Données brutes de l'analyse des performances durant l'ATCT.....	279
Annexe 7 : Données brutes de l'analyses des fixations durant quatre ensembles d'étapes d'intérêt de l'ATCT	287
Annexe 8 : Matrices de transition issues de l'analyses des fixations durant quatre ensembles d'étapes d'intérêt de l'ATCT	288
Annexe 9 : Protocole de passation de l'étude de modélisation de l'activité de codage d'une observation assistée par ordinateur	289
Matériel :	289
Méthode :	289
Annexe 10 : Retranscription des passations réalisé pour l'étude de modélisation.....	292
Annexe 10.1 : Retranscription du Participant 1.....	292
Annexe 10.2 : Retranscription du Participant 2.....	292
Annexe 10.3 : Retranscription du Participant 3.....	292

Annexe 10.4 : Retranscription du Participant 4.....	292
Annexe 10.5 : Retranscription du Participant 5.....	292
Annexe 10.6 : Retranscription du Participant 6.....	292
Annexe 10.7 : Retranscription du Participant 7.....	292
Annexe 10.8 : Retranscription du Participant 8.....	292

Table des illustrations

Figure 1 - Vue d'ensemble de l'habitat SmartFlat avec l'espace de couchage, l'espace cuisine et l'espace de test équipé de support pour caméra GoPro® (cerclés en rouges).....	33
Figure 2 - Modèle représentant les fonctions exécutives et les tests usuels pour les quantifier (traduction d'après Miyake et al., 2000).....	44
Figure 3 - Modèle représentant les fonctions exécutives (traduit de Diamond, 2013)	45
Figure 4 - Modèle de double régulation de l'activité (Leplat, 1997).....	48
Figure 5 - Niveaux de définition de la tâche selon Leplat (1997).....	49
Figure 6 - Modélisation en réseau des fonctions exécutives	51
Figure 7 - Représentation anatomique des régions cérébrales associées aux différentes fonctions exécutives basées sur les études lésionnelles et de neuro-imagerie – Figure adaptée de Lynch et Jaffe (Cristofori et al., 2019) - Creative Commons Attribution 2.5 License 2006.	53
Figure 8 – Modélisation de la validité de construit (Messick, 1989).....	94
Figure 9 - Modélisation des perspectives de description de la taxonomie du travail (Traduction d'après Rasmussen, 1993).....	98
Figure 10 - Modélisation des perspectives de description de la taxonomie du travail pour les expériences en psychologie avec les niveaux de contraintes (Traduction d'après Rasmussen, 1993).....	100
Figure 11 - Modèle en trois dimensions représentant l'Arc de Triomphe réalisé sous LDD v.4.3.10.....	113
Figure 12 - Présentation de toutes les briques Lego® utilisées durant la construction vue en vision normal (à gauche) ou avec une simulation de dyschromatopsie (protanopie au centre et deutéranopie à droite) sous Adobe Photoshop CS6	115
Figure 13 - Briques Lego® servant de distracteurs, présentées durant le test de construction de l'Arc de Triomphe.....	116
Figure 14 - Disposition du matériel de test avant le début du test.	123
Figure 15 - Capture d'écran d'une vidéo d'un patient illustrant une erreur de type addition (assemblage de pièce non nécessaire)	125
Figure 16 - Diagramme du flux de participants durant l'étude de validation de l'ATCT.....	128
Figure 17 - Courbe ROC du test agrégé du test de construction de l'Arc de Triomphe montrant le meilleur score Cut-Off (-0,996) permettant de différencier les sujets contrôle et les patients avec la meilleure spécificité (0,968) et la meilleure sensibilité (0,825).....	135
Figure 18 - Distribution du score agrégé du test de construction de l'Arc de Triomphe – graphique de densité présentant les distributions des scores entre les populations (A) et les groupes (C, D) de l'analyse et la courbe tracée par les points de chacun des scores agrégés (B)	136
Figure 19 - Représentation graphique du test de Bland et Altman comparant le nombre total d'erreurs réalisé par des patients durant l'ATCT et le Cooking Task Test.....	139
Figure 20 - Emplacement des Aires d'Intérêts (AOI)	147
Figure 21 - Diagramme du flux de participants durant l'étude d'analyse oculométrique des stratégies de recherche d'information lors de l'ATCT.....	150
Figure 22-a : Chronique d'activité d'un sujet contrôle durant les étapes 29 à 32 de la construction lors de l'ATCT présentant les étapes de constructions, les erreurs descriptives et les différents regards réalisés par le participant	155

Figure 22- b - Chronique d'activité d'un patient durant les étapes 29 à 32 de la construction lors de l'ATCT présentant les étapes de constructions, les erreurs descriptives et les différents regards réalisés par le participant	156
Figure 23a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif	161
Figure 23b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.	162
Figure 24a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif.....	163
Figure 24b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.	164
Figure 25a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O3 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif.....	165
Figure 25b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O3 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.	166
Figure 26a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O4 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif.....	167
Figure 26b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O4 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.	168
Figure 27 : Dendrogramme présentant la classification descendante hiérarchique sur le corpus	179
Figure 28 – Projection de l'analyse factorielle des correspondances dans l'axe 1-2 des formes actives les plus représentées dans chacune des classes identifiées dans Iramuteq. La taille du texte est d'autant plus importante que la forme active est caractéristique de la classe.....	180
Annexe 4 - Figure 1 : Disposition des éléments sur la table au début du test.....	268

1. Contexte

1.1. Contexte institutionnel

1.1.1. Le Centre Giovanni Borelli

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du centre Giovanni Borelli, l'Unité Mixte de Recherche (UMR) 9010. Le centre Borelli est le résultat de la fusion en 2020 de deux laboratoires : le Centre des Mathématiques et de Leurs Applications (CMLA) situé sur le campus de l'École Normale Supérieure (ENS) Cachan, et l'UMR Cognition and Action Group (COGNAC-G) située dans les locaux de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences Fondamentales et Biomédicales de l'Université Paris Cité.

L'objectif annoncé de cette fusion est centré sur « l'acquisition et l'analyse de masses de données sensorimotrices dans un contexte de neurosciences comportementales » (HCERES, 2022). Pour cela, le Centre Borelli réunit une équipe pluridisciplinaire constituée notamment de chercheurs en mathématiques, neurophysiologie du mouvement, et de médecins spécialistes. Ce laboratoire est sous la tutelle conjointe de l'ENS, de l'Université Paris Cité, du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), du Service de Santé des Armées (SSA) et de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM).

Un axe majeur de recherche du laboratoire porte sur la modélisation du comportement humain, le plus souvent avec des perspectives de prévention ou thérapeutiques. A titre d'exemple, le projet Smartcheck a eu lieu sur la période 2016-2019 (Audiffren et al., 2016; Bargiotas et al., 2018) et s'est donné pour objectif de modéliser la dynamique de la marche à l'aide de données recueillies par des capteurs portatifs de type accéléromètre afin de développer des modèles prédictifs du risque de chute chez la personne âgée.

1.1.2. Le projet SmartFlat

Pour notre part, ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre d'un projet de grande envergure, le projet SmartFlat, qui a été initié en 2016 dans le service de neurologie du Val de Grâce et qui va se poursuivre jusqu'en 2028 dans le service de Neurologie de l'Hôpital d'Instruction des Armées (HIA) Percy. Il s'inscrit dans la continuité du projet AMISIA (Approche Multidisciplinaire Innovante du Suivi des stratégies d'Incitations pour le maintien de l'Autonomie) - (Mandigout et al., 2020) du défi AUTON (Autonomie et maintien de l'inclusion sociale des personnes en situation de handicap) du CNRS qui avait pour objectif d'améliorer la prise en charge des patients après un diagnostic médical sur la perte de leur autonomie. L'objectif de ce travail de thèse est d'appliquer la même logique que le projet Smartcheck – l'analyse du comportement humain *via* l'analyse de masses de données recueillies par des capteurs de mouvement – cette fois en intégrant ces capteurs dans les pièces de vie du patient. A cet effet, des locaux ont été mis à disposition du projet au sein du service de neurologie de l'HIA Percy. La Figure 1 ci-dessous montre une vue d'ensemble de cet environnement, une chambre d'hôpital aménagée avec un espace cuisine, un espace de construction et une salle de bain. La chambre dispose de plusieurs capteurs ambiants (CO2, température, micro, ouverture de porte) et de plusieurs supports pour caméra GoPro Hero 5®. Le présent travail de thèse ne porte pas sur l'usage des technologies de capteurs. Il se situe à un niveau plus global : celui de l'analyse fine du comportement du patient en situation écologique, avec pour objectif la mise au point de nouveaux outils diagnostics. Les caméras GoPro® ont permis d'obtenir des enregistrements vidéo qui ont ensuite fait l'objet d'une analyse systématique.



Figure 1 - Vue d'ensemble de l'habitat SmartFlat avec l'espace de couchage, l'espace cuisine et l'espace de test équipé de support pour caméra GoPro® (cerclés en rouges)

1.2. Le rôle des fonctions exécutives dans la vie quotidienne et le diagnostic des troubles de ces fonctions lors d'une atteinte pathologique

1.2.1. Fonctions exécutives et syndrome dysexécutif

Le terme *fonctions exécutives* rassemble les fonctions cognitives d'ordre supérieur, définies par l'Organisation Mondiale de la Santé dans l'International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) comme étant les fonctions mentales spécifiques, dépendant des lobes frontaux du cerveau, nécessaires à la réalisation de comportements dirigés vers des buts complexes. Elles incluent notamment la capacité à la pensée abstraite, à la planification et à la réalisation de projets, la flexibilité mentale, la capacité de décider quels comportements sont appropriés dans quelles situations (ICF – b164 « Higher-level cognitive functions »). Elles incluent également la mémoire de travail, le contrôle inhibiteur, la capacité de raisonnement et la capacité à résoudre des problèmes. Elles sont donc nécessaires à l'adaptation aux situations nouvelles de la vie courante et permettant les interactions sociales (Cristofori et al., 2019).

Les troubles de ces fonctions exécutives, rassemblés sous le vocable, défini par Baddeley et Wilson (1988), de « syndrome dysexécutif », sont l'une des premières causes de déficits cognitifs. Ils sont observés dans la plupart des pathologies cérébrales et sont étroitement liés aux difficultés dans l'exercice d'activités de la vie quotidienne (Godefroy, 2003; Godefroy et al., 2010; Karzmark et al., 2012).

Dans la littérature, on retrouve pour nommer ces troubles des fonctions exécutives plusieurs expressions, « syndrome dysexécutif » (Baddeley & Wilson, 1988), « troubles des fonctions exécutives », « troubles dysexécutifs », « syndrome frontal » ou encore « syndrome dysexécutif comportemental et syndrome dysexécutif cognitif » (Godefroy et al., 2018). Il a été démontré

que ces troubles des fonctions exécutives avaient un impact sur tous les aspects de la vie quotidienne, la santé physique et mentale, la qualité de vie, les différents aspects de la scolarité, le devenir professionnel et marital et enfin, la sécurité publique (tableau1 – Diamond, 2013).

Tableau 1 - Impact des troubles des fonctions exécutives sur la vie quotidienne (d'après Diamond, 2013)

Aspects de la vie quotidienne	L'impact des troubles des Fonctions Exécutives sur l'aspect de la vie quotidienne	Références
Santé mentale	Les fonctions exécutives sont dégradées dans plusieurs pathologies mentales, notamment :	
	Les addictions	Baler et Volkow (2006)
	Troubles de l'Hyperactivité avec Déficit de l'Attention (TDAH)	Diamond (2005) ; Lui & Tannock (2007)
	Troubles du comportement	Fairchild et al. (2009)
	Dépression	Taylor Tavares et al. (2007)
	Trouble Obsessionnel Compulsif (TOC)	Penadés et al. (2007)
	Schizophrénie	Barch (2005)
Santé physique	Des fonctions exécutives dégradées sont associés à l'obésité, à la suralimentation, à la toxicomanie et à une mauvaise observance du traitement	Cescioni et al. (2011) ; Miller (2011) ; Riggs et al. (2010)
Qualité de vie	Les personnes dont les fonctions exécutives sont plus performantes jouissent d'une meilleure qualité de vie	Brown & Landgraf (2010) ; Davis et al. (2010)
Préparation à l'école	Les fonctions exécutives sont plus importantes pour la préparation à l'école que le Quotient Intellectuel (QI) ou la lecture ou les mathématiques de niveau d'entrée	Blair & Razza (2007) ; Morrison et al. (2010)
Réussite scolaire	Les fonctions exécutives prédisent à la fois les compétences en mathématiques et en lecture tout au long des années scolaires	Borella et al. (2010) ; Duncan et al. (2007) ; Gathercole et al. (2004)
Succès professionnel	Des fonctions exécutives dégradées entraînent une faible productivité et des difficultés à trouver et à conserver un emploi	Bailey (2007)

Vie conjugale	Un partenaire avec des fonctions exécutives dégradées peut être plus difficile à vivre, moins fiable et/ou plus susceptible d'agir par impulsion	Eakin et al. (2004)
Sécurité publique	Des fonctions exécutives dégradées peuvent entraîner des problèmes sociaux (y compris la criminalité, les comportements imprudents, la violence et les explosions émotionnelles)	Broidy et al. (2003) ; Denson et al. (2011)

1.2.2. Les méthodes de diagnostic et leurs limites

Le diagnostic des troubles des fonctions exécutives se fait au moyen de tests neuropsychologiques. Ces tests peuvent être de deux types, les tests neuropsychologiques *classiques* et les tests dits *écologiques*. Les tests classiques sont réalisés dans des conditions de laboratoire qui ne reflètent pas les conditions de vie du patient, une pièce calme, sans distraction avec uniquement l'examineur et le test à réaliser. Les tests dits écologiques sont sensés mieux refléter les conditions de la vie de tous les jours étant donné la nature des tâches et du fait de l'environnement de réalisation du test.

Les tests neuropsychologiques sont par construction très standardisés afin de faciliter la reproductibilité de leurs résultats. Cependant, chaque test ne permet l'évaluation que d'une seule fonction. De plus, il a été démontré que ces tests peuvent ne pas être suffisamment sensibles pour détecter certains troubles des fonctions exécutives (S. W. Anderson et al., 1991; Eslinger & Damasio, 1985), qu'ils peuvent être trop simplistes (Mesulam, 1986), ou qu'ils ne peuvent pas refléter correctement l'impact des troubles des fonctions exécutives sur les activités et les conditions de vie de la vie quotidienne (Constantinidou et al., 2012; Lezak et al., 2012).

Il existe donc aujourd'hui un consensus dans la littérature sur la nécessité de compléter le diagnostic du syndrome dysexécutif par des épreuves dites « écologiques », simulant des activités de la vie quotidienne réalisées dans des environnements proches des conditions de vie « réelles », afin de permettre aux cliniciens d'observer, d'analyser et de comprendre comment la vie quotidienne des patients serait impactée et d'estimer comment ils pourraient retourner à la vie active . (Bottari et al., 2006; Clavel & Bottari, 2011; Constantinidou et al., 2012). Ce

constat, documenté chez les patients adultes, existe également chez les patients mineurs (Chevignard et al., 2012; Wallisch et al., 2018).

L'une de ces épreuves, l'épreuve de réalisation d'une recette de gâteau au chocolat (Chevignard et al., 2000, 2008) a été mise en place dans le service de Neurologie de l'Hôpital d'Instruction des Armées (HIA) Percy, afin de mettre en évidence sous le regard des cliniciens, les difficultés rencontrées par les patients au quotidien et de mieux cibler les prises en charges nécessaires. Cependant, tout comme les tests neuropsychologiques classiques, ces tests sont sujet à certains biais.

1.3. Positionnement en ergonomie

Une originalité de ce travail de thèse est qu'il s'inscrit explicitement dans une approche disciplinaire développée au sein du centre Borelli, celle de l'ergonomie.

L'ergonomie est le plus couramment définie comme étant « la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système, et la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes » (International Ergonomics Association, 2000 ; citée par Falzon, 2004). Cette définition est extrêmement généraliste. Pour rendre compte de la diversité des champs d'application de l'ergonomie, plusieurs auteurs ont recommandé de distinguer :

- D'une part, différents domaines de spécialisation de l'ergonomie (Falzon, 2004; Karwowski & Zhang, 2021). On distingue classiquement trois grands domaines de spécialisation : l'ergonomie physique, qui « s'intéresse aux caractéristiques anatomiques, anthropométriques, physiologiques et biomécaniques de l'Homme dans leur relation avec l'activité physique » ; l'ergonomie cognitive, qui « s'intéresse aux processus mentaux, tels que la perception, la mémoire, le raisonnement et les réponses motrices, dans leurs effets sur les interactions entre les personnes et d'autres

composantes d'un système » ; et l'ergonomie organisationnelle, qui « *s'intéresse à l'optimisation des systèmes sociotechniques, cela incluant leur structure organisationnelle, règles et processus* ». (Falzon, 2004, p. 19).

- D'autre part, différents champs d'application de l'ergonomie. L'International Ergonomics Association (IEA) distingue une trentaine de comités techniques, dont l'un est consacré au domaine de la santé (*healthcare ergonomics*), et vise à « maximiser les contributions de l'ergonomie et des facteurs humains¹ à l'efficacité des systèmes médicaux et la qualité de vie de personnes présentant des limitations fonctionnelles » (Karwowski & Zhang, 2021).

Sur le premier point, les trois domaines de spécialisation reflètent, pour nous, l'évolution des problématiques de l'ergonomie qui ont justifié un emprunt à ce que Leplat et Montmollin (2004) appellent des « disciplines mère » de l'ergonomie : physiologie, médecine, psychologie expérimentale, sociologie des organisations, etc. Notre propre positionnement s'inscrit dans un autre domaine de spécialisation de l'ergonomie : la neuroergonomie, que Parasuraman (2003) définit comme « l'étude du cerveau et du comportement au travail ». Bien que cette approche mette en avant le cerveau comme objet central et spécifique d'étude, nous considérons plus la neuroergonomie, à un niveau plus général, comme témoignant de la place des neurosciences comme (autres) disciplines mère de l'ergonomie.

Sur le second point, la définition de l'IEA met en avant la finalité transformative de l'ergonomie, i.e., sa contribution à la conception (ou la reconception) de systèmes. Dans le champ de l'ergonomie dans le domaine de la santé, cette préoccupation se traduit par exemple par une volonté de contribuer à la conception d'Interfaces Homme-Machine (IHM) à usage médical, que ce soit à destination des médecins ou des patients (Pelayo et al., 2021), ou encore pour la conception de bâtiments hospitaliers et de systèmes de travail associés (Estryn-Behar, 2011).

Il semble donc acquis que les ergonomes peuvent contribuer aux processus de conception de systèmes dans le domaine de la santé (Chaniaud, 2020). L'ergonome est ici considéré comme le garant de la prise en compte du « point de vue des utilisateurs » dans ces processus. Dans ce cadre, il sera amené à produire un ensemble de connaissances sur le contexte d'utilisation du système (ISO, 2019). Cette appellation est très générale et recouvre en réalité différents éléments : les caractéristiques (physiques, cognitives, sociales, etc.) de l'utilisateur du système,

¹ Les deux termes d'*ergonomie* et d'*ingénierie des facteurs humains* sont utilisés de manière interchangeable.

la nature des objectifs sous-jacents à l'utilisation du système, ou encore l'environnement dans lequel ce système est utilisé. Le terme de *recherche utilisateurs*² est parfois utilisé pour désigner l'ensemble des activités qui permettent cette production de connaissances. Typiquement, cette recherche repose sur l'utilisation de méthodologies de recueil de données qualitatives auprès des utilisateurs, telles que des entretiens ou des observations de l'activité dans son contexte naturel (*in situ*).

L'ergonomie a ainsi, au fil des décennies, développé un corpus de méthodes adaptées à l'analyse fine de l'activité en situation. Il est généralement admis que, lorsqu'il réalise l'analyse de l'activité humaine dans un domaine professionnel donné, l'ergonome doit acquérir un ensemble de connaissances de base sur ce domaine (Guérin et al., 1991). Ainsi, outre les emprunts qu'elle réalise au niveau de ses disciplines mère, l'ergonomie est aussi amenée à opérer des emprunts auprès des disciplines auxquelles elle s'intéresse en tant qu'objet d'étude. Il est moins courant de s'intéresser à ces emprunts dans le sens inverse : le corpus de réflexions théoriques et méthodologiques qu'a constitué sur cette période peut outiller la mise au point d'outils métier dans les professions auprès desquelles elle intervient.

1.4. L'organisation du manuscrit de thèse

Ce manuscrit de thèse s'organise en trois parties, une partie théorique, une partie empirique et une discussion générale.

La partie théorique de ce manuscrit est structurée autour de cinq chapitres. Le chapitre deux du manuscrit présente une revue des modèles des fonctions exécutives et propose une nouvelle approche ergonomie de ces fonctions afin de la mettre en perspective avec les bilans lésionnels et avec la prise en compte de l'activité des patients dans leur vie quotidienne. Le chapitre trois

² « User Reasearch » en anglais

met en avant deux pathologies qui ont un impact sur les fonctions exécutives et donc sur la qualité de vie des patients, à domicile ou dans la société. Le chapitre quatre expose les tests neuropsychologiques classiques et écologiques permettant de diagnostiquer les troubles des fonctions exécutives ainsi que leurs limites. Le chapitre cinq propose une réflexion sur le rôle de l'erreur et de l'analyse de l'activité comme étant un indicateur prédictif valide de la qualité de vie du patient et de son autonomie. Finalement, le chapitre six présente une synthèse de ces éléments théorique qui permettent de justifier nos problématiques de recherche sur la validité écologique des tests utilisée jusqu'à présent et la nécessité d'en proposer de nouveaux, sur l'enrichissement des réseaux nomologiques utilisés jusqu'à présent dans ces tests et sur l'automatisation des analyses des tests afin d'en faciliter l'usage.

La seconde partie de cette thèse qui comporte quatre chapitres, suit les étapes de création et de validation d'un nouveau test écologique permettant de diagnostiquer les troubles des fonctions exécutives et la mise en perspective de ce processus en vue de son automatisation. Le chapitre sept présente le processus de création du modèle en brique de Lego® utilisé dans le nouveau test écologique. Le chapitre huit présente l'étude de validation du nouveau test écologique, l'Arc de Triomphe Construction Test (ATCT), utilisant la méthode de l'observation systématique, ses avantages mais aussi ses limites dans son usage en milieu hospitalier. Le chapitre neuf décrit l'apport de l'oculométrie dans le diagnostic des troubles des fonctions exécutives et une nouvelle modélisation des fixations durant la réalisation de l'ATCT. Le chapitre dix propose une réflexion sur l'activité de codage d'une observation assisté par ordinateur en ergonomie afin de suggérer les fonctionnalités nécessaires à la création d'un agent intelligent permettant le codage automatique d'une passation de l'ATCT.

Finalement, la dernière partie de ce manuscrit revient sur travail réalisé pendant cette thèse, sur l'apport de l'ergonomie dans la création d'un nouveau test écologique permettant de diagnostiquer les troubles des fonctions exécutives et l'impact sur l'autonomie des patients. Cette conclusion nous permet de proposer une réflexion sur les limites et les perspectives de cette thèse.

2. Modèles descriptifs des fonctions exécutives

2.1. Historique de l'étude et de la modélisation des fonctions exécutives

Historiquement, la première atteinte connue et documentée des fonctions exécutives est celle de Phineas Gage (Harlow, 1848), un ouvrier des chemins de fer en Nouvelle-Angleterre qui a eu le crâne et l'avant du cerveau transpercé par une barre de fer. Malgré une guérison sans trouble sensori-moteur (à l'exception de la perte de la vue de l'œil gauche) apparent, la personnalité et le comportement de Gage ont été altéré radicalement. Son humeur était devenue changeante, il était irrévérencieux et ne faisait plus preuve de respect, proférait des jurons, s'obstinait de façon persistante ou encore abandonnait les projets formés dès qu'ils étaient formalisés.

D'autres études de cas similaires ont été publiées par la suite, de la fin du XIX^e siècle (Jastrowitz, 1888; Oppenheim, 1890; Welt, 1888) jusqu'à nos jours (notamment Eslinger & Damasio, 1985). Les études de cas de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle ont permis d'obtenir les premières descriptions cliniques d'une grande hétérogénéité des troubles issus de lésions des lobes frontaux.

C'est avec les travaux de Milner (1963) et de Luria (1966) que la notion de fonctions exécutives va apparaître pour décrire des processus spécifiques et que la description du syndrome frontal va acquérir un volet cognitif. Luria a été le premier à présenter une modélisation du fonctionnement des lobes frontaux et des fonctions exécutives en se fondant sur une approche neuroanatomique. Cette approche associe les fonctions exécutives à une région du cerveau et établit une corrélation entre les deux en s'appuyant sur les lésions cérébrales et les conséquences observées en clinique (Damasio, 2006; Fuster, 1997; Grafman, 2002; E. K. Miller & Cohen, 2001) puis, plus tard, sur la neuroimagerie fonctionnelle (Badre & D'Esposito, 2007; Koechlin

& Summerfield, 2007). En parallèle au développement de ces modèles se basant sur une approche neuroanatomique, des modèles cognitifs ont été développés en se basant sur les résultats aux tests neuropsychologiques afin d'expliquer le fonctionnement des fonctions exécutives en elles-mêmes (Baddeley, 1986; Barkley, 1997; Diamond, 2013; Lezak et al., 2012; Miyake et al., 2000; Norman & Shallice, 1986; Stuss & Benson, 1986).

2.2. Trois modèles pour permettre la qualification et la quantification des troubles des fonctions exécutives

Parmi tous les modèles décrivant les fonctions exécutives, trois nous ont semblé particulièrement pertinents pour permettre la qualification et la quantification des troubles des fonctions exécutives. Le premier est le modèle de Lezak et al. (2012), car il est celui qui sert de référence dans le Cooking Task Test (Chevignard et al., 2000, 2008). Le second est celui de Miyake et al. (2000) car il pose les bases des trois grandes catégories qui serviront de canevas pour les autres modèles des fonctions exécutives. Et le troisième, celui proposé par Diamond (2013), car il est le modèle qui intègre les catégories des fonctions exécutives qui font consensus aujourd'hui (Cristofori et al., 2019 ; Cicerone et al., 2000 ; Kennedy et al., 2008)

2.2.1. Le modèle de Lezak et al. (2012 / 1995)

Le modèle proposé par Lezak et al. en 1995 et intégré par la suite dans les versions successives de leur ouvrage *Neuropsychological Assessment* est un modèle qui caractérise les fonctions exécutives en quatre composantes interagissant entre elles afin de permettre la réalisation d'un

comportement dirigé vers un but : la formulation d'objectifs (*volition*), la planification (*planning*), la mise en œuvre pratique du plan élaboré (*purposive action*) et la vérification de l'aboutissement de l'action par rapport au but initial (*effective performance*)³.

Même si la modélisation théorique sous-jacente peut paraître simpliste – surtout au regard des travaux ultérieurs que nous allons présenter - le modèle de Lezak préfigure les efforts ultérieurs pour la modélisation des fonctions exécutives. Il est en particulier le premier modèle à présenter la formulation d'objectifs comme une fonction exécutive à part entière. Cette caractéristique s'avère déterminante pour rendre compte de l'activité humaine finalisée, et donc pour rendre compte des effets adverses du syndrome dysexécutif sur les activités de la vie quotidienne.

2.2.2. Le modèle de Miyake et al. (2000)

Ce modèle, présenté en Figure 2 ci-dessous, met en avant trois fonctions exécutives :

- La flexibilité⁴ correspond à la capacité de changer entre différents ensembles de tâche ou différents types de réponse ;
- La mise à jour⁵ correspond à la capacité de surveiller et de coder des informations relatives à la tâche, et remplacer les informations non pertinentes par de nouvelles, qui le seraient davantage ;
- L'inhibition⁶ correspond à la capacité d'inhiber ou de résister à une réponse automatique dans le but de réaliser une réponse qui soit moins automatique mais plus pertinente pour la tâche.

Ce modèle fait suite à un constat important relatif au modèle de Lezak et al. (2012) : celui-ci s'avère peu opérationnel dès lors qu'il s'agit d'interpréter les résultats obtenus sur des tests neuropsychologiques en termes de difficultés à réaliser des activités de la vie quotidienne. Pour répondre à cette limite, ce modèle présente une structure différente, dans laquelle les scores obtenus à différents tests classiques permettent d'évaluer, avec une plus grande sélectivité, ces

³ Les traductions en français, pour les termes de ce modèle comme pour celui de Miyake (2000) qui lui fait suite, sont celles proposées par Poncet (2014)

⁴ « Shifting » en anglais

⁵ « Updating » en anglais

⁶ « Inhibition » en anglais

trois fonctions. Si ce modèle n'a pas été à l'origine de propositions nouvelles en termes d'outils diagnostiques, il est donc, entraîne un profond changement dans la manière dont les résultats obtenus à l'aide de ces outils sont interprétés en contexte clinique. D'autre part, comme le souligne Poncet (2014), cette approche permet de mieux cibler les problèmes des patients cérébrolésés dans les différentes étapes du processus de réalisation d'une activité, en interprétant les difficultés dans la réalisation d'une tâche donnée en termes de dysfonctionnements, soit au niveau de fonctions exécutives individuelles, soit au niveau de leurs interconnexions. Ce faisant, il permet d'apporter des fondations théoriques plus claires et plus robustes à la compréhension du syndrome dysexécutif que ne le faisait le modèle de Lezak et al. (2012), qu'il est venu à remplacer, pendant un certain temps, en tant que modèle de référence à la fois dans la recherche scientifique et dans la pratique clinique.

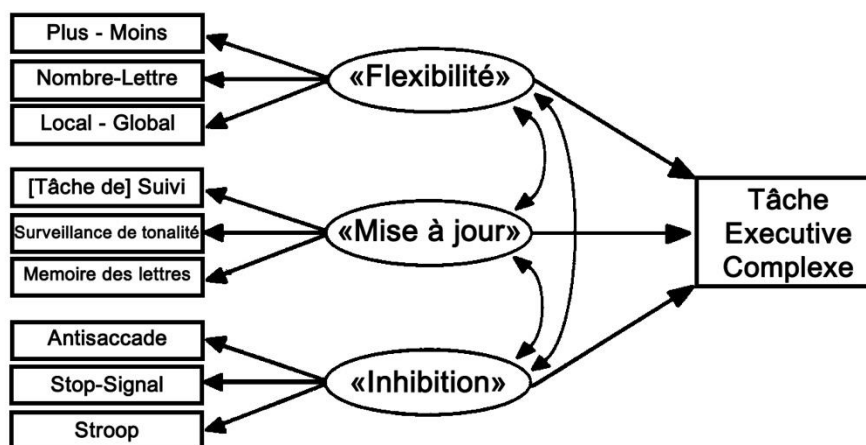


Figure 2 - Modèle représentant les fonctions exécutives et les tests usuels pour les quantifier (traduction d'après Miyake et al., 2000)

2.2.3. Le modèle de Diamond (2013)

Ce troisième modèle (Figure 3) se distingue des précédents par son caractère intégrateur, il intègre les fonctions exécutives des modèles précédents mais en plus, il associe les fonctions exécutives dites de haut-niveau qui n'avaient pas encore été prises en compte dans les modélisations. Il comporte donc, d'une part, les trois catégories de base correspondent aux

fonctions proposées par Miyake et al. (2000) – la mémoire de travail⁷ correspondant à la mise à jour, le contrôle inhibiteur⁸ à l'inhibition, et la flexibilité cognitive⁹, à la flexibilité. A ce titre, il s'inscrit ouvertement dans la continuité des travaux sur ces fonctions cognitives élémentaires, mais il montre également comment ces fonctions concourent à la constitution des fonctions d'ordre supérieur. Trois fonctions de ce type sont considérées dans le modèle : le raisonnement, la résolution de problèmes et la planification.

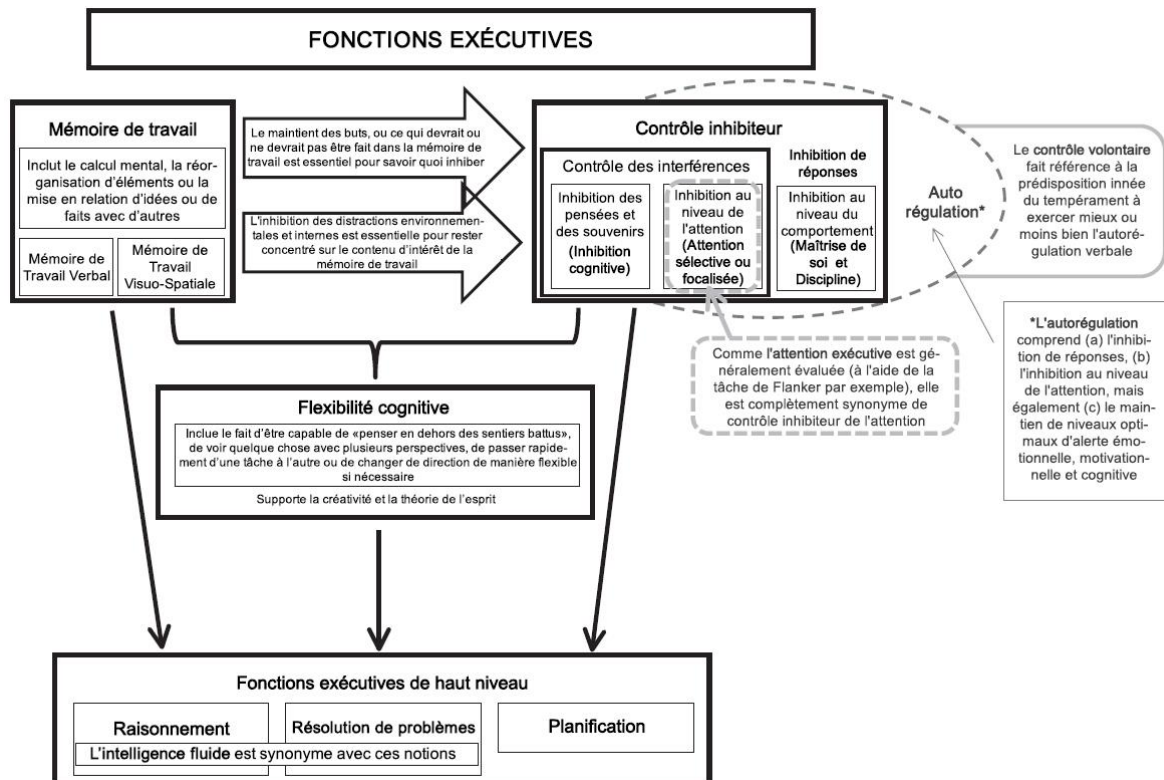


Figure 3 - Modèle représentant les fonctions exécutives (traduit de Diamond, 2013)

Si le modèle de Diamond présente l'avantage d'harmoniser des travaux en psychologie cognitive et en neuropsychologie, on peut néanmoins souligner deux limites. En premier lieu, comme tout modèle, il représente l'état des connaissances reflétant les évolutions des méthodes d'analyses et des techniques à la date de sa création. La mise au point de nouveaux outils nécessiterait une remise en question de ce modèle et une réactualisation sur la base de données

⁷ « Working Memory » en anglais
⁸ « Inhibitory Control » en anglais
⁹ « Cognitive Flexibility » en anglais

cliniques nouvelles. En second lieu, sa structure hiérarchisée est difficile à concilier avec le constat, qu'une activité présente un décours temporel. L'individu étant constamment engagé dans des boucles de type perception-action, il est difficile de reconstituer la dynamique temporelle suivant laquelle ces différentes fonctions sont mobilisées dans une activité, même simple, du quotidien. Pour cette raison, dans le cas des tests dits écologiques, il est difficile de reconstituer le lien entre une donnée de performance et une défaillance au niveau d'une fonction exécutive précise, qu'elle soit de niveau élémentaire ou d'ordre supérieur.

2.3. Une nouvelle approche des fonctions exécutives par l'ergonomie de l'Activité

Bien que les modèles des fonctions exécutives s'affinent et s'approchent de plus en plus de la complexité observée de ces fonctions cognitives en clinique et dans la vie de tous les jours, Snyder et al. (2015) ont mis en évidence l'importance de dépasser le clivage entre les modélisations issues des études cliniques et issues des études de neurosciences cognitives. En effet, ils ont souligné que cette dichotomie a pu empêcher l'application des conclusions de l'un de ces courants à l'autre. Ils ont mis en relief le fait que les modélisations des fonctions exécutives les présentent soient comme unitaire (des catégories uniques – « unité¹⁰ »), soient comme des ensembles de plusieurs capacités distinctes et spécifiques (une longue liste de compétences spécifiques - « diversité¹¹ »). Ainsi, afin de dépasser ces dichotomies, ils ont repris l'idée proposée par Teuber (1972) : les fonctions exécutives sont coordonnées les unes avec les autres, exploitant ainsi une capacité sous-jacente commune (« unité »), mais qui montrent également une certaine séparabilité (« diversité »).

¹⁰ « Unity » en anglais

¹¹ « Diversity » en anglais

Par ailleurs, ils ont souligné le fait que la modélisation des fonctions exécutives et de leurs troubles se fait par l'analyse de la performance lors de la réalisation de différentes tâches « neuropsychologiques » (ou tests neuropsychologiques). Ces tâches, même lorsqu'elles ne sont censées analyser qu'une seule fonction exécutive, ne peuvent pas éliminer l'influence d'autres capacités cognitives, ou n'ont pas une granularité assez fine pour parvenir à détecter certains troubles des fonctions exécutives. Ainsi, ils mettent en avant l'importance du choix de la tâche, ou d'un ensemble de tâches (une batterie de tests) servant de support pour analyser l'impact de ces troubles sur la qualité de vie du patient.

Pour mesurer cet impact, il faudrait pouvoir analyser la performance du patient durant la réalisation d'une activité, ou d'une tâche mettant en jeu l'ensemble des fonctions exécutives.

Or, l'ergonomie, telle qu'elle s'est développée dans les pays de langue Française, présente ainsi une spécificité forte : celle de prendre l'activité humaine pour objet central d'étude. Selon Montmollin (1997), l'activité est définie comme « l'exercice de la possibilité d'agir sur son environnement et de réagir aux stimulations qu'il reçoit de celui-ci » (p. 26). Montmollin insiste par ailleurs sur le fait que même si le comportement constitue la part manifeste et observable de l'activité, l'activité ne peut se réduire aux comportements observables de l'opérateur et comporte aussi l'ensemble des processus, par exemple, cognitifs et sociaux, qui donnent naissance à ce comportement.

L'ergonomie de l'activité opère classiquement une distinction forte entre deux concepts voisins, celui de tâche et celui d'activité. La tâche est couramment définie comme ce qui est à faire par l'opérateur, tandis que l'activité correspond à ce qui est réellement fait pour atteindre les objectifs de la tâche (Bobillier Chaumon, 2021; Falzon, 2004; Leplat & Hoc, 1983; Montmollin, 1997). Cette distinction renvoie à l'idée que l'activité humaine est structurée par un modèle prescriptif de la tâche à réaliser, qui comprend notamment les objectifs à atteindre et les moyens mis à la disposition de l'opérateur pour atteindre ces objectifs. Dans le même temps, l'activité – parfois appelée, par opposition, l'activité « réelle » - correspond à une réponse singulière de l'opérateur qui permet d'atteindre les objectifs de la tâche dans un contexte donné. De ce point de vue, Leplat (1997) considère l'activité comme la résultante d'un double processus de régulation (Figure 4). L'activité résulte d'un couplage, d'une part, entre l'agent qui la réalise, et la tâche qui lui est donnée à réaliser. D'autre part, la réalisation de cette dernière est suivie d'une prise d'informations à la fois externes – i.e. concernant le résultat observable de l'activité – et internes – i.e. concernant la perception, par l'opérateur, de son propre état. En fonction du résultat de cette double évaluation, l'opérateur va reconfigurer son activité de manière à

atteindre les objectifs de la tâche tout en se préservant le plus possible des contraintes associées à cette dernière.

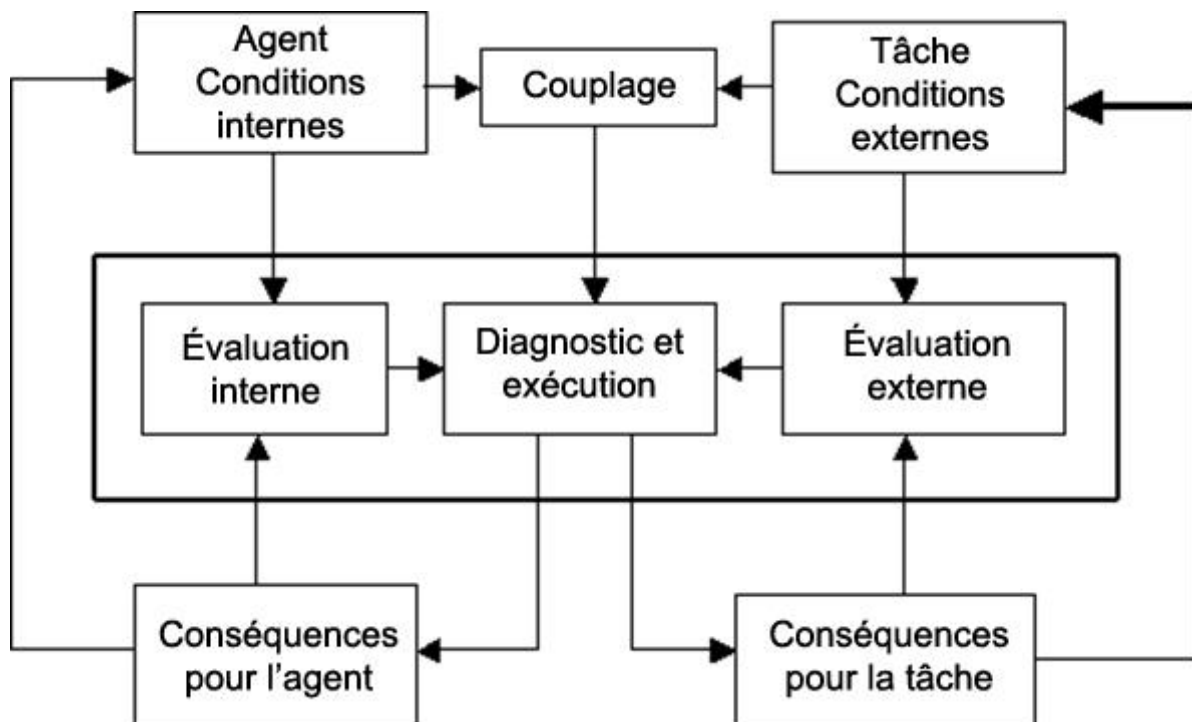


Figure 4 - Modèle de double régulation de l'activité (Leplat, 1997)

Cette distinction entre activité et tâche n'est pas sans conséquence, puisque l'ergonomie de l'activité considère que l'activité réelle ne peut pas être considérée seulement comme la simple exécution d'une tâche prescrite. Cette activité résulte ainsi d'un travail, au sens d'une appropriation, de la tâche par l'opérateur. Leplat (1997) distingue ainsi plusieurs niveaux de description de la tâche (Figure 5). Dans une situation de travail donnée :

- La *tâche à réaliser* correspond au modèle de la tâche tel que construit par l'organisation.
- La *tâche prescrite* correspond à une formulation de la tâche, par l'organisation, destinée à la personne chargée de son exécution. Elle peut être définie avec plus ou moins de précision.
- La *tâche prescrite pour l'agent* correspond, pour Leplat, à la réponse à la question « qu'est-ce que vous croyez que l'on attend de vous ? ». La compréhension de la tâche pour l'opérateur dépend de facteurs tels que son niveau d'expertise, sa connaissance du contexte de l'activité, ou encore l'expérience dont celui-ci dispose dans la réalisation de la tâche.

- Comme l'exprime encore Leplat (1997), la tâche prescrite comprend toujours un degré d'implicite qui nécessite pour l'opérateur de se constituer une représentation de la tâche à réaliser. Cette représentation n'est pas un reflet exact de la tâche prescrite, mais une redéfinition qui tient compte des contraintes de la situation et des contraintes propres de l'agent (cf. Figure 4). Cette représentation, dite tâche redéfinie, aboutit à une réactualisation de la tâche pour l'opérateur, qui correspond à une définition (personnelle) de la manière de procéder pour atteindre les objectifs de la tâche, parfois appelée *mode opératoire* (Leplat & Hoc, 1983; Sperandio, 2021).

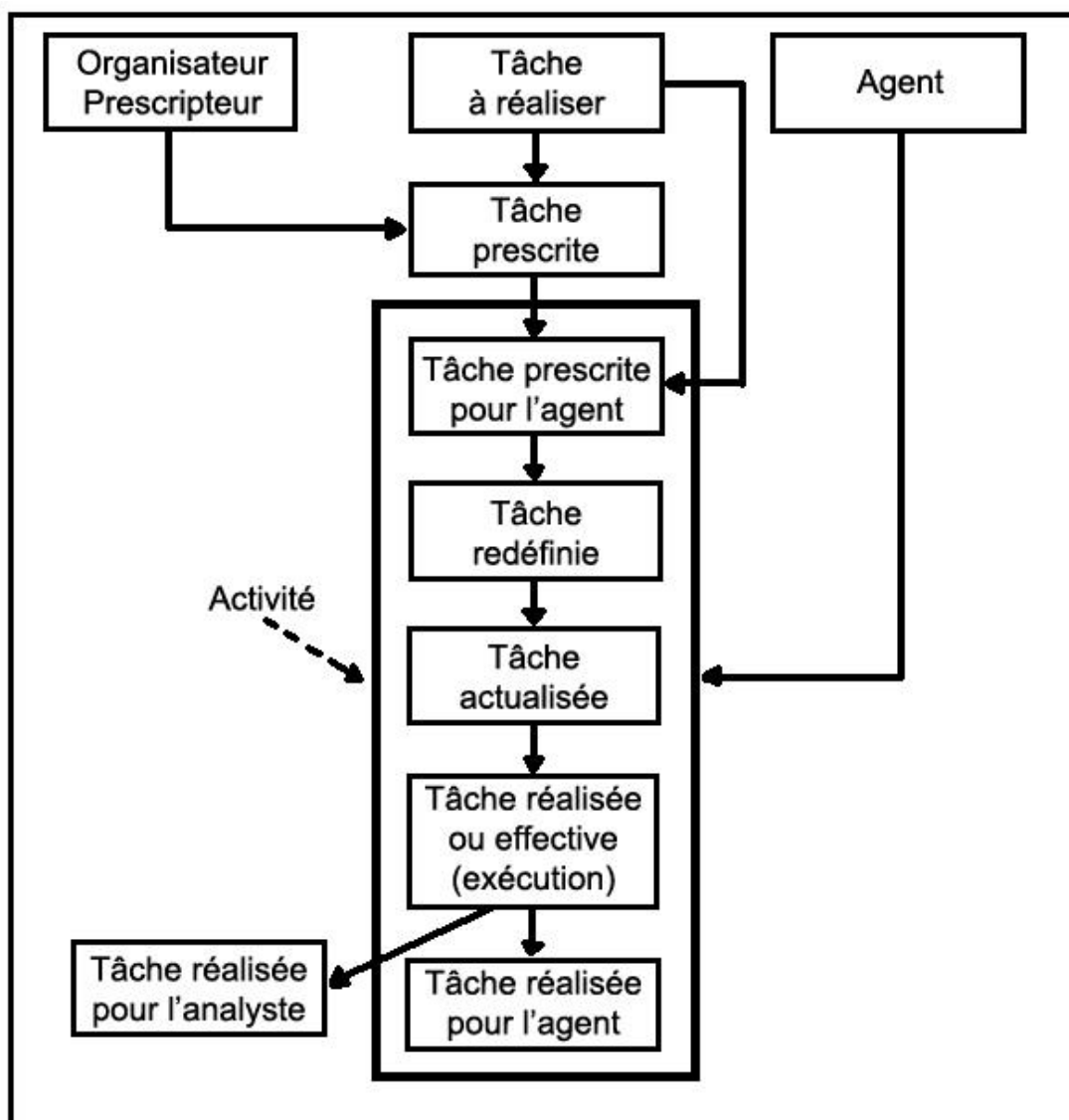


Figure 5 - Niveaux de définition de la tâche selon Leplat (1997)

Les points forts de l'ergonomie sont, tout d'abord, les méthodologies d'analyse du comportement par observation ; et ensuite, l'apport de la réflexion sur le statut de l'erreur qui est au cœur du test écologique proposé par Chevignard et al. (2000) pour qualifier les troubles des fonctions exécutives. Ces deux apports de l'ergonomie nous permettent d'enrichir les modèles existants dans le but de mieux rendre compte des impacts comportementaux des pathologies, en utilisant comme référence le modèle de double régulation de Leplat. Ce modèle, issue d'études de terrain, ne développe pas les mécanismes cognitifs impliqués dans la régulation de l'activité. Or, par définition, les fonctions exécutives sont des fonctions cognitives qui sont des candidats privilégiés pour l'enrichir.

Ainsi, à ce titre, l'observation du comportement en situation écologique pourrait avoir une portée diagnostique pour les troubles dysexécutifs. Les composantes de la modélisation de l'activité et de l'analyse de la tâche peuvent servir de support pour enrichir les outils existants. Tout d'abord, la notion de tâche prescrite, qui donne un contexte aux actions de l'agent et la notion d'activité réelle qui correspond à la réponse de l'agent à ce contexte (Figure 5). Ensuite, les notions d'intéroception et d'extéroception qui correspondent aux conditions internes et externes qui sont couplées pour permettre l'exécution de la tâche (figure 6).

Enfin, nous avons ajouté les composantes d'un comportement, qu'elles soient observables (les réponses moteur et verbale) ou non (les émotions).

Finalement, nous avons repris les mêmes items que Diamond, acceptés aujourd'hui comme étant les plus représentatifs (Cristofori et al., 2019) pour modéliser cette nouvelle approche des fonctions exécutives en réseau (figure 6).

Cette modélisation en réseau permet de prendre en compte l'idée développée par Teuber (1972) mettant en avant l'interconnexion entre les fonctions et donc de s'affranchir de l'ordre de prévalence d'une fonction sur l'autre présenté dans le modèle de Diamond.

Cette approche permet donc, en synthétisant les approches des trois modèles des fonctions exécutives précédents et en intégrant les notions de modélisation de l'activité et de prise en compte du contexte de pouvoir utiliser les méthodologies d'observations développées en ergonomie pour établir une réflexion sur la performance des agents et le statut des erreurs observées lors de la réalisation de tâche prescrite (les tests neuropsychologiques « écologiques »).

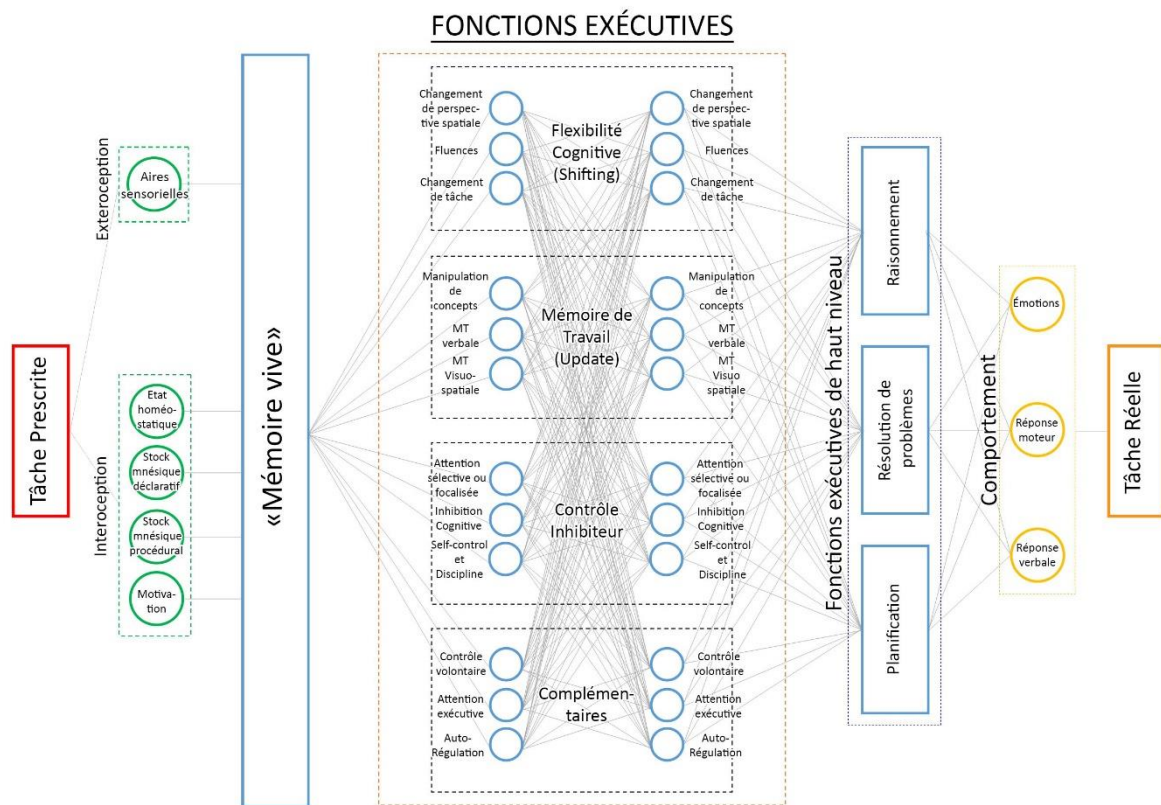


Figure 6 - Modélisation en réseau des fonctions exécutives

Cette modélisation en réseau permet de prendre en compte l'idée développée par Teuber (1972) mettant en avant l'interconnexion entre les fonctions et donc de s'affranchir de l'ordre de prévalence d'une fonction sur l'autre présenté dans le modèle de Diamond.

L'objectif de cette modélisation est de permettre, lors de la réalisation d'un test neuropsychologique écologique, de pouvoir déterminer l'origine d'une erreur. En prenant comme point de départ l'analyse de la tâche réelle, on peut inférer des marqueurs comportementaux. Ces marqueurs peuvent permettre d'identifier quelles fonctions exécutives de haut niveau est impactée. Ces fonctions de haut niveau permettent ensuite de déterminer quelles sont les fonctions exécutives élémentaires atteintes. Finalement, lorsque cela est nécessaire, indiquer s'il y a une atteinte intéroceptive et/ou extéroceptive.

Ce modèle pourrait être enrichi d'une nouvelle strate du réseau et permettre de mettre en perspective l'origine neuropsychologique de l'erreur avec l'origine neuroanatomique, relevée durant l'analyse des bilans lésionnels, des pathologies entraînant des troubles des fonctions exécutives chez patients

2.4. Substrats anatomiques des fonctions exécutives

Le cortex préfrontal est la région du cerveau qui est la plus communément associée avec les fonctions exécutives. Historiquement, le « syndrome dysexécutif » était appelé « syndrome frontal » pour cette raison.

Grâce à des études portant sur des lésions cérébrales, il a été démontré que les lobes frontaux de cortex ne sont pas les seules régions cérébrales à être associées aux fonctions exécutives (Andrés, 2003; Champod & Petrides, 2007; Collette et al., 2006).

Grâce à des études se basant sur les techniques de neuro-imagerie, il a également été démontré qu'il y avait un lien entre les fonctions exécutives et le cortex frontal. Néanmoins, il n'a pas été possible de relier de manière concluante un foyer spécifique du cortex à une fonction exécutive donnée (Elliott, 2003).

Il a également été montré que la matière blanche du cerveau joue un rôle critique dans le bon fonctionnement des fonctions exécutives (Cristofori et al., 2015).

Le Tableau 2 présente la synthèse des deux approches permettant d'obtenir la localisation des zones cérébrales associées avec les différentes fonctions exécutives et la Figure 7 permet d'avoir une représentation graphique de ce tableau (Cristofori et al., 2019).

Tableau 2 - Résumé de la neuroanatomie fonctionnelle des fonctions exécutives basé sur les études lésionnelles et les études de neuro-imagerie

Fonctions	Etudes lésionnelles	Etudes de neuroimagerie
Mémoire de travail	Cortex préfrontal latéral (Owen et al., 2005) Cortex orbitofrontal médial (Barbey et al., 2011)	Cortex préfrontal dorsolatéral (Cristofori et al., 2015)
Contrôle inhibiteur	Cortex préfrontal dorsolatéral	Cortex frontal inférieur droit (Aron et al., 2007) Circuit frontostriatal ventral (Durstun et al., 2002)

	Cortex antérieur cingulaire (Gläscher et al., 2009)	
Flexibilité cognitive	Cortex orbitofrontal (Schoenbaum et al., 2009) Gyrus temporal supérieur droit (Barbey et al., 2013)	Régions frontostriatale et striatale (Lie et al., 2006)
Planification	Cortex préfrontal (Goel, 1997)	Cortex préfrontal dorsolatéral postérieur gauche, avec de multiples régions corticales et sous-corticales (Fincham et al., 2002)
Raisonnement	Cortex préfrontal rostrolatéral gauche (Urbanski et al., 2016)	Cortex préfrontal rostrolatéral bilatéral et cortex préfrontal dorsolatéral droit (Christoff et al., 2001)

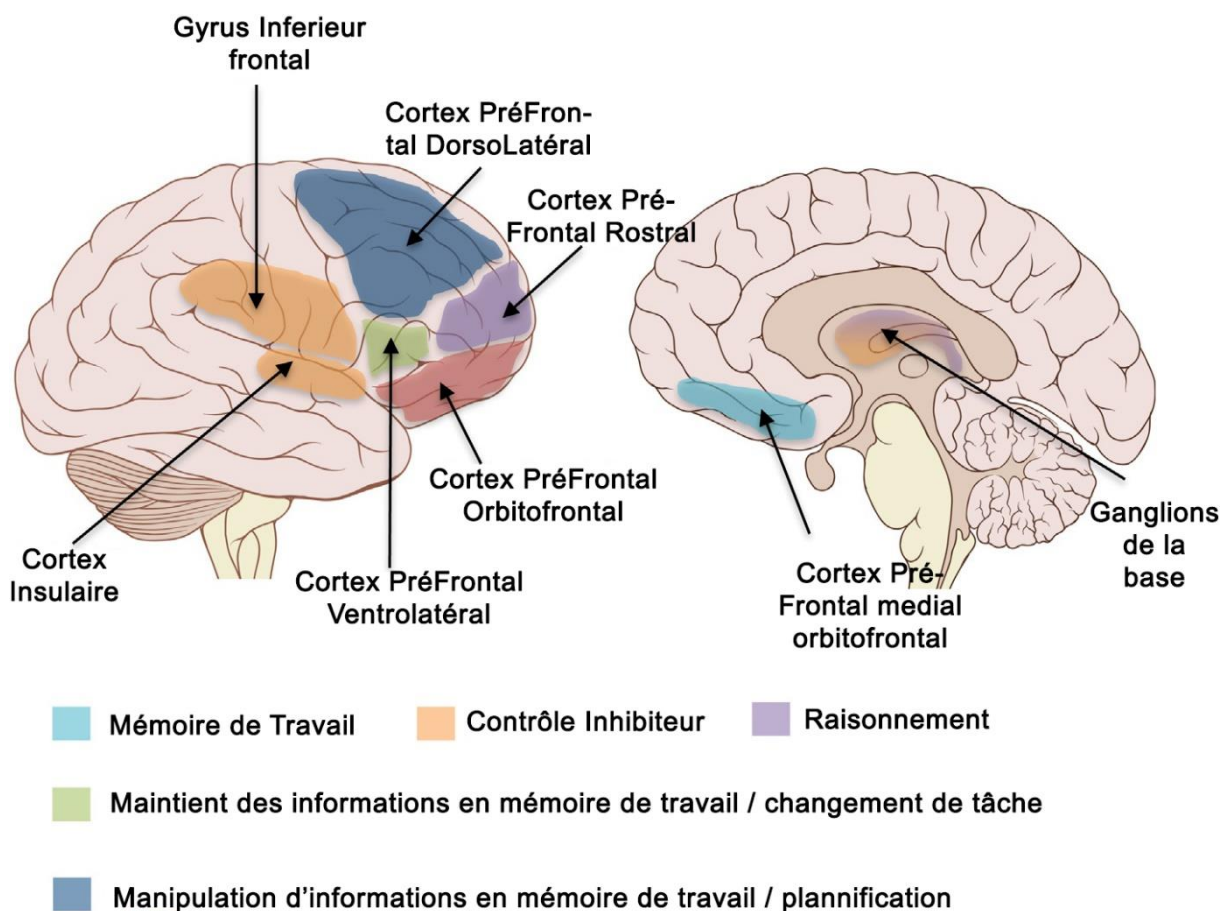


Figure 7 - Représentation anatomique des régions cérébrales associées aux différentes fonctions exécutives basées sur les études lésionnelles et de neuro-imagerie – Figure adaptée de Lynch et Jaffe (Cristofori et al., 2019) - Creative Commons Attribution 2.5 License 2006.

2.5. Conclusion intermédiaire

Depuis la première description historique des troubles des fonctions exécutives subis par Phineas Gage, plusieurs modélisations de ces fonctions ont été présentées avec des approches neuroanatomiques se fondant sur de la neuroimagerie fonctionnelle ou cognitive se fondant sur des tests neuropsychologiques.

Le premier modèle sur lequel repose ce travail de thèse est le modèle de Lezak et al. (2012) présentant l'idée de réalisation de but et prenant en compte la *volition* nécessaire pour y parvenir. C'est sur ce modèle que repose le Cooking Task Test, le test écologique utilisé en routine à l'HIA Percy avant le début de ce travail de thèse.

Le second modèle est celui proposé par Miyake, qui a proposé les trois fonctions exécutives principales servant de base aujourd'hui à d'autre modélisation et qui a repris l'idée développée par Teuber (1972) d'interconnexion des fonctions entre elles.

Finalement, le troisième modèle est celui proposé par Diamond (2013) développant et complétant les fonctions exécutives proposées par Miyake (2000).

Ainsi, en nous basant sur ces trois modèles déjà existants, sur la revue de la littérature de Snyder et al., et sur les modélisations de l'activité et sur l'analyse de la tâche en ergonomie, nous avons pu proposer un quatrième modèle des fonctions exécutives. Aux éléments neurocognitifs, nous avons ajouté les notions de modélisation de l'activité et d'analyse de la tâche, propres à l'ergonomie.

A cette modélisation des fonctions exécutives peut être ajoutée une cartographie issue d'études se basant sur la neuro-imagerie et sur des lésions cérébrales.

En combinant ces deux approches avec une analyse en imagerie fonctionnelle utilisable durant la réalisation d'un test neuropsychologique (notamment la FNIRS ou l'EEG), il serait possible d'établir une comparaison entre les différentes lésions cérébrales et les erreurs observées durant les tests neuropsychologiques, notamment les tests écologiques.

3. Les pathologies des fonctions exécutives

On relève la présence de troubles dysexécutifs dans plus de 75% des cas dans la maladie d'Alzheimer et dans les affections neurodégénératives corticales (Godefroy et al., 2016), dans 40% à 75% des cas dans les d'accidents vasculaires cérébraux (Roussel et al., 2016), de maladie de Parkinson (Emre et al., 2007), de scléroses en plaques (Deloire, 2005; Godefroy et al., 2010; Rao et al., 1989, 1991) et des traumatismes crâniens (Azouvi et al., 2016; Brooks & McKinlay, 1983).

Pendant la durée de cette thèse, deux populations de personnes majeures ont été recrutée, une population de personnes ayant eu une pathologie aiguë, un traumatisme crânien, et une population de personnes ayant une pathologie neurodégénérative, la leucopathie post-radique.

3.1. Les traumatismes crâniens

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit, d'après Thurman et al. (1995), le traumatisme crânien (ou traumatisme craniocérébral) comme la survenue d'une blessure de la tête à la suite d'un traumatisme fermé ou ouvert ou à la suite d'un phénomène d'accélération et/ou de décélération, avec :

- Une altération observée ou déclarée de l'état de conscience ou une amnésie due au traumatisme,
- Et/ou des manifestations neurologiques ou neuropsychologiques (objectivées par examen médical) ou un diagnostic de fracture du crâne ou de lésions intracrâniennes (objectivé par des examens radiologiques ou d'autres procédures de diagnostic neurologique) qui sont consécutifs au traumatisme à la tête,

- Ou la survenue du décès consécutive à un traumatisme à la tête ou un traumatisme crânien tel qu'inscrit sur le certificat de décès, le rapport d'autopsie ou le dossier médical rempli dans les circonstances du décès.

La gravité du traumatisme crânien (TC) est classiquement définie selon trois critères principaux : le score de Glasgow (Glasgow Coma Scale, GCS), la durée de perte de connaissance initiale (PCI) et d'amnésie post-traumatique (APT). Le GCS, décrit par Teasdale et Jennett (1974 ; Tableau 3), évalue l'état de conscience, la PCI une rupture complète de l'état de conscience et l'APT une perte de mémoire qui peut être antérograde, rétrograde ou les deux à la fois. Ces trois critères permettent de définir un TC léger, modéré et grave (Tableau 3).

Tableau 3 - score de Glasgow décrit par Teasdale et Jennett (1974). Note : Les scores de chacune des meilleures réponses de chaque catégorie sont additionnés pour un maximum de 15/15 et un minimum de 3/15

Points	Ouverture des yeux	Réponse verbale	Réponse motrice
1	Nulle	Nulle	Nulle
2	A la douleur	Incompréhensible	Extension à la douleur
3	A la commande verbale	Incohérente	Flexion à la douleur
4	Spontanée	Confuse	Réaction non orientée à la douleur
5	-	Appropriée	Réaction orientée à la douleur
6	-	-	Obéissance aux ordre verbaux

L'OMS définit le Traumatisme Crânien Leger (TCL) comme étant une lésion aiguë du cerveau transmise à la tête par énergie mécanique résultant d'une force physique externe. Les critères opérationnels pour un diagnostic clinique comprennent :

- Une confusion ou une désorientation ;
- Une perte de connaissance d'une durée inférieure ou égale à 30 minutes ;
- Une amnésie post-traumatique d'une durée inférieure ou égale à 24 h

- Et/ou d'autres anomalies neurologiques transitoires telles que des signes locaux, convulsions, ou une lésion intracrânienne ne nécessitant pas d'intervention chirurgicale
- Un score de Glasgow compris entre 13 et 15, mesuré 30 minutes post-traumatisme ou plus tard lors de la prise en charge médicale.

Les critères permettant le diagnostic du Traumatisme Crânien Modéré (TCM) sont les suivants :

- Un score de Glasgow entre 9 et 12,
- Une perte de connaissance durant entre 30 minute et 24 heures
- Une amnésie post traumatique d'une durée de 1 à 7 jours.

Finalement, les critères permettant le diagnostic du Traumatisme Crânien Grave (TCG) sont les suivants :

- Un score de Glasgow entre 3 et 8
- Une perte de connaissance durant plus de 24 heures
- Une amnésie post traumatique d'une durée d'une a plusieurs semaines.

Il est à noter qu'un score de Glasgow inférieur à 3 indique un état végétatif.

Les TC définis comme « légers » ne sont pour autant pas dépourvus de séquelles. Actuellement, il n'existe pas de recommandation sur le suivi de ces patients à moyen et long terme, du fait de l'absence de signe de gravité clinique et paraclinique et de l'évolution favorable dans les trois mois, dans la majorité des cas (Jehlé et al., 2012; Wood, 2004). De ce fait, 10 à 67% de ces patients garderaient des difficultés neuropsychologiques durables ou définitives, le plus souvent en l'absence d'anomalie objective en imagerie radiologique traditionnelle (Sorenson & Kraus, 1991; Wood & Worthington, 2017).

Les conséquences du TCL sont encore peu décrites et souvent évaluées dans des populations très spécifiques, principalement les anciens combattants et les sportifs. Le traumatisme crânien est dorénavant considéré comme la « signature » médicale des conflits actuels, du fait de l'exposition à des lésions d'explosion ou de blast, et de nouvelles procédures sont mises en place pour repérer ces sujets exposés et développant secondairement des symptômes neuropsychiatriques (Hoge et al., 2008).

En France, selon une étude de Santé Publique France de 2016, l'incidence annuelle des TC ayant entraîné une hospitalisation se situe entre 150 et 300 pour 100 000 habitants, avec un taux de mortalité de 7 à 17 % (Cohadon et al., 2008). Dans l'enquête réalisée en Aquitaine par Tiret

et al. (1990), le TC était considéré comme léger dans 80% des cas, modéré dans 11% des cas et grave dans les 9% restants. Ce nombre est probablement sous-estimé car seulement un tiers des patients ayant présenté une commotion cérébrale consulterait dans les services hospitaliers d'urgences (Bazarian et al., 2005; Carroll et al., 2004; Feigin et al., 2013). Les données issues du *Center for Disease Control and Prevention* entre 2002 et 2006 (Faul et al., 2010) démontrent que l'incidence des TC est supérieure chez l'homme par rapport à la femme pour toutes les tranches d'âge (de l'ordre de 2 à 3 contre 1). Le pic principal d'incidence se situe, pour les deux sexes, entre 15 et 25 ans. Il y en existe deux autres, l'un situé entre 0 et 5 ans et l'autre après 65 ans. D'après Masson et al. (2001), les causes de survenue des TCG en Aquitaine en 1996 étaient majoritairement les accidents de la voie publique (48,3%) et les chutes de sa propre hauteur (24,5%) et de grande hauteur (17,3%). Les coups à la tête représentent seulement 6,4% des causes de TC. Les TC provoqués par les chutes sont plus fréquents chez les personnes âgées.

La société française de médecine physique et de réadaptation (SOFMER) a réalisé dans le cadre de recommandations de bonnes pratiques (méthodologie de la Haute Autorité de Santé), une revue de littérature sur les troubles de comportement faisant suite à un TC (Stéfan & Mathé, 2016).

La prévalence des troubles relevés, dont certains sont caractéristique d'un trouble des fonctions exécutives, post-TC sont les suivants :

- La prévalence de l'agitation post traumatique varie entre 11 et 70% (avec une moyenne à 46%). Elle est caractérisée par de l'agressivité, une désinhibition, des mouvements agités des membres inférieurs, une labilité émotionnelle, de l'akhatisie (un trouble caractérisé par un besoin de mouvement, par une impossibilité de rester assis ; Sandel & Mysiw, 1996), ou encore de l'impulsivité, des pensées désorganisées, une perturbation des perceptions, une capacité à l'attention soutenue limitée ou une adaptabilité réduite (Fugate et al., 1997).
- La prévalence de l'agressivité varie entre 25 et 39%. Elle est caractérisée par une agressivité verbale ou physique dirigée contre soi, contre les objets, ou contre autrui, une irritabilité sévère, un comportement violent, hostile, des attaques et une perte du contrôle de soi (Fleminger, 2008).
- La prévalence de l'irritabilité varie entre 29 et 71%. Elle est définie par une réactivité disproportionnée avec notamment des accès de colère non justifiés. Elle est plus fréquente chez les hommes, entre 15 et 34 ans, en cas de perte de travail, d'isolement social ou encore de dépression (Safer, 2009; Yang et al., 2012).

- Il apparaît que la prévalence de TC chez les délinquants et les populations incarcérés est plus élevée que dans la population générale. En effet, elle est de 60,2% dans la population carcérale américaine. Les TC survenus dans l'enfance ou l'adolescence constitueraient des risques accrus de troubles psychiatriques et d'actes criminels (Shiroma et al., 2010).
- La prévalence de l'apathie varie entre 20 et 71%. Elle est définie par une baisse de la motivation caractérisée par trois symptômes : la perte ou la diminution des comportements dirigés vers un but, la perte ou la diminution des capacités cognitives permettant la réalisation de buts et l'absence ou la diminution des émotions (Mulin et al., 2011; Robert et al., 2009).
- La prévalence de la dépression varie entre 12 et 76%, avec une moyenne à 30% (Fann et al., 2004), ce qui est 7,5 fois plus qu'en population générale (van Reekum et al., 2000).
- Les syndromes anxieux sont divisés en dix groupes : l'agoraphobie, les attaques de panique, la phobie sociale, les troubles obsessionnels compulsifs, les états de stress post-traumatique, le syndrome de stress aigu, l'anxiété généralisée, les troubles anxieux lié à une pathologie médicale, les troubles anxieux induit par des médicaments. La prévalence des troubles anxieux généralisée est de 9,1%, soit 2,3 fois plus important que dans la population générale (van Reekum et al., 1996).
- Les états de stress post-traumatique ont une prévalence variant de 11 à 18%, allant même dans une étude allemande jusqu'à 53% après un TC grave (Rueckriegel et al., 2015).
- L'incidence des Troubles obsessionnels et compulsifs varient entre de 1,2 à 30 %. Le risque d'en développer est 2,6 fois plus important que dans la population générale (Van Reekum et al., 1996 ; Kant et al., 1996).

On retrouve, en plus de ces troubles comportementaux, d'autres symptômes liés au dysfonctionnement des fonctions exécutives chez les traumatisés crâniens, des troubles liés à l'impulsivité, au contrôle inhibiteur, à l'attention, à des comportements compulsifs et à la prise de décision (Wood & Worthington, 2017).

Des études ont été réalisées sur la qualité de vie des patients ayant eu un TC via des questionnaires standardisés (le SF-36 ou le QOLIBRI par exemple) et elles ont relevé que la

qualité de vie des traumatisés est impactée par les séquelles neuropsychiatriques (Grauwmeijer et al., 2014; Soberg et al., 2013).

L'hétérogénéité des cas, en termes de lésions cérébrales (type, locations), de complications (influencées par divers facteurs, dont l'âge, les antécédents médicaux, l'environnement familial et social, la prise d'alcool ou de drogues, les traumatismes associés etc.) rend difficile la mise au point de thérapies standard efficaces pour tous (The Lancet Neurology, 2010).

Une étude de 2012 (Olesen et al., 2012), estime les coûts à partir de la prévalence de TC observée en 2010 (3,7 millions de victimes en Europe) : pour tous les TC confondus, un coût par personne de 8 809 euros, et pour les TC modérés à sévères un coût de 9 020 euros. Les coûts totaux sont respectivement de 33 013 millions et 22 907 millions d'euros au niveau européen. Le coût de 8 809 euros par personne se décline en 2 697 euros de soins médicaux directs, 893 euros de coûts non médicaux directs et de 5 219 euros de coûts indirects (perte de productivité).

Ainsi, la réhabilitation après un TC doit être mise en place le plus tôt possible et peut être nécessaire pour une longue période (entre plusieurs mois et plusieurs années). Il y a un besoin de multidisciplinarité dans la prise en charge car il n'y a pas seulement des conséquences physiques, mais aussi cognitives et psychologiques. Cette prise en charge permettant de dépasser ces différentes conséquences est la plus critique afin de permettre un retour au travail dans de bonnes conditions (Gottesman et al., 2003).

3.2. La Leucopathie Post-Radique

La radiothérapie est l'un des traitements les plus utilisés dans le traitement des tumeurs cérébrales. Grâce à l'amélioration des techniques d'irradiation, le taux de survie des patients a augmenté, mais les conséquences à long et moyen terme sont devenues plus visibles, notamment les complications neurologiques (Verdecchia et al., 2008).

Les traitements contre les tumeurs cérébrales peuvent induire de la neurotoxicité retardée dans près de 33% des cas (Doolittle et al., 2013; Soussain et al., 2009). La Leucopathie Post-Radique

(LPR) semble être la pathologie la plus fréquente causée par la neurotoxicité des traitements. Elle est caractérisée, sur le plan neurologique, par une démyélinisation lente et diffuse, une perte axonale et des lésions vasculaires (Soussain et al., 2009). Cette dégénérescence de la matière blanche entraîne l'apparition progressive de troubles cognitivo-comportementaux impactant la qualité de vie des patients (Giovagnoli, 2012).

L'incidence des troubles cognitifs suivant une radiothérapie est encore mal définie. En effet il y a une grande hétérogénéité dans les tests neuropsychologiques utilisés pour qualifier ces troubles, près de 46 selon la revue de la littérature de van Loon et al. (2015), dans la définition des troubles utilisée, dans les protocoles des études, incluant notamment la description des populations étudiées (Durand et al., 2015; Taphoorn & Klein, 2004). On peut cependant l'estimer entre 30 et 50% pour les tumeurs de haut grade, un an après l'irradiation (Douw et al., 2009; Hottinger et al., 2009). Pour le traitement des métastases cérébrales en conditions stéréotaxiques, il a été relevé une incidence de 29% à un an du traitement, de 38% à deux ans et de 53% à trois ans (Trifiletti et al., 2015).

La LPR entraîne un déficit des fonctions exécutives telles que l'attention, la mémoire et la vitesse de traitement de l'information dans la mémoire de travail (Douw et al., 2009; Froklage et al., 2014; Habets et al., 2014; Saad & Wang, 2015). Elle entraîne également de l'apathie. Si les troubles restent légers ou modérés chez la majorité des patients, dans les cas les plus graves, la LPR peut aller jusqu'à entraîner une démence, impliquant une perte totale de l'autonomie (Durand et al., 2015).

Cette pathologie peut également toucher le jeune adulte après une irradiation pendant l'enfance (Cheung et al., 2016; Padovani et al., 2012), entraînant un déficit dans le développement neurocognitif et ayant pour conséquence de mauvais résultats académiques, une diminution de la mémoire, de l'attention et de la vitesse de traitement de l'information (Mabbott et al., 2008; Nagel et al., 2006; Reddick et al., 2003; Schatz et al., 2000). Elle entraîne des risques de dépression, d'anxiété et une diminution de la capacité à socialiser (Monje et al., 2007). Ces différents symptômes entraînent une diminution de la qualité de vie de ces patients (Goldsby et al., 2010; Sands et al., 2012).

3.3. Conclusion intermédiaire

Nous avons donc vu que les TC, qu'ils soient légers, modérés ou graves, impliquent dans 11 à 70% des cas une atteinte des fonctions exécutives, avec des conséquences sur le long terme. En effet, les TC étant une pathologie aiguë qui touche principalement les femmes et les hommes entre 15 et 25 ans, elle peut entraîner des problèmes d'insertion sociale et professionnelle dès le début de la vie active.

Nous avons également vu que la LPR, une pathologie chronique causée par la neurotoxicité des traitements anticancéreux touchait une personne sur deux à trois ans du traitement initial. Cette pathologie entraîne donc une perte de l'autonomie et des possibilités de maintien au domicile de la personne âgée.

Le diagnostic et la prise en charge précoces de ces deux pathologies permettent de récupérer tout ou partie l'usage de ces fonctions exécutives dans le cas des TC et de ralentir leur perte dans le cas de la LPR. Ce qui peut permettre de récupérer, ou maintenir, un niveau d'autonomie suffisant et donc le retour, ou le maintien, à domicile des patients.

Ainsi, le meilleur moyen de limiter les conséquences sociétales et le coût de la prise en charge des TC et de la LPR est de pouvoir les diagnostiquer le plus précisément possible dès l'apparition des premiers symptômes au moyen de bilans neuropsychologiques reposant sur des tests neuropsychologiques et, lorsque cela est possible, sur des tests « écologiques ».

Le coût estimé des conséquences de l'ensemble des pathologies cérébrales (et donc, notamment des TC et de la LPR) est en France de 107 301 millions d'euros et de 797 725 millions d'euros en Europe. Cet indicateur, bien que limité, permet de chiffrer l'importance de l'impact sociétal de la bonne prise en charge et du maintien de l'autonomie dès le début de l'apparition dès que les pathologies se manifestent, même lorsqu'elles semblent anodines, comme les TCL.

4. Le diagnostic des troubles dysexécutifs

De très nombreux tests dits de « laboratoire » existent pour diagnostiquer les différents troubles fonctions exécutives (Cristofori et al., 2019; Lezak et al., 2012; Snyder et al., 2015). Cependant, individuellement, ils ne sont que modérément sensibles (Godefroy et al., 2011; Lees et al., 2014; Moreira et al., 2014). Il est donc nécessaire de combiner plusieurs tests sous la forme de batteries afin de tester les différents changements comportementaux et cognitifs survenus chez le patient. Or, la nécessité de recourir à plusieurs tests pour obtenir un diagnostic soulève des problèmes en termes de faisabilité et de spécificité. En effet, l'augmentation du nombre de tests dans une batterie permet d'augmenter la sensibilité de celle-ci jusqu'à un plateau. Mais cette amélioration de la sensibilité est obtenue au détriment d'une diminution de la spécificité de 2,6% par test supplémentaire (Godefroy et al., 2014). Or, de par leurs structures et règles, ces tests ne peuvent être qualifiés d'*écologiques*, car ils ne peuvent refléter correctement les activités et les conditions de la vie quotidienne (Constantinidou et al., 2012; Lezak et al., 2012). Chaytor et Schmitter-Edgecombe (2003) ont montré, dans une revue de la littérature d'études empiriques de la validité écologique des résultats des tests neuropsychologiques et du fonctionnement quotidien des patients, qu'il y avait une variabilité considérable dans le choix des tests neuropsychologiques et dans les mesures utilisées, y compris au sein d'un même domaine cognitif. Elles ont constaté que ces études ignoraient fréquemment la question de la spécificité des tests et des mesures utilisées. Par exemple, bon nombre de ces études ne précisaient pas *a priori* quels tests neuropsychologiques devraient être liés à des mesures spécifiques du fonctionnement quotidien et lesquels ne devraient pas l'être. Indépendamment de ces problèmes méthodologiques, les tests de mémoire présentaient la meilleure validité écologique, tandis que les tests des fonctions exécutives présentaient la validité écologique la plus faible.

Les patients ayant des capacités de contrôle cognitif réduites éprouvent souvent des difficultés à réaliser les tests de contrôle cognitif hiérarchisé. Par exemples, ceux ayant des troubles de planification auront des problèmes pour compléter des tâches nécessitant plusieurs étapes pour atteindre le but final (Chevignard et al., 2000; Goel et al., 2013; Gouveia et al., 2007; Shallice & Burgess, 1991; Zanini et al., 2002). Pourtant, souvent, ces déficits dans la réalisation des

activités quotidiennes ou entraînant des modifications du comportement ne sont pas relevés par les tests neuropsychologiques les plus utilisés (Eslinger & Damasio, 1985; Shallice & Burgess, 1991). Mesulam (1986) a également souligné que les changements comportementaux associés aux lésions du lobe frontal sont presque impossibles à quantifier à l'aide de tests et des batteries neuropsychologiques traditionnels. Ce paradoxe survient probablement à cause de l'écart entre les mécanismes fondamentaux pris séparément et étudiés en laboratoires et la complexité des situations rencontrées dans la vie quotidienne dont l'espace des possibilités n'est pas fini¹² (Badre & Desrochers, 2019).

C'est pourquoi plusieurs tests basés sur les performances de réalisation d'une tâche simulant une partie de cette complexité ont été proposés au fil des ans (Poncet et al., 2017). Cependant, ces tests, par la nature de leurs consignes ou de leurs conditions de passation présentent des limites dans leur reproductibilité. Pour diminuer ce biais, certains tests nécessitent une formation avant d'être mis en place dans les services hospitaliers afin de permettre une notation homogène (Poncet et al., 2015). Finalement, la nature des tâches utilisées pour les tests peut entraîner des situations à risque pour le patient.

¹² « Open-ended complexity » en anglais

4.1. Les tests neuropsychologiques utilisés en pratique clinique courante en neurologie

4.1.1. La batterie de Test neuropsychologique du Groupe de réflexion sur les évaluations cognitives en oncologie (Grec-Onco)

Chez les patients souffrant d'une Leucopathie Post-Radique adressés au service de neurologie de l'HIA Percy, l'impact de la pathologie sur les fonctions exécutives a été quantifié grâce à la batterie de test développée par le Grec-Onco, une commission du Groupe de Réflexion sur les Évaluation Cognitive (GRECO) selon les recommandations de *l'International Cancer and Cognition Task Force* (Wefel et al., 2011). Bompaire (2012) a décrit la batterie de tests utilisée dans le cadre de l'étude Onco-NeuroTox. Elle est composée des tests suivants :

- **Questionnaire de latéralisation d'Edinburgh**, établi par Oldfield (1971). Il permet d'évaluer le coefficient de latéralisation manuelle du patient. Il peut être complété par une mise en situation écologique. L'étude de la latéralisation permet d'analyser les liens de corrélation entre les troubles neuropsychologique et les anomalies cliniques et d'imagerie.
- **Le niveau culturel** est déterminé selon le nombre d'année d'étude à partir de l'école primaire (le Cours Préparatoire est considéré comme la première année d'étude, la Terminale avec le baccalauréat comme la douzième et les années d'études post-baccalauréat « comptent » également). Les redoublements ne sont pas décomptés.
- **L'Echelle de Mattis (1976), ou *Dementia Rating Scale***. Elle comporte cinq sous-échelles avec un nombre de points maximum pour chacune des fonctions testées : Attention (notée sur 37), initiation verbale (notée sur 30), initiation motrice (notée sur 7), construction (notée sur 6) conceptualisation (notée sur 39), mémoire (notée sur 25). Le score maximal est de 144.

- **L'échelle de Mattis** est peu sensible à des niveaux d'efficacité proche de la normale. Cependant, elle a l'avantage de mesurer l'efficacité intellectuelle à des niveaux où l'utilisation des outils classiques est limitée par des effets plancher. En effet, sa construction permet de proposer au patient les items les plus complexes et les plus exigeants – validant, en cas de réussite, les items les plus simples et de bas niveau. En cas d'échec seulement, des items « optionnels » plus simples sont proposés, permettant de quantifier le degré d'altération de la fonction cognitive testée. Elle permet, en outre, de donner des informations sur différentes fonctions cognitives précises (contrairement à d'autres échelles globales). Elle permet enfin le suivi longitudinal de l'efficacité des patients (quantification d'éventuelle dégradation). Néanmoins, il n'existe pas d'étalonnage satisfaisant pour l'ensemble de la population et tenant compte de l'âge et du niveau culturel du patient. D'après le GRECO, le seuil pathologique est 122, si l'on fixe la barre à deux écarts-types. Le seuil pathologique des différentes sous-échelles est de 31 pour l'attention, 28 pour l'initiation, 3 pour la construction, 31 pour la conceptualisation, 18 pour la mémoire (Mattis, 1976; Schmidt et al., 1994)
- Le **Mini Mental State Examination** (MMSE ; Folstein et al., 1975) est un instrument d'évaluation des fonctions cognitives global conçu pour un dépistage rapide des déficits cognitifs. Il sert à classer les patients selon un stade de gravité. Néanmoins, le MMSE possède certaines limites et en particulier ne permet pas, à lui seul, de définir la nature du déficit cognitif ni de porter le diagnostic de démence. Il est composé d'une série de questions regroupées en sept sous-tests : orientation, apprentissage mnésique, attention et calcul, rappel, langage et praxies constructives. Le seuil discriminant, tous âges et tous niveaux socio-culturels confondus, est de 24/30 (un score inférieur à 24 est considéré comme anormal).
- Le **Montréal Cognitive Assessment** (MoCA ; Nasreddine et al., 2005) est une échelle conçue pour l'évaluation du fonctionnement cognitif global destiné aux personnes âgées présentant un déclin cognitif. Elle est composée de différentes sous-échelles permettant de mesurer les domaines cognitifs fréquemment atteints dans ce contexte : le fonctionnement exécutif et visuospatial, les capacités de dénomination, attentionnelles, le langage, l'abstraction, la mémoire et l'orientation temporo-spatiale. Le score maximum est de 30 points (ajout d'un point supplémentaire pour les personnes ayant un niveau d'études inférieur à 12 années) et un score inférieur ou égal à 25 est considéré pathologique.

- Le test du Rappel Libre / Rappel indicé, ou « **RL/RI 16** » (version française du test de Grober & Buschke, 1987) comporte seize mots de seize catégories sémantique différentes. Le test débute par une phase de contrôle de l'encodage et un rappel indicé immédiat. Ensuite le patient exécute trois rappels libres et trois rappels indicés avec une tâche interférente. Cette phase est suivie d'une phase de reconnaissance (présentation des 16 mots associés à 32 items distracteurs) et enfin d'un rappel libre et indicé différé de 20 minutes (Rappel 1 Libre, Rappel 2 Libre et Indice, Rappel 3 Libre et Indice et score total sur 48). Ce test permet de distinguer un trouble de l'évocation d'un déficit de l'encodage. Dans le déficit d'encodage, l'apprentissage est faible, les épreuves de facilitation (indication et reconnaissance) peu efficaces, et la production d'intrusions et de fausses reconnaissances typique. Les normes utilisent deux types d'étalonnage (en écarts-réduits et en centiles). Elles tiennent compte de l'âge du patient, du sexe et du niveau socio-culturel. L'étalonnage en écarts-réduits est utilisé pour définir les normes des trois rappels libres et du rappel différé.
- Des équations de régression ont pu être établies pour la détermination des valeurs normales de chacun des rappels libres de la RL/RI 16. Cette méthode comporte un risque de produire des estimations moins précises pour les participants dont les résultats dévient fortement de la moyenne, par le phénomène de régression vers la moyenne. Cela peut conduire à sous-estimer les résultats des patients dont le niveau mnésique pré-morbide était très supérieur à la moyenne, et à surestimer ceux des patients dont le niveau était nettement inférieur. Il a été démontré que les variables sociodémographiques ont une influence sur les performances, que les performances des participants normaux aux rappels libres dépendent surtout de l'âge (entre 18 et 23%) et secondairement du genre et du niveau socio-culturel (entre 2 et 3 %)
- Les **empans endroit et envers** étudient la mémoire verbale de travail qui permet le stockage temporaire et la manipulation d'information (Baddeley & Hitch, 1974).
 - L'empan endroit évalue les capacités attentionnelles et la mémoire auditive séquentielle. Il peut être modifié si le sujet est anxieux. La valeur « normale » obtenue est de 7+2 chez l'adulte.
 - L'empan envers évalue la mémoire de travail. Normalement, l'empan de chiffre à l'envers est censé être de 1 à 2 chiffre inférieur à celui des chiffres à l'endroit selon les groupes d'âge. Si l'empan de chiffre à l'envers est égal ou supérieur à celui des chiffres à l'endroit, cela est indicatif d'excellentes stratégies exécutives

et de l'utilisation préférentielle d'un mode d'évocation visuelle venant suppléer une attention auditive défaillante.

- Le test des **fluences verbales et catégorielles**, avec erreur et doubles. Les tâches de fluence verbales sont classiquement utilisées en neuropsychologies pour évaluer les capacités d'initiation verbale, la stratégie de recherche lexico-sémantique et l'intégrité lexico-sémantique (voir Cardebat et al., 1990 pour la version française). Le patient doit donner en deux minutes tous les noms appartenant à une même classe, c'est la fluence lexicale catégorielle, puis tous les mots communs débutant par une lettre donnée, c'est la fluence lexicale alphabétique (ou littérale). Les résultats à ce test suggèrent que les deux types de fluences verbales littérale et sémantique sont altérées lors de pathologie frontale et que ce déficit est lié à une altération de la recherche stratégique (Joyce et al., 1996).
- La **DO 80** est un outil, standardisé en langue française, permettant de quantifier les troubles de la dénomination chez des sujets adultes et d'évaluer le type de dysfonctionnement, en référence aux mécanismes impliqués dans le processus normal de dénomination d'une image simple. Schématiquement, les modèles de dénomination distinguent 3 niveaux : l'analyse perceptive de l'image, l'accès aux informations sémantiques stockées en mémoire et la sélection du nom correspondant. Il est composé de 80 images en noir et blanc. Il a pour intérêt de proposer un nombre important d'item et reste toutefois facilement utilisable dans le cadre d'un examen clinique standard. Les seuils de normalité ont été établis en considérant quatre groupes constitués par le croisement de la durée de scolarité et de l'âge.
- Le **Paced Auditory Serial Addition Test (PASAT)** est un test, mis au point par Gronwall (1977) pour évaluer les troubles cognitifs. Il consiste à effectuer des additions de chiffres entendus toutes les 4 secondes, le patient devant additionner les 2 derniers chiffres entendus (un chiffre toutes les 4 secondes) et donner le résultat oralement à l'examineur. Le patient réalise au total soixante additions. Ce test permet d'évaluer la vitesse de traitement des informations et la mémoire de travail. Il est sensible aux situations de concentration divisée, d'attention sélective et soutenue. Ce test sollicite également les capacités de résistance à l'interférence, de *shifting*, de vitesse de traitement de l'information et de calcul mental du patient. Une étude néerlandaise (de Vries et al., 1992) a montré que les résultats étaient corrélés à deux tests étudiant l'attention : le Digit Symbol et le d2-test.

- **Le Trail Making Test** est un test fréquemment utilisé dans le cadre d'une évaluation des fonctions exécutives. Il teste la flexibilité cognitive en faisant intervenir les capacités attentionnelles, visuomotrices (la recherche visuelle), la flexibilité réactive ainsi que la vitesse de l'action. Il est composé de deux parties : dans la première, la personne doit relier des chiffres disposés aléatoirement sur une feuille de papier dans un ordre numérique croissant. Cette partie engage principalement les capacités visuomotrices et la vitesse perceptive. Dans la seconde partie, la personne relie en alternant des chiffres et des lettres en respectant l'ordre numérique et l'ordre alphabétique (1-A-2-B-3-C...). Cette partie fait intervenir la flexibilité réactive, la mémoire de travail et également la vitesse perceptive et la recherche visuelle. La différence entre les temps de réalisation (partie A – B) fournit un indicateur de la flexibilité réactive, car elle permet de minimiser l'effet de la capacité de recherche visuelle (Meulemans, 2008).
- **La Figure complexe de Rey-Osterrieth** (Osterrieth, 1944) est couramment utilisée en neuropsychologie clinique pour évaluer les capacités visuospatiales, les capacités visuoconstructives et de planification, ainsi que la mémoire épisodique visuelle. Le sujet doit dans un premier temps copier une figure géométrique complexe et abstraite. Pour l'évaluation de la mémoire épisodique visuelle, après une période impartie (deux à trois minutes pour le rappel à court terme ou 20-30 minutes pour le rappel à long terme) le sujet doit reproduire la figure sans se servir le modèle.
- **Le test de Stroop** permet d'évaluer les processus inhibiteurs. Lors du test, le sujet doit inhiber un processus automatique – la lecture du nom d'une couleur, pour fournir une réponse de dénomination non congruente – nommer la couleur de l'encre dans laquelle le mot est imprimé et qui ne correspond pas au mot écrit. Le ralentissement produit par cette interférence a été initialement décrit par Stroop (1935). Le test comprend trois conditions. La condition « dénomination », dans laquelle le sujet doit nommer des rectangles de couleur présentés sur une fiche, sur plusieurs lignes. La deuxième condition, « lecture », dans laquelle le sujet doit lire les noms des couleurs présentés sur une fiche, imprimés en noir, le plus rapidement possible. La troisième condition, « interférence », dans laquelle le sujet doit nommer les couleurs sans lire le mot écrit. Les noms de couleurs sont imprimés dans des couleurs ne correspondant pas aux mots écrits (par exemple, « ROUGE » imprimé en vert). Un index d'interférence peut être calculé

à partir des temps d'exécution des conditions dénomination et interférence. Les erreurs aux différentes conditions peuvent également être pris en compte (Meulemans, 2008).

- Le **Computerised Speed Cognitive Test (CSCT)** a été mis au point pour évaluer le ralentissement du traitement de l'information (Ruet et al., 2013). Il a été inspiré du *Symbol Digit Modalities Test* (A. Smith, 1982) où la personne doit associer le plus rapidement possible des chiffres à une série de symboles suivant un modèle de correspondance. La version informatique de ce test génère des correspondances entre les chiffres et les symboles à chaque lancement du logiciel, afin de permettre son utilisation en suivi longitudinal en minimisant les effets d'apprentissage.
- **L'Index du Syndrome Dysexécutif Comportemental (l'ISDC)** est un hétéro-questionnaire mis au point par le Groupe de Réflexions pour l'Évaluation des Fonctions Exécutives (GREFEX) Cet outil permet d'évaluer le syndrome dysexécutif comportemental dans le contexte d'atteintes neurologiques diverses (Godefroy, 2008). Il est composé de douze sous échelles permettant d'évaluer, dans les grandes lignes, des comportements tels qu'une hypoactivité, une hyperactivité, les persévérations et les comportements stéréotypés, la dépendance environnementale, l'anosognosie (Meulemans, 2008).

Cette batterie de tests permet de tester les fonctions cognitives les plus fréquemment impactées par les tumeurs cérébrales et/ou la neurotoxicité des traitements. Elle permet donc de tester en théorie le fonctionnement global, la mémoire, la vitesse de traitement de l'information, les fonctions exécutives et attentionnelles, le langage, le syndrome dysexécutif comportemental et l'autonomie. Cependant, elle fait face à trois limites, certaines normes de tests sont incomplètes et ont été amenées à évoluer au cours du temps et donc ne permettent pas un suivi longitudinal (Durand et al., 2016), chacune des fonctions est testée indépendamment, et non pas au cours d'une tâche complexe et elle suppose qu'au moins une de ces fonctions est atteinte.

4.1.2. La batterie de tests “Test of Attentional Performance” (TAP)

Chez les patients ayant eu un Traumatisme Crânien adressés au service de Neurologie de l’HIA Percy, l’impact de la pathologie sur les fonctions exécutives est qualifié avec la batterie de tests informatisée TAP, qui permet la mesure de l’attention visuelle, spatiale et divisée, la flexibilité et l’inhibition (Zimmermann & Fimm, 2002). Elle est constituée des tests suivants :

- Un **test d’alerte phasique** basé sur les travaux de Rafal et Posner (1987). Il inclut une tâche de réaction chronométrée simple ou avec indices visuels et un signal acoustique. La gamme des temps de réaction est particulièrement intéressante dans la mesure où elle présente une grande variabilité, qui peut être l’expression de « pertes d’attention » (van Zomeren & Brouwer, 1987).
- Un **test d’attention divisée** reposant sur une double tâche censée évaluer la capacité d’attention, selon Kahneman (1973), en minimisant l’étendue de l’interférence structurelle entre les deux tâches. La tâche visuelle consiste en des croix qui apparaissent dans une configuration aléatoire dans une matrice 4×4 . Le sujet doit détecter si les croix forment les coins d’un carré. La tâche acoustique comprend une séquence régulière de bips aigus et graves. Le sujet doit détecter une irrégularité dans la séquence.
- Un **test d’attention soutenue** reposant sur une des quatre tâches avec des stimuli différents (trois tâches unimodales : une acoustique, deux visuelles ; et une tâche bimodale : visuoacoustique). Chaque tâche peut être exécutée avec un taux d’événement élevé ou faible de stimuli critiques. Les différentes formes de test dans différentes modalités ont été choisies parce que les canaux sensoriels ou l’intégration d’informations provenant de différents canaux peuvent être altérés de manière sélective (Beaumont, 1983; Mesulam, 1981; Mirsky, 1989; Wagensohnner & Zimmermann, 1991). Il est à noter que les patients ont été testés avec la tâche basée sur les stimuli visuels de forme et de couleurs.
- Un **test Go/No Go** reposant sur deux tâches Go/No Go différentes ont été réalisées : une forme facile avec seulement deux stimuli (une croix verticale et une croix inclinée), et une version avec une charge mémoire plus élevée avec cinq stimuli, des carrés avec des textures différentes, où deux sont des cibles.

- Un **test de Flexibilité** qui repose sur une alternance entre deux séries d'objectifs. Il existe deux alternatives pour le test, une version verbale et une version non verbale. Dans la version verbale, les ensembles de cibles se composent de lettres et de chiffres ; dans la version non verbale des formes angulaires et rondes. Pour les tests, deux stimuli, un de chaque série, sont présentés simultanément et de manière aléatoire sur le côté gauche ou droit du point de fixation. D'une présentation à l'autre, la cible passe soit de la lettre au chiffre, soit des formes angulaires aux formes rondes et vice versa. Le sujet doit appuyer le plus rapidement possible sur la touche située sur le côté de la cible (gauche ou droite). Il est à noter que les patients ont été testés avec la version basée sur la version verbale
- Un **test d'inhibition** évaluant la capacité d'attention focalisée, c'est-à-dire la capacité de rejeter des informations non pertinentes (focused attention déficit, FAD ; Schneider & Shiffrin, 1977). Une telle FAD a été décrite chez des patients présentant des lésions frontales sous forme de tendances interférentielles (Drewe, 1975; Luria, 1966; Mesulam, 1986). Cette tendance est testée par une incompatibilité stimulus-réponse (ex. Fitts & Seeger, 1953; Nicoletti et al., 1982). Des flèches pointant vers la gauche ou la droite sont présentées à gauche ou à droite du point de fixation sur l'écran. Le sujet doit appuyer sur une touche du côté indiqué par le sens de la flèche – indépendamment de la position de la flèche. La condition est classée comme compatible si le côté de présentation de la flèche et le côté de réponse sont conformes, et incompatible dans le cas contraire.
- Un **test de mémoire** de travail utilisant une tâche nécessitant un contrôle continu du flux d'informations à travers la mémoire à court terme. Des nombres sont présentés sur l'écran qui doivent être comparés à des nombres précédemment présentés. La répétition d'un nombre dans un court intervalle doit être signalée en appuyant sur une touche. Le test peut être administré avec trois niveaux de difficulté.

A cette batterie informatisée s'ajoute le test des fluences verbales, le CSCT, l'ISDC et le test des empan mnésiques également utilisés dans la batterie du Grec-Onco (cf. partie 0)).

Cette batterie de test permet donc de tester principalement les problèmes liés aux troubles de l'attention. Cependant, nous avons vu que ces problèmes n'étaient pas les seuls présents chez les patients ayant subi un traumatisme crânien.

4.1.3. Les autres tests utilisés couramment pour qualifier les troubles des fonctions exécutives

En plus des tests utilisés dans les deux batteries utilisées à l'HIA Percy, de nombreux autres tests neuropsychologiques existent, évaluant une ou plusieurs fonctions exécutives. Ils sont souvent classés en fonction de la fonction exécutive principale qu'ils évaluent (Lezak et al., 2012). Ils permettent notamment la quantification et la qualification des troubles de l'inhibition (Tableau 4), de la mémoire de travail (Tableau 5), de la flexibilité cognitive (Tableau 6).

Parmi ces tests, les plus communément utilisés sont le Wisconsin Card Sorting Test, le Six Elements Test et le test de la Tour de Londres car ce sont ceux qui ont les meilleures caractéristiques psychométriques.

En tant que batterie de test, la CANTAB (Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery; Fray et al., 1996; Robbins et al., 1994) et la BADS (*Behavioural Assessment of Dysexecutive Syndrome* – Wilson et al., 1996) sont régulièrement utilisées pour quantifier les troubles des fonctions exécutives. Ces batteries présentent les avantages de proposer plusieurs tests permettant une évaluation rigoureuse et d'avoir des normes standardisées permettant de faire des comparaisons entre les études sur les troubles des fonctions exécutives. Cependant, ces batteries de tests n'incluent pas systématiquement de test permettant d'évaluer l'ensemble des fonctions exécutives présentes dans les modèles actuels. Par exemple, la CANTAB présente des tests sur la mémoire de travail visuospatiale, la planification et la capacité à changer de tâches, mais pas de tests sur les autres fonctions exécutives (Snyder et al., 2015).

Étant données leurs règles, leurs structures et leurs conditions de passation, ces tests et ces batteries de tests donnent des résultats qui peuvent ne refléter que de manière partielle la réalité de l'impact des troubles des fonctions exécutives sur le niveau d'autonomie et la capacité du patient à réaliser des tâches de la vie quotidienne dans de bonnes conditions (Constantinidou et al., 2012; Lezak et al., 2012). En effet, le praticien (souvent un orthophoniste qualifié ou un neuropsychologue) doit expliciter de façon claire et précise le but de la tâche à réaliser, les consignes et les procédures du test. Il doit mettre en place plusieurs séquences de démonstration et répéter les consignes du test afin de s'assurer que le patient a bien compris la tâche qu'il devait réaliser, parfois à plusieurs reprises, ou modifier le temps d'appropriation des consignes par le patient, sans nécessairement le notifier à chaque fois, de manière consciente ou non,

modifiant ainsi les conditions de passation et donc empêchant une comparaison rigoureuse aux standards neuropsychologiques établis (Sbordone, 1996, 2014). De plus, les distractions de la vie réelle ne sont pas présentes car l'environnement est contrôlé lors de la passation des tests. Finalement, la nature des tâches utilisées pour ces différents tests est totalement artificielle et ne reflète aucunement les activités de la vie réelle et quotidienne.

C'est ainsi que certains patients peuvent présenter de nombreuses difficultés à réaliser ces tâches alors qu'ils présentent des performances cognitives normales aux tests des fonctions exécutives. En conséquence, il y a un consensus sur le fait qu'il est important de quantifier l'impact des troubles des fonctions exécutives dans un environnement *écologique* avec des tests utilisant des tâches de la vie quotidienne (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003; Chevignard et al., 2000; Cripe, 1996; Eslinger & Damasio, 1985; Fortin et al., 2003; Goldstein et al., 1993; Lezak, 1982; Shallice & Burgess, 1991; Stuss & Benson, 1986).

Tableau 4 - Tests permettant de qualifier les troubles de l'inhibition

Nom du Test	Références bibliographiques	Brève description du test
Test de Simon	Hommel (2011)	Les tâches Simon présentent deux règles très simples : Pour le stimulus A, appuyez sur la gauche ; pour Stimulus B, appuyez sur la droite. Un seul stimulus apparaît à la fois ; l'un ou l'autre stimulus peut apparaître à droite ou à gauche.
Tâche de Flanker	Eriksen & Eriksen (1974) ; Mullane et al. (2009)	La tâche Flanker requiert une attention sélective ; vous devez vous occuper du stimulus présenté au centre et ignorer les stimuli adjacents qui l'entourent. Lorsque les stimuli adjacents sont mappés à la réponse opposée au stimulus central (essais incompatibles), les sujets répondent plus lentement en raison de la nécessité d'exercer un contrôle descendant.
Tâche antisaccade	Luna (2009) ; Munoz & Everling (2004) ; Roberts et al. (1994)	Regardez dans la direction opposée du repère visuel pour détecter une cible brièvement présentée.
Stop-Signal Task	Logan (1994) ; Verbruggen & Logan (2008)	Pour la tâche de "stop-signal", le signal de départ est présenté à tous les essais mais sur une minorité d'essais après le signal de départ et juste au moment où le sujet est sur le point de répondre, un signal d'arrêt apparaît (généralement un son), indiquant qu'il ne faut pas appuyer sur le bouton de cet essai.
Hayling Sentence completion test	Burgess & Shallice (1996)	Le test demande de lire des phrases où le dernier mot est omis mais très prévisible. Il faut d'abord compléter les phrases correctement (partie A), puis avec un mot sans rapport (partie B).
Brixton Spatial Anticipation Test	Burgess & Shallice (1996)	Ce test de formation de concept utilise 56 éléments visuels presque identiques pour tester la capacité à reconnaître une règle qui tient compte de légères variations de modèle d'un élément à l'autre. Chaque élément est une carte imprimée avec dix (deux rangées de cinq) cercles, dont un est coloré tandis que les autres sont blancs. La position de chaque cercle coloré suivant est déterminée par l'une des neuf règles basées sur les positions du cercle coloré sur les cartes

		<p>précédentes. Lorsqu'on lui dit que le cercle coloré « se déplace selon divers motifs qui vont et viennent sans avertissement », le sujet est invité à indiquer la position attendue du cercle coloré sur la carte suivante. Pour la première règle et la plus simple, le cercle coloré avance d'une position dans le sens des aiguilles d'une montre sur les cartes successives - c'est également la règle pour deux autres sections d'essai ; une règle ultérieure fait alterner le cercle de la place 5 à la place 10. Étant donné que certaines règles durent aussi peu que trois séquences d'items et d'autres jusqu'à huit, le sujet ne peut pas anticiper les changements de règles. En tant que telle, la tâche semble imposer une forte demande à la mémoire de travail pour rappeler la relation entre les séquences de cartes précédentes</p>
--	--	--

Tableau 5 - Tests permettant de qualifier les troubles de la mémoire de travail

Nom du Test	Références bibliographiques	Brève description du test
Corsi-Block	Lezak et al. (2012) ; Milner (1971)	Il se compose de neuf cubes noirs de 3,8 centimètres fixés dans un ordre aléatoire à un tableau noir. Chaque fois que l'examineur tape sur les blocs dans une séquence préétablie, le patient doit essayer de copier ce modèle de tapotement.
Test de Pointage de Petrides	Petrides et al. (1993) ; Petrides & Milner (1982)	Les tests demandant des réponses auto-ordonnées évaluent l'utilisation de stratégies et l'auto-surveillance. Dans le test de pointage auto-ordonné, à chaque essai, l'examineur demande aux sujets de pointer un stimulus parmi un éventail de stimuli non vus lors des essais précédents
N-Back Task	Owen et al. (2005) ; Verhaegen & Basak (2005)	Cette tâche demande au sujet de signaler lorsqu'un stimulus présenté en série est le même qu'un élément « n » étape en arrière par rapport à l'élément présenté. Pour la condition "2-back", si la séquence était 8-7-1-8-6-3-6, le sujet devrait dire "oui" après le deuxième 6.

Tableau 6 - Tests permettant de qualifier les troubles de la flexibilité cognitive

Nom du Test	Références bibliographique	Brève description du test
Wisconsin Card Sorting Test (WCST)	Berg (1948) ; Milner (1964) ; Stuss et al. (2000)	La tâche du patient est de placer les cartes une à une à côté de quatre cartes de stimulus - un triangle rouge, deux étoiles vertes, trois croix jaunes et quatre cercles bleus - selon un principe que le patient doit déduire du schéma des réponses de l'examineur au placement des cartes par le patient. Par exemple, si le principe est la couleur, le placement correct d'une carte avec des symboles rouges (de n'importe quel nombre ou forme) est sous le triangle rouge, quelle que soit la forme ou le nombre, et l'examineur dira au sujet si la réponse était " vrai ou faux." Le sujet commence simplement à placer des cartes et l'examineur indique si chaque placement est correct ou non. Le placement peut être correct pour une catégorie non-cible ainsi qu'une catégorie cible, telle que la correspondance à la fois de la couleur et de la forme, de sorte que la rétroaction est ambiguë sans plus d'essais. Après une série de dix placements corrects d'affilée par le sujet, l'examineur modifie le principe, indiquant le changement uniquement dans le modèle modifié de réponses « bonnes » et « incorrectes ». Ainsi, il n'y a pas d'avertissement explicite que le principe de tri a changé subitement. Le test commence par la couleur comme base de tri, passe à la forme puis au nombre, puis revient en arrière dans les trois principes de tri (couleur, forme, nombre). L'examineur continue jusqu'à ce que le sujet ait effectué six séries de dix placements corrects ou jusqu'à ce que toutes les cartes aient été placées.
Epreuve arithmétique de Luria	Luria & Tsvetkova (1967) ; Aubin et al. (1997)	Ces problèmes n'impliquent pas beaucoup de compétences mathématiques. Ils demandent implicitement au sujet de faire des comparaisons entre les éléments du problème, et ils contiennent des opérations intermédiaires qui ne sont pas spécifiées
Six Elements Test	Shallice & Burgess (1991)	Cet ensemble de tâches a été développé pour évaluer l'autorégulation et l'auto-surveillance en fournissant aux sujets une situation non structurée dans laquelle ils ont le contrôle des tâches sur lesquelles travailler et de la durée de travail sur chacune. Les participants sont invités à effectuer au choix deux des six tâches (deux séries de trois tâches) possible en 15 minutes, de manière à maximiser leurs scores. Les trois tâches différentes sont :

		<p>(1) Sous-tâches Nommer A et Nommer B : Ces sous-tâches consistent à écrire les noms d'objets présentés sous forme d'images dans deux cahiers intitulés « Désigner A » et « Désigner B. » Chaque cahier contient 50 images.</p> <p>(2) Sous-tâches d'arithmétique A et d'arithmétique B : ces sous-tâches demandent aux participants de répondre à des problèmes d'addition, de soustraction, de multiplication et de division imprimés sur des « flashcards ». Chaque jeu de « flashcard » contient 30 problèmes différents, par ordre de difficulté croissante.</p> <p>(3) Dictée A et Dictée B : Ces sous-tâches demandent aux participants de donner des descriptions orales de (A) comment ils sont arrivés à l'endroit où ils sont testés, et (B) leur itinéraire prévu pour rentrer chez eux. Les réponses sont enregistrées. Les participants reçoivent cinq règles spécifiques pour ces tâches - les règles sont conçues pour les inciter à examiner attentivement les tâches sur lesquelles travailler et pendant combien de temps : Vous n'êtes pas autorisé à effectuer deux sous-tâches du même type l'une après l'autre. Chacune des six sous-tâches reçoit le même poids. Dans les sous-tâches Nommage et Arithmétique, des points seront attribués pour les bonnes réponses. Pour les images/problèmes, les éléments antérieurs recevront plus de crédit que les derniers. Les erreurs et les omissions comptent contre le sujet et diminuent son score.</p>
Tower of London	Shallice (1982)	<p>Pour arriver à la meilleure solution (la plus directe, celle avec le moins de mouvements) du test de la Tour de Londres, le sujet doit planifier en avance l'ordre des mouvements nécessaires pour réorganiser trois anneaux ou boules de couleur à partir de leur position initiale sur deux des trois tiges verticales pour un nouvel ensemble de positions prédéterminées sur une ou plusieurs des tiges</p>

4.2. Les tests écologiques existants

De nombreux tests dit « écologiques » existent (Tableau 7 ; Cristofori et al., 2019; Lezak et al., 2012; Poncet et al., 2017), mais, ils présentent, comme les tests neuropsychologiques, des limites.

Ils peuvent nécessiter l'avis de l'accompagnant du patient pour être permettre la comparaison entre les questionnaires auto-complétés et l'état réel du patient (Cristofori et al., 2019; Godefroy, 2004). Ils peuvent avoir une validité limitée, que ce soit du point de vue de la nature des construits utilisés ou des statistiques mis en place lors du processus de validation (Poncet et al., 2017). Finalement, la nature des tâches mis en place peut également être une source de variabilité due aux différents niveaux d'habitudes des patients face à la tâche proposées et rendre la reproduction de l'analyse complexe pour les examinateurs, nécessitant pour plusieurs d'entre eux une session de formation pour permettre un entraînement à l'établissement du score du test et pour permettre de réaliser son analyse (Bottari et al., 2009; Fisher & Jones, 2010; Poncet et al., 2009, 2017; Schwartz et al., 1998). Parmi ces nombreux tests, le Cooking Task Test, développé par Chevignard et al. (2000, 2008), est le celui qui est utilisé en routine, lorsqu'il est jugé nécessaire d'avoir un complément d'information par les neurologues sur la capacité du patient à reprendre des activités de la vie quotidienne à l'HIA Percy.

Il consiste pour le patient à réaliser une recette de gâteau au chocolat et une omelette dans l'environnement de cuisine du SmartFlat. Les consignes du test sont ouvertes et peu contraignantes pour le patient. La recette est présentée dans un classeur dédié. Il a à disposition tous les ingrédients et ustensiles nécessaire à la réalisation des deux recettes plus des ingrédients et des ustensiles excédentaires normalement présent en cuisine mais inutiles pour la tâche servant de « distracteurs ». Les résultats du test se basent sur l'analyse du nombre et du type d'erreurs descriptives faites par le patient pendant la tâche et qui sont ensuite classées dans un second temps en erreurs neuropsychologiques.

La passation du test nécessite la présence de deux examinateurs qui sont présent dans la cuisine mais qui n'interagissent avec le patient qu'en cas de danger. Les examinateurs doivent assister à une formation de quatre jours afin de pouvoir faire un relevé efficace des erreurs lors des passations. (Poncet et al., 2015). Ce test se base donc sur l'observation d'une tâche de la vie courante réalisée par le patient dans des conditions proches de la réalité.

Auger et al. (2006) ont défini les bonnes conditions de passation de tests écologiques en milieu hospitalier, ce qui a permis de soulever certaines limitations dans l'application du Cooking Task Test :

- Le fait que les patients soient obligés de rester en station debout afin de réaliser le test, ce qui impacte la réalisation de la tâche pour les personnes présentant des troubles posturaux.
- Le fait que les patients puissent avoir des comportements inappropriés ou socialement inadaptés, ce qui peut rendre le test dangereux pour eux-mêmes.
- Le fait que les patients ne puissent pas corriger leurs erreurs, ce qui peut limiter la mise en œuvre de stratégies de compensation.
- Le fait que les habitudes personnelles, ou l'absence de notions en cuisine peuvent avoir un impact sur la performance et donc le résultat du test.
- Finalement, le fait qu'il soit nécessaire d'acheter des ingrédients pour réaliser chacune des passations.

Lezak et al. (2012, p. 2425) soulignent que l'usage de jeu de construction pour enfants (notamment les jeux à base de brique de Lego®) ne devrait pas être négligé pour créer de nouveaux tests neuropsychologiques :

"The possibility of using children's building toys (e.g., Lego type plastic blocks, erector sets, Lincoln logs) for testing visuospatial functions should not be overlooked, although most of these have not been reported as standard assessment procedures and caution must be exercised in interpreting performances."

C'est pourquoi, afin de répondre à certain des biais observés dans la tâche de réalisation de gâteau au chocolat (Chevignard et al., 2008), nous avons décidé de créer un nouveau test se basant sur le même cadre théorique, une activité avec des consignes ouvertes reposant sur l'analyse de la performance. Ce test utilise une construction de briques de Lego® personnalisée dans un environnement à la fois naturel et contrôlé, le SmartFlat, pour obtenir un diagnostic à la fois plus fin et surtout, plus objectif (Campos, 2017). Il doit donc à la fois permettre de détecter, qualifier et quantifier le syndrome dysexécutif, mais également permettre de faire un suivi longitudinal des patients. Ainsi, une meilleure qualification des troubles des fonctions exécutives permettrait d'améliorer la prise en charge de ces patients, et donc, de réduire sur le long terme les coûts sociétaux qui y sont liés.

Tableau 7 - Tests écologiques permettant de qualifier les troubles des fonctions exécutives

Nom du test	Reference	Court descriptif
Activities of Daily Living Profile (ADL-Profile)	Dutil et al. (1994, 2002)	Ce test a pour objectif d'évaluer les principaux aspects du comportement qui sous-tendent l'autonomie dans les soins personnels, les activités ménagères et communautaires en utilisant l'analyse des tâches basée sur les fonctions exécutives dans un contexte écologique.
Assessment of Motor and Process Skills (AMPS)	Bernspng & Fisher (1995)	Cette évaluation des Activité de la Vie Quotidienne (AVQ) domestiques a été conçue pour mesurer comment le type et la gravité des déficiences se manifestent dans le contexte de l'exécution des AVQ. Il s'agit d'un test qui vise à déterminer si les déficiences sous-jacentes affectent ou non la capacité d'effectuer les tâches de la vie quotidienne.
Executive Function Performance Test (EFPT)	Baum et al. (2003; 2008) Cederfeldt et al. (2011) Cahn-Weiner et al. (2002)	Basé sur l'évaluation de la tâche de cuisine de Baum & Edwards (1993), ce test vise à évaluer les fonctions exécutives en nécessaire aux AVQ instrumentale et le niveau de soutien nécessaire pour que le patient réalise des tâches de la vie quotidienne. Il évalue la prise de conscience de la personne par rapport au handicap. Il a été conçu pour être utilisé pendant les soins aigus des personnes ayant subi un AVC.
Executive Function Route Finding Task (EFRFT)	Boyd & Sautter (1985; 1993) Cazalis et al. (1998)	Pour évaluer les fonctions exécutives (planification, détection et correction d'erreurs) dans une tâche ouverte « écologique ». Le patient est sensé trouver un bureau dans un campus qu'il ne connaît pas en partant d'un point de départ donné.
Instrumental Activities of Daily Living Profile (IADL Profile)	Bottari et al. (2009)	Basé sur le "ADL Profile" (Dutil et al., 1990) le "IADL Profile" vise à établir si les principales difficultés du sujet concernent la formation d'objectifs, la planification, la réalisation de la tâche et/ou l'atteinte de l'objectif initial de la tâche. Il cherche à montrer l'impact des déficits des fonctions exécutives sur l'indépendance.

Meal Preparation Scale (MPS)	Jongbloed et al. (1988)	Le but de ce test est d'évaluer les compétences en préparation de repas en prenant en compte les facteurs associés et les facteurs prédictifs de l'indépendance afin de faciliter la planification du retour au domicile des patients ayant eu un AVC
Multi-Level Action Test (MLAT)	Buxbaum & Coslett (1998) ; Hart et al. (1998)	Ce test mesure l'impact des TC et des AVC sur des activités écologiques et permet de comparer les tendances d'erreur dans ces groupes et chez les patients atteints de démence dégénérative. Il évalue la réalisation de trois tâches à faire en respectant quatre conditions différentes.
Multiple Errands Test (MET)	Shallice & Burgess (1991)	Le MET est une évaluation naturaliste basée sur la performance qui vise à mesurer le dysfonctionnement exécutif dans un environnement en constante évolution. Le participant est amené à réaliser une série de tâches de la vie quotidienne, faire des achats selon une liste de course donnée au préalable, se rendre à un endroit précis à un horaire précis et finalement rédiger une carte postale avec certaines informations obtenues pendant la réalisation des autres tâches.
Naturalistic Action Test (NAT)	Schwartz et al., (2001)	Ce test est une version simplifiée du MLAT, il vise à mesurer les déficiences lors d'actions écologiques et à fournir une estimation de sa sévérité. Il est plus court à réaliser que le MLAT et repose sur un système de notation plus simple
Rabideau Kitchen Evaluation – Revised (RKE-R)	Neistadt (1992, 1993, 1994)	Ce test évalue (i) la capacité de séquençage fonctionnel des adultes atteints de T.C. et (ii) la quantité d'indications du thérapeute nécessaire pour assurer le succès et la sécurité du patient. Il utilise la préparation de repas, décomposée en ses étapes élémentaire et le niveau de besoin d'aide de la part du patient comme marqueur de score
Rivermead ADL Assessment (R-ADL)	Whiting & Lincoln, (1980) ; Williams et al., (1976)	Pour fournir une évaluation des AVQ appropriée pour les personnes hémiplegiques, le test étudie la capacité du patient à réaliser des activités de soin à domicile et de la vie quotidienne indépendamment ou non
Iowa Gambling Test	Bechara et al. (1994)	Ce test repose sur un jeu de cartes qui modélise la prise de décision dans la vie réelle : en prenant en compte ensemble l'incertitude, la récompense et la punition. Le test crée explicitement un conflit entre l'attrait de la récompense immédiate et la punition probabiliste différée. Les choix

		doivent être faits sur la base des « intuitions » et des « sentiments » et dans de nombreux choix, il y a des risques et des incertitudes sans garantie certaine du résultat.
Cooking Task Test (CT)	Chevignard et al. (2000, 2008)	Ce test sert à évaluer la capacité des patients cérébrolésés atteints d'un syndrome dysexécutif à faire face dans un environnement écologique à un test nécessitant, la réalisation de deux tâches de cuisine en suivant des consignes ouvertes.
Le TinkerToy Test (TTT)	Lezak (1982)	<p>Ce test de construction donne aux patients l'opportunité, dans le cadre d'un examen formel nécessairement très structuré, de démontrer des capacités exécutives. Le TinkerToy Test permet aux patients d'initier, de planifier et de structurer une activité potentiellement complexe, et de la réaliser de manière autonome. Dans le cours normal de la plupart des examens neurologiques ou neuropsychologiques, ces fonctions sont exécutées par l'examineur ou sont rendues inutiles (ou même indésirables) en raison de la nature structurée du matériel de test et du nombre restreint de réponses possibles dans la plupart des tests de fonctions cognitives. Ainsi, ces fonctions restent généralement non examinées, bien qu'elles soient absolument essentielles au maintien de l'indépendance sociale dans une société complexe.</p> <p>Le Tinkertoy Test donne également au patient la possibilité de réaliser une construction « libre » sans les contraintes d'un modèle à copier ou d'une solution prédéterminée. L'interaction entre les fonctions exécutives et de construction limitera plus ou moins la mesure dans laquelle cette technique d'examen teste la capacité de construction de tout patient individuel. Son utilité en tant que test de construction variera, en grande partie, avec la productivité du patient.</p>

L'usage de tests neuropsychologiques classiques, de type « papier-crayon », est nécessaire pour quantifier les fonctions exécutives une à une, mais les conditions de passation et la nature très structurée de ces tâches ne permettent pas toujours de faire un diagnostic précis sur l'impact des troubles des fonctions exécutives liés à une pathologie sur la vie quotidienne du patient. L'usage de batterie de tests permet de prendre en compte plusieurs fonctions exécutives, mais avec une perte de la spécificité du diagnostic. L'usage des tests neuropsychologiques « écologiques » est donc nécessaire afin de pouvoir prendre en compte de façon intégrée les différentes fonctions écologiques et de pouvoir faire une meilleure analyse et faire un diagnostic plus fin sur l'impact de la pathologie sur la vie quotidienne du patient. Cependant, ces tests « écologiques », du fait de la nature de leur tâche, de l'environnement dans lequel elles ont lieu (par exemple, un centre commercial pour le MET) et étant donné les méthodes d'analyse mises en jeu (l'observation systématique par prise de note) sont difficilement reproductibles dans de bonnes conditions.

Finalement, plusieurs de ces tests sont sous copyright ou nécessitent de suivre des formations payantes, ce qui peut compliquer leur usage à grande échelle pour les praticiens.

Cependant, il existe plusieurs recommandations qui pourraient permettre de proposer de nouveaux tests neuropsychologiques « écologiques » possédant une validité et une disponibilité nécessaires pour un usage rigoureux et à grande échelle.

5. Un dénominateur commun, le comportement du patient – validité prédictive de la qualité de vie et de son autonomie

5.1. Les définitions de l'erreur

5.1.1. L'erreur selon Chevignard et al. (2000)

Chevignard et al. (2000) ont tout d'abord défini le but, le début et la fin de chacune des sous-tâches à réaliser pour accomplir les activités du test.

Lors des premières passations, les examinateurs ont fait un recueil exhaustif des actions réalisées par les patients et les sujets contrôles afin d'établir une liste des erreurs dans l'exécution des procédures.

Lors de la survenue d'une erreur, elle était tout d'abord catégorisée dans une seule des catégories « descriptives » (Tableau 8), puis selon le mécanisme neuropsychologique sous-jacent, elle pouvait être catégorisée dans aucune, une, ou plusieurs, des catégories neuropsychologiques (Tableau 9). Cette seconde classification ne pouvait être faite qu'avec un accord parfait entre les deux évaluateurs présents lors du test. Cette double classification pouvait donc entraîner une différence entre le nombre d'erreurs descriptives et le nombre d'erreurs neuropsychologiques.

Tableau 8 - Erreurs descriptives d'après Chevignard et al. (2000, 2008)

Erreur descriptive	Description de l'action
Omission	Toute action ou séquence d'actions normalement requise par la tâche qui est soit totalement omise, soit inachevée.
Addition	Toute action ou séquence d'actions additionnelle par rapport au nombre minimum d'actions nécessaires pour mener à bien la tâche.

	Les additions peuvent concerner des actions pouvant s'intégrer dans la tâche, qui est alors réalisée avec des « détours » ou alors des actions totalement étrangères à cette tâche.
Commentaire et question	Toutes questions, demandes d'aide ou commentaires des sujets, qu'ils s'adressent à l'un des examinateurs ou à une personne extérieure.
Substitution et inversion	Toute erreur d'objet (utilisation d'un objet pour un autre) ou utilisation d'un objet appartenant à la bonne catégorie, mais inadapté au but poursuivi (objet sale, dangereux...). Toute action ou séquence d'actions réalisée en dehors du cadre temporel où elle est censée se dérouler (erreurs de séquence).
Erreur d'estimation	Mauvaise estimation des quantités d'ingrédients ou d'ustensiles, de la taille d'un ustensile, du lieu ou du temps.

Tableau 9 - Erreurs neuropsychologiques d'après Chevignard et al. (2000, 2008)

Erreur neuropsychologique	Description de l'action
Erreur de vérification	Contrôle insuffisant ou erroné de la qualité des réponses produites. À l'extrême, cette vérification erronée ou absente peut être responsable de l'absence de réalisation du but. En effet, il est établi que le cortex préfrontal intervient dans le contrôle de l'efficacité des actes.
Absence de prise en compte du contexte	Évaluation erronée de l'environnement ; non-respect des consignes, du cadre défini de la tâche ou de la recette. Cette définition souligne le rôle du cortex préfrontal dans l'analyse et l'intégration continue des données de l'environnement pour adapter le comportement aux contingences environnementales afin d'atteindre le but poursuivi.
Adhérence à l'environnement	Action exécutée par adhérence du patient à un objet ou à un lieu. Ce type d'erreur fait partie des symptômes classiquement décrits au cours d'un dysfonctionnement frontal.
Errance et perplexité	Comportement produit sans but apparent, ne contribuant pas à faire progresser l'action, comportement d'inertie. Le cortex préfrontal intervient dans le maintien de l'activité dirigée vers un but ; il semble ainsi exister chez certains patients une perte de la représentation du but poursuivi, pouvant expliquer ces errances et ces comportements de perplexité.
Demande d'aide	Toute question ou demande d'aide du patient, qu'elle soit adressée à l'un des examinateurs ou à une personne extérieure. Ce type d'erreur souligne le rôle du cortex préfrontal dans la recherche et la mise en œuvre de stratégies compensatoires lorsque la solution à un problème n'est pas immédiatement accessible ; ainsi que le rôle

	structurant de l'examineur au cours de la passation des épreuves neuropsychologiques.
Trouble du comportement	Tout comportement socialement inadapté ou dangereux. Ces erreurs mettent en évidence le rôle du cortex préfrontal dans la régulation et l'adaptation comportementales en fonction de l'environnement.

Cependant, bien que la présence de deux examinateurs puisse permettre un relevé relativement exhaustif, il ne peut être complet et l'interprétation des erreurs reste sujette à la mémoire des évaluateurs. De plus, la catégorisation des erreurs descriptives en erreurs neuropsychologiques implique que l'évaluateur soit formé et soit capable de reconnaître les mécanismes neuropsychologiques sous-jacents. Finalement, cette évaluation nécessite la présence de deux évaluateurs formés à l'analyse, ce qui peut limiter son usage en pratique courante.

La démarche mise en place par Chevignard et al. (2000) est une démarche d'analyse de l'activité réelle, que l'on retrouve en ergonomie lors d'analyse d'activité ou de situation de travail.

Ces démarches s'appuient sur le recueil exhaustif des actions du participant et des événements liés à son appropriation de la tâche, qui lorsqu'elles ne sont pas celle prescrite initialement sont considérées comme des déviations à la tâche prescrite, comme des erreurs.

Nous retrouvons donc la démarche décrite par Norimatsu et Pigem (2008) pour la création d'une grille de codage du comportement.

- La première étape de la création d'une grille de codage du comportement commence par la création de la liste des catégories du comportement. Pour ce faire, il faut lister tout d'abord l'ensemble des comportements liés au thème de l'étude (les déviations à la tâche prescrite), puis les organiser en catégories distinctes, soit descriptives (les erreurs descriptives), soit interprétatives (les erreurs neuropsychologiques), veiller ensuite à ce que les modalités de ces comportements soient homogènes dans les catégories et enfin définir ces catégories.
- La seconde étape est de définir les mesures de ces comportements. La première métrique est le nombre d'occurrence des événements, que l'on retrouve dans la méthodologie de Chevignard et al. (2008). Mais il est intéressant de relever également la durée des états des événements, lorsqu'ils se prêtent à ce type de relevé et les intervalles entre les événements.
- La troisième étape est de définir la méthodologie d'échantillonnage, Chevignard et al. ont choisi une méthode de relevé manuel par deux expérimentateurs, mais elle reste

imparfaite et peut être améliorée avec l'apport de support d'enregistrement vidéo pour permettre un codage complet et continu.

- Cet enregistrement vidéo permet d'avoir des données possédant une meilleure validité et une meilleure fiabilité. Il permet également d'améliorer la finesse des analyses, notamment grâce à l'usage de logiciel de codage des événements.

Ainsi, pour enrichir la méthode d'analyse proposée par Chevignard et al., nous avons suivi les autres étapes de création de grille de codage de comportement pour réaliser une analyse de l'activité en ergonomie.

5.1.2. De l'erreur dans un test neuropsychologique à l'erreur en ergonomie

D'après Leplat (2000), l'erreur est un événement multi-déterminé ayant des composantes humaines, techniques organisationnelles et économiques qui introduit une rupture dans un processus. Pour bien comprendre le mécanisme de production de l'erreur, il faut donc connaître le mécanisme de production de l'activité et inversement. L'intérêt de l'analyse de l'erreur pour celle de l'activité est d'aider à focaliser celle-ci sur des points cruciaux et d'aider à en découvrir les mécanismes.

L'erreur est une divergence par rapport à une norme fixée par un expert, soit par rapport aux résultats attendus, soit par rapport aux actions nécessaires à la réalisation d'une tâche qui ne peut prendre qu'un nombre limité de forme (Reason, 1993). Ainsi, le terme d'erreur est donc souvent associé à l'idée d'un « écart à ce qui est attendu, prévu, souhaité » (Leplat, 2011). Il est donc difficile de qualifier un comportement de l'opérateur d'*erreur* sans faire référence à une tâche prescrite (cf. partie 2.3). Celle-ci intègre les éléments de prescription prévus par l'organisation, et notamment – pour nous – la procédure prévue pour réaliser la tâche. Nous parlerons de tâche procédurale pour parler d'une tâche où l'individu *doit* suivre une procédure détaillée pour atteindre les objectifs de la tâche.

Comme nous l'avons vu, ce modèle de la tâche va subir, dans le cours de l'activité, plusieurs niveaux de redéfinition¹³ (cf. Figure 5). Ceci rend le diagnostic de l'erreur plus complexe, dans la mesure où cette situation introduit une distinction entre deux niveaux d'analyse : celui des actions, i.e., du comportement observable de l'opérateur, et celui de l'intention sous-jacente à ces actions (Reason, 1993). Ainsi, Kirwan (1998) a défini trois composantes d'une erreur : la manifestation externe de l'erreur (ou *mode externe*), le facteur de mise en forme de l'activité¹⁴ qui influe sur la vraisemblance de l'occurrence de l'erreur et enfin le mécanisme psychologique de l'erreur (ou *manifestation interne*). D'après Reason (1993), la différence entre une erreur et une violation dépend de l'intention (la capacité de détecter et prévenir lorsqu'une action provient d'une intention) et de la conscience (l'expression de l'état final à atteindre et des moyens nécessaires pour y parvenir) de l'action en cours par l'opérateur.

Selon Swain (1976), lorsque l'erreur est caractérisée par rapport à la procédure de la tâche, elle peut être décrite en fonction de la typologie suivante :

- Omission : tout ou partie de la tâche non exécutée
- Exécution (error of commission) : tout ou partie de la tâche non réalisée avec les exigences prévues
- Dérive (*drift*) : introduction d'une action qui ne figure pas dans la tâche
- Séquence : sous-tâche réalisée au mauvais moment
- Délai : tout ou partie de la tâche non réalisée dans les délais

Lorsque l'erreur est caractérisée par rapport au mécanisme de production, elle peut être catégorisée comme étant une erreur de type :

- Sélection : substitution de l'action adaptée par une qui est inappropriée
- Discrimination : déclencheur incorrectement identifié
- De mémoire : oubli de l'intention de l'action
- De contrôle : contrôle de l'action non réalisé.

Finalement, lorsqu'elle est en rapport avec la finalité de la tâche, elle est caractérisée par le fait qu'elle soit récupérable ou non, détectée ou non, aléatoire, systématique (propriété de la situation de travail) ou sporadique (erratique).

¹³ Ainsi, paradoxalement, en situation de travail, une action humaine peut être considérée comme une erreur d'un point de vue organisationnel – au sens où elle constitue un écart à la tâche prescrite - alors qu'elle est au contraire garante d'un niveau de performances élevé dans le travail (Leplat, 1985)

¹⁴ « Performance shaping factor » en anglais

Au premier abord, on pourrait penser que le mot « task » est une traduction stricte de celui de *tâche*, employé en ergonomie de l'activité. Pourtant, le mot « task » revêt une signification légèrement différente dans la littérature anglophone. Selon Kirwan et Ainsworth (1992, p. 1), l'analyse de la tâche¹⁵ peut être définie comme « l'étude de ce qu'un opérateur (ou une équipe d'opérateurs) devra faire, en termes d'actions et/ou de processus cognitifs, pour atteindre un objectif du système ».

On peut donc considérer que la première étape mise en place par Chevignard et al. (2000) lors de la création du *Cooking Task Test* correspond à la création de la procédure d'une « tâche prescrite » par un expert en ergonomie (Leplat, 2000). La tâche prescrite correspond à la tâche fixée par celui en demande l'exécution. C'est celle qui figure sur les instructions, consignes et procédures. Celui qui définit la tâche prescrite attend une certaine activité, un certain résultat. Ensuite, la réalisation de la tâche cuisine par le patient lors de la passation du test peut donc être considérée comme la réalisation de la « tâche effective » (Leplat, 2000) et les erreurs descriptives comme les déviations à la tâche prescrite. La tâche effective correspond à l'exacte réalisation de l'activité par l'opérateur.

¹⁵ « Task analysis » en anglais

5.2. De la validité à la validité écologique

5.2.1. L'origine de la validité

La validité est classiquement définie comme « le degré auquel un test mesure ce qu'il prétend mesurer » (Kelley, 1927). Dans les années qui ont suivi, un rapport élaboré conjointement par l'*American Psychological Association* (APA), l'*American Educational Research Association* (AERA), et le *National Council on Measurements Used in Education* (NCMUE ; 1954) a proposé de distinguer différents types de validité en fonction de l'usage prévu du test : la validité de contenu, la validité prédictive, la validité concourante et la validité de construit (Tableau 10).

Tableau 10 - Les quatre types de validité identifiés dans le rapport conjoint de l'APA, de l'AERA et du NCMUE (1954)

Usage prévu du test	Type de validité concerné
« L'utilisateur du test souhaite déterminer quelles seraient les performances d'un individu à l'heure actuelle, dans un ensemble donné de situations dont la situation de test constitue un échantillon »	« La validité de contenu est évaluée en montrant dans quelle mesure le contenu du test échantillonne les classes de situations au sujet desquelles on souhaite tirer des conclusions »
« L'utilisateur du test souhaite prédire les performances futures d'un individu soit sur le test, soit suivant une variable externe »	« La validité prédictive est évaluée en montrant dans quelle mesure des prédictions réalisées à partir du test sont confirmées par des données recueillies à un autre moment dans le temps. »
« L'utilisateur du test souhaite estimer le statut actuel d'un individu suivant une variable externe au test »	« La validité concourante est évaluée en montrant dans quelle mesure les performances au test correspondent avec des mesures sur un critère de performance concourant »
« L'utilisateur du test souhaite inférer le degré auquel l'individu possède un trait ou	« La validité de construit est évaluée en examinant quelles sont les qualités psychologiques mesurées par le test »

une qualité, dont on suppose qu'ils sont reflétés par les performances au test »	
--	--

Par la suite, les quatre types de validité identifiés dans le tableau 11 ont été rassemblés en trois, la validité prédictive et la validité concourante devenant ensemble la validité de critère (American Psychological Association et al., 1966). Cette terminologie rappelle que la validité d'un test repose en partie sur sa concordance avec des mesures (critères) externes, qu'elles soient obtenues à l'aide d'un autre instrument prétendant mesurer le même construit, ou bien à l'aide de mesures obtenues ultérieurement, souvent dans un autre contexte¹⁶. Ces trois types de validité – contenu, critère et construit – constituent ce que certains auteurs ont appelé l'approche *trinitaire* de la validité (Newton, 2012).

La mise au point d'une taxonomie est une étape importante dans l'avancée de toute discipline scientifique. Pourtant, dans le cas de la validité, l'approche trinitaire a fait l'objet de vives critiques dans la mesure où la distinction entre les différents usages possibles d'un test n'est pas toujours claire – ni, par conséquent, la distinction entre les types de validité correspondants. La formulation sans doute la plus acerbe de cette critique vient de Guion (1980, p. 386) : « *les guidelines semblent traiter [ces trois types de validité] comme une forme de Sainte Trinité représentant trois voies différentes vers le salut psychométrique : si vous n'êtes pas en mesure de démontrer un type de validité donné, vous avez encore deux coups !* ».

Sur le plan pratique, la validité de critère est sans doute l'aspect le plus important de la validité. La capacité d'un test, d'une part, à donner des résultats cohérents à ceux fournis par des tests analogues, et d'autre part, à prédire les performances des individus dans des situations futures, sont des gages de sa qualité. Cronbach et Meehl (1955) ont cependant souligné que dans bien des cas, l'examineur ne dispose pas d'un critère externe auquel comparer les résultats du test. Dans ce cas, affirment-ils, la validité de construit revêt une importance particulière, et définissent un construit comme « *un attribut postulé chez un individu dont on suppose qu'il est reflété par les scores obtenus au test* ».

Cette affirmation déplace la question de la validité : celle-ci ne serait pas la propriété d'un test (i.e., des items qui le composent), mais une propriété des inférences (i.e., les suppositions) que l'administrateur du test peut réaliser à partir des comportements que le test suscite chez

¹⁶ Par exemple, un examen tel que le baccalauréat est conçu pour évaluer la maîtrise de contenus pédagogiques enseignés au cours de l'année terminale ; mais appuyer la sélection des étudiants à l'entrée dans une formation de l'enseignement supérieur sur les notes obtenues au baccalauréat revient à supposer les performances au baccalauréat sont *de bons prédicteurs de la réussite future dans cette formation*, ce qui n'est pas la même chose.

l'individu (Lennon, 1956). Ce raisonnement a conduit plusieurs auteurs à affirmer que la validité de construit aurait une forme de préséance sur les trois autres types (Loevinger, 1957; Messick, 1989; Shepard, 1993). Cette position tranche nettement avec celle qui existait par le passé, qui accordait beaucoup plus d'importance à la validité de critère, qui avait été le mieux résumée par la maxime de Guilford (1946, p. 429) : « *un test est valide pour tout ce avec quoi il entretient des corrélations* ». La critique la plus courante de la position de Guilford est qu'elle conduit à affaiblir les bases théoriques sur lesquelles sont construites le test. Anastasi (1986) dénonce ainsi une posture qu'elle qualifie d'« empirisme aveugle ». Landy (Landy, 1986, p. 1183), affirme, quant à lui, que « *cette vision positiviste était (et reste) de bien peu d'aide lorsqu'il s'agit de développer des théories du comportement ou bien une compréhension élémentaire de ce qui est mesuré par le test en question* ».

5.2.2. La notion de validité de construit

L'une des premières modélisations de la validité de construit peut être attribuée à Cronbach et Meehl (1955), qui indiquent que cette validité est évaluée en étudiant les qualités mesurées par un test, c'est-à-dire en déterminant dans quelle mesure certains concepts, ou *construits*, explicatifs explicitent la performance au test.

Un construit est un attribut sur lequel on fait des hypothèses de résultats pour des personnes passant des tests, supposé refléter la performance réalisée. Les construits fournissent une interprétation ordonnée des comportements observés, ainsi qu'un moyen de faire des prédictions sur des comportements jusqu'alors non observés en cohérence avec les concepts théoriques appartenant à un réseau nomologique. Un réseau nomologique est un système de lois qui constituent une théorie. Les lois formant ce réseau peuvent relier (a) des propriétés ou quantités observables les unes aux autres ; ou (b) des constructions théoriques aux observables ; ou (c) des constructions théoriques différentes les unes des autres. Ces « lois » peuvent être statistiques ou déterministes. Le réseau nomologique permet d'expliquer comment les construits, non observable, sont reliés ensemble, et comment ces construits sont reliés aux comportements observables, notamment les comportements observés en situation de test (Figure 8).

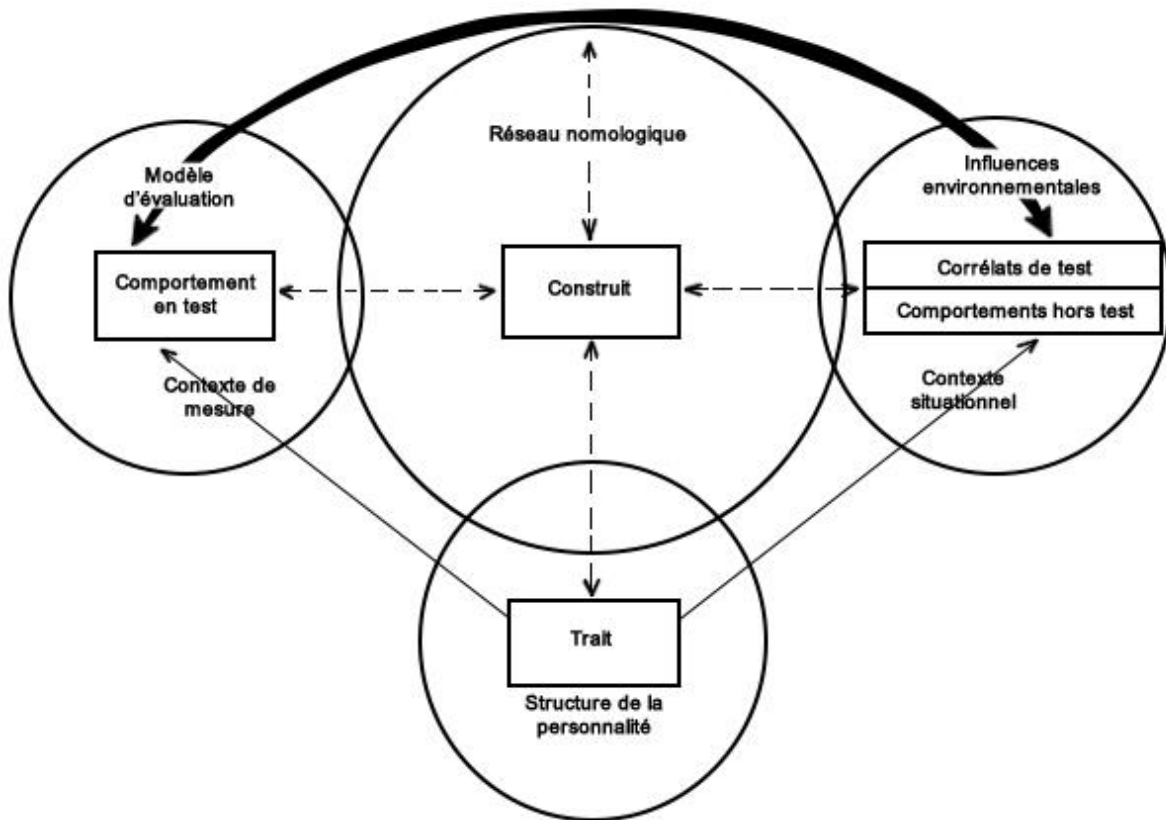


Figure 8 – Modélisation de la validité de construit (Messick, 1989)

Loevinger (1957) constate que la validité de construit est une propriété fondamentale à toute évaluation scientifique de l'interprétation qui serait faite d'un score obtenu à un test. En se basant sur ce principe Messick (1989) définit la validité de construit comme la base formelle de l'utilisation et de l'interprétation des tests, étayée par des preuves de la pertinence de ces tests par rapport à l'objectif spécifique appliqué, et de l'utilité du test dans les contextes appliqués. Cela implique que la validité est un jugement d'évaluation intégré de la mesure dans laquelle les preuves empiriques et les justifications théoriques soutiennent l'adéquation et la pertinence des inférences et des actions basées sur les résultats des tests ou d'autres modes d'évaluation. Au fil du temps, les preuves de validité existantes sont renforcées (ou contredites) par de nouvelles découvertes, et la projection des conséquences sociales potentielles des tests est transformée par la preuve des conséquences réelles et par l'évolution de la condition sociale. La validité est donc une question de degré, et non pas une question de « tout ou rien ». Elle est une propriété évolutive, dans la mesure où la validation est un processus continu.

Pour Messick, la principale préoccupation de la validité, n'est pas d'expliquer un événement isolé, un comportement ou une réponse à un élément donné, mais plutôt de tenir compte de la

cohérence des comportements ou de la réponse de participants aux éléments des tests, généralement résumées sous la forme de scores totaux ou de sous-scores.

Le consensus actuel est que la validité de construit représente, de fait, l'intégralité de la notion de validité, au point, qu'il serait redondant d'utiliser le qualificatif « de construit » (Anastasi, 1986; Angoff, 1988; Cronbach, 1989; Downing, 2003; Dunnette, 1992; Kane, 2001; Shepard, 1993; Sireci, 2009)

Ainsi, depuis 1999, la validité est définie comme étant « la mesure dans laquelle les preuves et la théorie soutiennent les interprétations des résultats des tests entraînées par les utilisations proposées » par AERA, l'APA et le NCME (1999).

La validité est donc un jugement évaluatif intégré de la mesure dans laquelle les preuves empiriques et les justifications théoriques soutiennent l'adéquation et la pertinence des inférences et des actions basées sur les résultats des tests ou d'autres modes d'évaluation (Messick, 1989) s'appuyant sur des « construits » lié par un réseau nomologique (Cronbach & Meehl, 1955) qui, au fil du temps doit être révisé pour intégrer les nouvelles théories et concepts (G. T. Smith, 2005).

Une fois le concept général de validité établi, on peut préciser d'autres concepts répondant à des enjeux spécifiques.

Ainsi, dans le domaine des tests éducatifs et psychologiques, le concept de validité externe et interne sont pertinents (Campbell, 1957; Newton & Shaw, 2014).

- La validité interne décrit le degré de confiance qui peut être accordé à la conclusion qu'un effet observé dans un groupe expérimental est réel.
- La validité externe décrit le degré de confiance qui peut être accordé dans à la conclusion qu'un effet observé dans un groupe expérimental peut être généralisé à la population générale avec d'autres paramètres ou variables.

Le concept de validité externe a ensuite été de nouveau affiné en deux catégories (Bracht & Glass, 1968; Newton & Shaw, 2014) :

- La *validité de population* qui décrit le degré de confiance qui peut être accordé dans la généralisation des conclusions à une population parente ;
- La *validité écologique* qui décrit le degré de confiance qui peut être accordé à la généralisation des conclusions à travers les différentes conditions mises en place lors des tests.

Ces concepts, développés initialement dans le domaine des tests éducatifs et psychologiques, peuvent également être mis à contribution et doivent être adaptés dans le domaine des tests neuropsychologiques dont l'objectif serait le diagnostic et la prise en charge médicale. Ainsi, le processus de validation ne peut être seulement de nature théorique en s'appuyant sur les construits des fonctions exécutives et des pathologies cérébrales les impactant. Il ne peut être seulement de nature méthodologique et s'appuyer sur un processus de comparaison des scores obtenus durant les tests neuropsychologiques et les comportements observés. Il doit aussi prendre en compte les conditions dans lesquelles les tests se déroulent, le contexte lié aux patients, les usages par les praticiens et le fait que les tests réalisés soient bien en adéquation avec la ou les fonctions cognitives étudiées.

5.2.3. La notion de validité écologique

L'origine de la notion de validité écologique peut être attribuée à Brunswik (1949) : ce dernier a souligné que la perception qu'un individu a du monde extérieur était influencée par un système de « lentilles » déformantes : l'objectif est de constituer une perception exacte d'un phénomène *distal*, mais l'individu, pour ce faire, n'a accès qu'à un ensemble de stimuli directement perceptibles, dits *proximaux*. La validité de ses conclusions dépendra de la force de l'association entre ces deux éléments, qu'il appelle leur validité écologique. Comme l'exprime Kihlstrom (2021, p. 468) : « *si les sujets prêtent attention à des indices écologiquement valides, alors leurs percepts et leurs jugements seront valides* ». Cependant, c'est à Orne (1962) que l'on doit le premier usage de la notion de validité écologique appliquée à une étude expérimentale. Il définit cette dernière comme « *une généralisation appropriée depuis le laboratoire vers des situations non-expérimentales* ».

On peut donc, suivant cette ligne de pensée, définir la validité écologique comme la possibilité de généraliser les conclusions obtenues par l'étude d'une situation artificielle à une classe de situations naturelles (Hoc, 2001). En neuropsychologie, Tupper et Cicerone (1990) définissent, d'un point de vue général, la validité écologique comme étant le degré auquel les résultats obtenus dans des conditions expérimentales contrôlées sont liés à ceux obtenus dans des environnements naturalistes. La validité écologique d'un test neuropsychologique fait donc référence à la relation fonctionnelle et prédictive entre la performance d'un patient à un test ou

à une batterie particulière et sa performance dans le monde réel – i.e., son comportement à la maison, au travail, à l'école ou dans la communauté (Chaytor & Schmitter-Edgecombe, 2003). Les neuropsychologues ont utilisé deux approches majeures pour améliorer la validité écologique des données issues de tests neuropsychologiques (Franzen & Wilhelm, 1996; Sbordone, 2008).

La première approche consiste à améliorer la *vraisemblance* (*verisimilitude*), c'est à dire le degré auquel les exigences cognitives d'un test reproduisent les exigences cognitives de l'environnement quotidien.

La deuxième approche consiste à améliorer la *véridicité* (*veridicality*), qui fait référence à la mesure dans laquelle les tests existants sont empiriquement liés par des corrélations statistiques aux mesures du fonctionnement quotidien.

Ainsi, la vraisemblance et la véridicité fournissent des approches distinctes pour mieux comprendre les complexités de la validité écologique des tests permettant la mesure des fonctions exécutives. Un outil d'évaluation neuropsychologique écologiquement valable est donc celui qui a des caractéristiques similaires à un environnement naturel et qui a une valeur pour prédire le fonctionnement du quotidien.

De plus, d'après Hoc (2001), la distinction à retenir n'est ni entre laboratoire et terrain, ni entre recherche fondamentale et appliquée, mais entre l'étude de situations « naturelles » et « artificielles ». Les situations artificielles peuvent être définies comme celles qui sont spécifiquement conçues pour la recherche tandis que les situations naturelles sont celle qui ne sont pas créées spécifiquement.

L'analyse du contexte de l'activité réelle est nécessaire pour identifier les principales caractéristiques des situations naturelles à reproduire dans des situations artificielles afin que les activités cognitives ne soient pas trop déformées. En supposant qu'une situation est une interaction entre un sujet - définie notamment par la compétence vis-à-vis de la tâche - et une tâche - un but à atteindre en respectant certaines contraintes - il convient donc de considérer ces deux éléments ensemble (Hoc, 1988). Il y a toujours des aspects artificiels dans les situations naturelles étudiées. Premièrement, les activités cognitives sont pour la plupart implicites et une certaine transformation de la situation naturelle est nécessaire pour y accéder et deuxièmement, la situation naturelle est décrite au moyen de descripteurs abstraits qui dépendent de la théorie. Rasmussen (1993) a soulevé la question de la validité écologique dans l'étude des activités de travail. Il suggère l'utilisation de micro-mondes dynamiques pour étudier la cognition en relation avec des situations de travail dynamiques. Ces micro-mondes permettent d'étudier les

performances des sujets dans la résolution de problèmes, sous la forme de l'exploration d'un ensemble d'éléments incluant les problèmes à résoudre, la reformulation du problème à résoudre et les solutions à mettre en place. On propose aux sujets des instructions très ouvertes les mettant en situation grâce à l'usage de scénarios¹⁷.

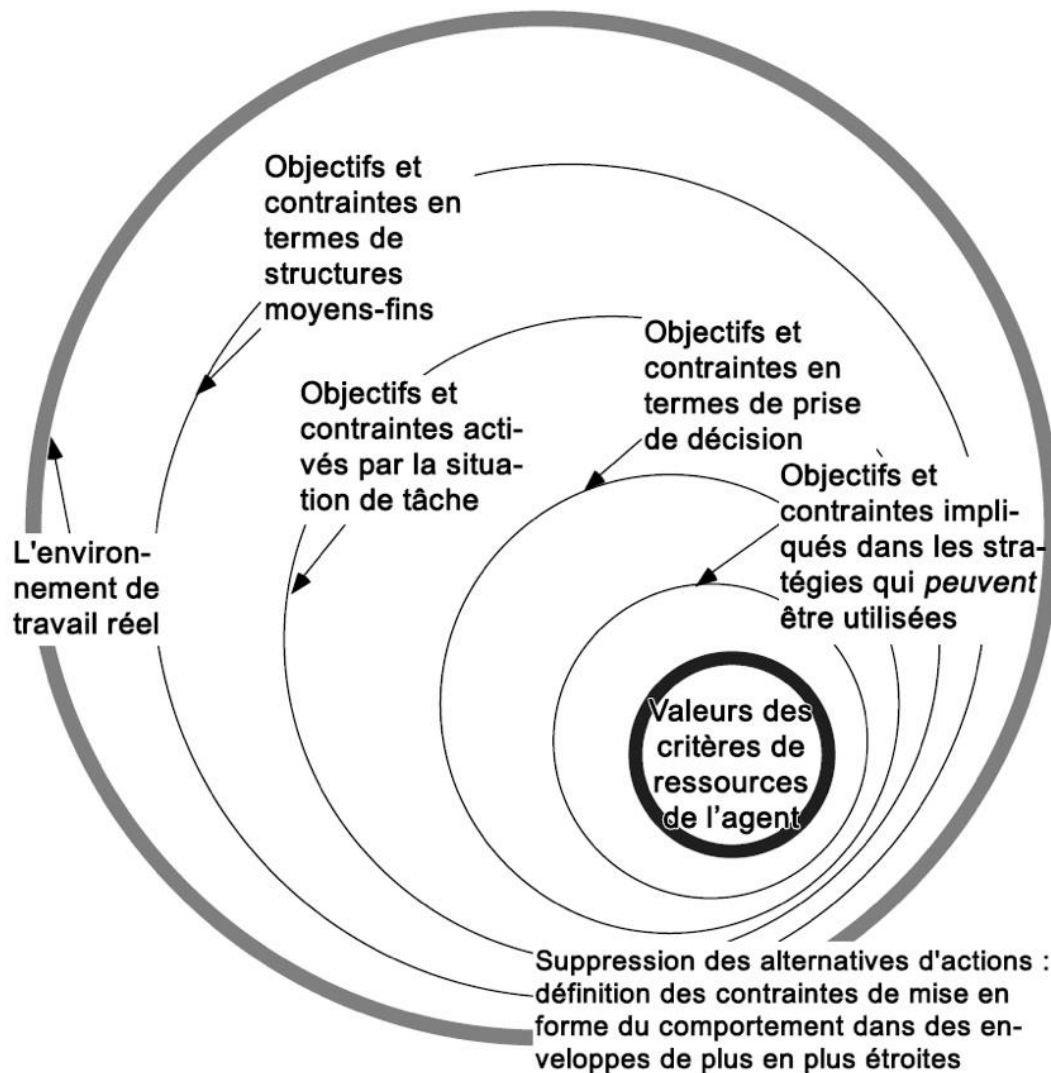


Figure 9 - Modélisation des perspectives de description de la taxonomie du travail (Traduction d'après Rasmussen, 1993)

Pour décrire le processus de création et de définition de ces micro-mondes complexes, Rasmussen a tout d'abord décrit les bases de la création d'une taxonomie systématique

¹⁷ « Cover story » en anglais

permettant d'analyser les propriétés d'un environnement de travail, le profil des ressources cognitives d'une personne et les comportements nécessaires à la réalisation d'une tâche.

La Figure 9 propose une réinterprétation des perspectives de description de la taxonomie du travail comme étant un ensemble d'enveloppes d'objectifs et de contraintes autour d'un acteur pouvant servir à la généralisation et au transfert de connaissances lors de la conception du système.

La relation entre les différentes enveloppes de contraintes utilisées dans la taxonomie et la relation avec différentes approches expérimentales est illustrée dans la Figure 10. Le point étant que la diversité actuelle dans la complexité des conceptions expérimentales dépend en fait de la différence dans le choix des frontières conceptuelles contrôlées autour d'un sujet. Les limites correspondent étroitement aux enveloppes de contraintes utilisées pour le cadre d'analyse.

La Figure 10 montre que pour les expériences en psychologie, le design expérimental implique le choix d'enveloppes de contraintes autour du sujet. Les dimensions de la taxonomie pour l'analyse du travail cognitif sont basées sur une représentation des contraintes de mise en forme du comportement semblent bien adaptées pour représenter le design conceptuel des tâches expérimentales. La figure illustre la relation entre les différentes couches conceptuelles de contraintes de la taxonomie et les différentes approches de la conception expérimentale.

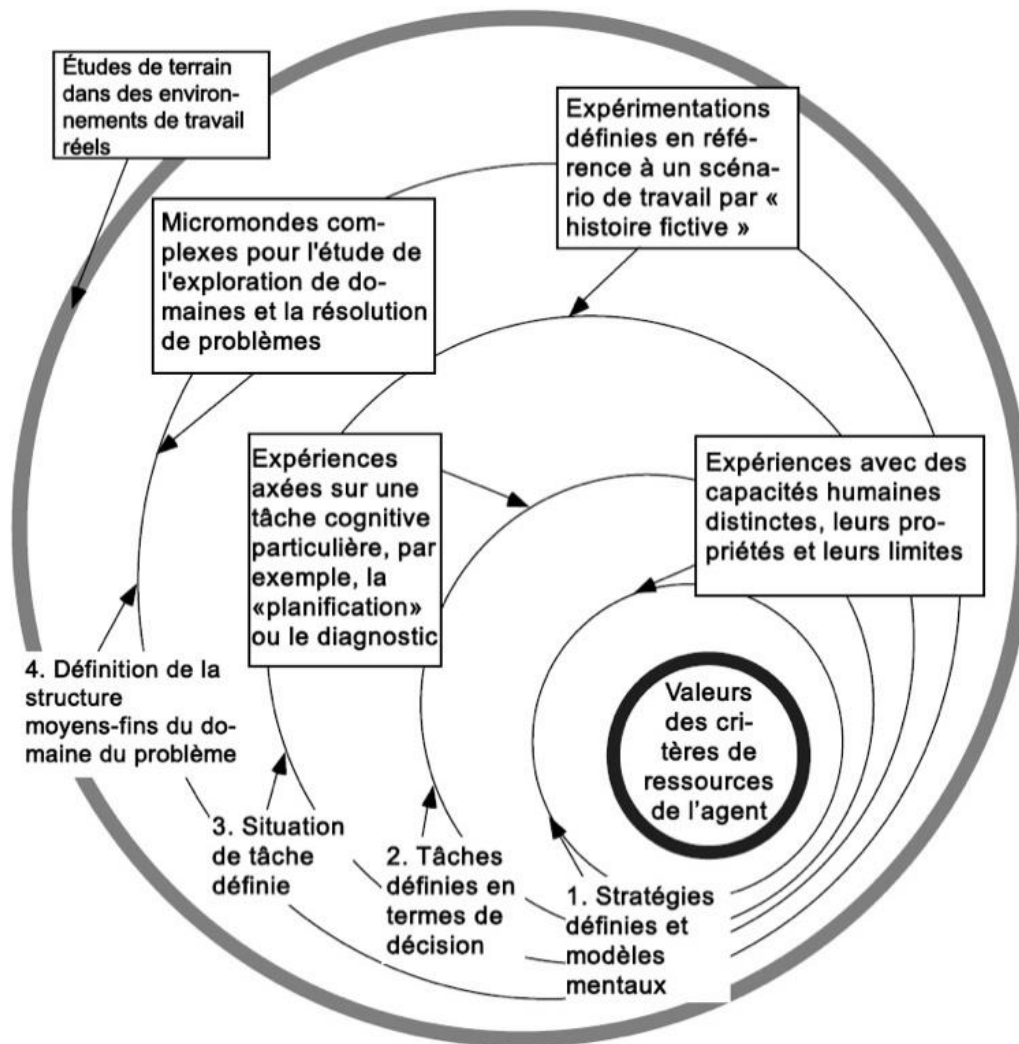


Figure 10 - Modélisation des perspectives de description de la taxonomie du travail pour les expériences en psychologie avec les niveaux de contraintes (Traduction d'après Rasmussen, 1993)

Rasmussen décrit notamment les limites des tâches cognitives prescrites. La condition aux limites du scénario expérimental est définie par la tâche cognitive donnée aux sujets, en général sans préciser la stratégie sauf implicitement par la présentation particulière du problème. Le problème à considérer pour cette catégorie d'expériences n'est pas la validité des résultats, mais la généralisation possible. Une généralisation fiable à ce niveau de spécification des contraintes nécessite l'identification de la relation entre la situation expérimentale, les stratégies mentales possibles et les critères de performance régissant le choix effectif.

Rasmussen décrit ensuite les études de performance en situation réelle de tâche comme étant des simulations conçues comme des répliques de scénarios d'activité réelle dans lesquelles il est attendu que les comportements observés dans ces micro-mondes imitent les comportements

de personnes réelles dans la « situation réelle » à condition que les sujets aient une certaine expérience de la réalité. Un facteur important à considérer est, cependant, que ce type de simulation se concentre normalement sur une tâche particulière, telle que, par exemple la « planification ».

La preuve de la capacité à généraliser ne sera donc pas de savoir si le micro-monde produit ou non le même type de comportement que la situation de travail, mais si une théorie est disponible qui soutient des prédictions utiles sur ce qui se passera dans une situation de travail ou pour expliquer ce qui est observé dans une telle situation à partir de l'observation lors de situations expérimentales. Pour Rogalski et Marquié (2004), l'écart constaté entre les travaux de terrain et de laboratoire peut être en partie dû au fait que les études de laboratoire mesurent des changements dans les capacités *maximales* du participant, alors qu'en général, les situations de travail ou de vie quotidienne ne nécessitent pas une mobilisation maximale des capacités.

Hoc et al. (2004) constatent que parmi les caractéristiques des situations expérimentales reproduisant correctement celle des situations cible en psychologie, la reproduction des conditions de mise en œuvre de l'expertise, celle de la finalisation de l'activité sur objectifs d'action ou celle du non-découpage de l'activité en composantes isolées sont les plus importantes. Pour dire qu'un même objet est présent dans une situation cible et dans une situation expérimentale, il faut donc disposer d'une définition de cet objet et de moyens pour identifier son existence.

Williams (1996) explique enfin qu'il existe une distinction importante entre les compétences quotidiennes, qui sont génériques, et celles qui sont spécifiques à certains contextes environnementaux. Les compétences génériques de la vie quotidienne sont généralement simples, nécessaires à chacun, notamment, pour s'habiller, maintenir son hygiène personnelle ou se nourrir (Tableau 12). Les construits cognitifs spécifiques, telles que la mémoire ou le langage, sont souvent indiscernables des compétences de la vie quotidienne. Les environnements de la vie quotidienne sollicitent souvent une variété de capacités cognitives combinées et la contribution individuelle de chacune de ces compétences à la performance globale est difficile à déchiffrer. Cependant, la mémoire, les compétences de langage et les compétences visuo-spatiales peuvent être distingués des autres compétences qui sont utilisées à la résolution de problèmes spécifique de la vie quotidienne. De nombreuses activités quotidiennes exprimeront principalement l'une de ces compétences et un échange de leur contribution lors de la réalisation d'une tâche.

Tableau 11 – Construits spécifiques aux compétences de la vie quotidienne (Traduction d’après Williams, 1996)

Environnement de la vie quotidienne	Langage	Mémoire	Gestion de l’espace	Coordination sensorimotrice
Compétences liées à la vie en autonomie	<ul style="list-style-type: none"> - Conversation - Suivi de consignes - Capacités de lecture et de rédaction de base 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité à se souvenir de l’emploi du temps des activités du jour - Capacité à se souvenir de nouveaux noms et de nouveaux visages 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité à trouver de nouveaux lieux en conduisant une voiture - Capacité à dessiner un plan pour quelqu’un d’autre 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacité à conduire une voiture - Capacité à utiliser des outils pour réparer quelque chose
Compétences liées au travail	<ul style="list-style-type: none"> - Lire ou écouter des instructions - Donner des instructions - Prendre des notes ou rapporter des activités de travail - Comprendre des instructions pour l’usage d’un ordinateur 	<ul style="list-style-type: none"> - Se souvenir d’instructions - Se souvenir des noms et des visages de clients - Se souvenir de son emploi du temps professionnel et des activités liées 	<ul style="list-style-type: none"> - Trouver l’emplacement d’objets dans un entrepôt ou de dossiers dans pour leur conservation - Trouver une nouvelle adresse pour faire une livraison 	<ul style="list-style-type: none"> - Manipuler des équipements de travail - Conduire un charriot élévateur ou un tracteur - Utiliser des outils pour construire des produits
Compétences liées à l’apprentissage	<ul style="list-style-type: none"> - Lire un manuel - Écrire un rapport scolaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Se souvenir des supports de cours - Se souvenir des faits 	<ul style="list-style-type: none"> - Dessiner des diagrammes ou d’autres schémas pour les cours pour ceux qui le requièrent - Visualiser le placement ou l’arrangement d’objet sur la base de schémas 	<ul style="list-style-type: none"> - Compétences d’écriture manuscrite basiques - Manipuler des équipements et des outils pour des cours techniques

	<ul style="list-style-type: none">- Comprendre des cours ou des présentations complexe- Capacité à la prise de note			
--	--	--	--	--

Les capacités de mémoire, les compétences spatiales ne sont pas aussi apparentes dans la vie quotidienne que les compétences linguistiques et mémorielles. Elles peuvent être très affaiblies avant qu'un handicap ne puisse être remarqué. Ces compétences permettent de trouver de nouveaux emplacements, de donner à quelqu'un d'autre des directions vers un lieu et de dessiner des figures ou une carte. La coordination motrice et sensorielle quotidienne comprend l'utilisation d'outils ou d'ustensiles de cuisine et les parties motrices et sensorielles de la conduite de la voiture.

5.3. Apports de l'oculométrie dans l'analyse du comportement

L'observation est couramment décrite comme l'une des techniques les plus couramment employées dans le cadre de l'analyse ergonomique de l'activité (Guérin et al., 1991; Rabardel et al., 1998; Saint-Vincent et al., 2011; Stanton et al., 2004). Sa place centrale fait qu'elle est déclinée sous des formes très diverses dans la pratique de l'ergonomie, allant de l'observation ouverte (à l'œil nu ou avec prise de notes) à l'observation outillée par un enregistrement vidéo, ou encore à l'observation combinée à l'usage d'instruments de recueil divers (H. Norimatsu & Pigem, 2008). Toutefois, dans la perspective de l'ergonomie de l'activité, il est entendu que l'activité ne se réduit pas aux comportements observables de l'opérateur, mais intègre aussi l'ensemble des processus - y compris les processus cognitifs - qui donnent naissance à ces comportements observables (Montmollin, 1997). Ce constat fait que l'observation, dans le cadre de l'analyse ergonomique du travail, est rarement utilisée seule - mais le plus souvent combinée avec d'autres méthodes telles que les entretiens d'autoconfrontation (Mollo & Falzon, 2004) et autres techniques visant à favoriser la production de verbalisations (Bisseret et al., 1999).

L'oculométrie (*eye tracking*) désigne un ensemble de techniques permettant l'enregistrement des mouvements oculaires en vue d'étudier les processus associés à l'attention visuelle et la prise d'information (Duchowski, 2017). En ergonomie, son utilisation est, de manière quasiment exclusive, orientée vers la conception et l'évaluation d'Interfaces Homme Machine (Nielsen & Pernice, 2009; Romano Begstrom & Schall, 2014). Mais au-delà, elle constitue un outil précieux pour étudier la prise d'informations visuelle dans le cours de l'activité. Ainsi, les données d'oculométrie peuvent être intégrées dans une observation systématique de l'activité en vue de mieux comprendre les comportements observables de l'individu.

Selon Kerguelen (2008), suite à une observation réalisée dans le cadre de l'analyse ergonomique de l'activité, l'analyse des résultats s'appuie soit sur une approche purement descriptive, soit sur une interprétation, par l'ergonome, des comportements observés. Ce caractère interprétatif semble en particulier incontournable dès lors que l'on s'intéresse aux erreurs que produit l'opérateur dans le cadre de la réalisation d'une tâche procédurale, ce qui est notre cas ici. En effet, repérer une erreur nécessite d'abord que l'analyste conclue que tel comportement observé corresponde à une erreur.

L'hypothèse « œil-esprit »¹⁸ (Just & Carpenter, 1976) constitue la principale base conceptuelle de l'oculométrie. Elle affirme que lorsque l'opérateur est en train de réaliser une tâche s'appuyant sur la prise d'informations visuelles, l'élément qui se situe dans la zone de fixation du regard, et plus particulièrement dans la zone de vision fovéale, est celui sur lequel portent les traitements cognitifs en cours. L'orientation du regard et la durée des fixations oculaires dépendent également d'autres processus tels que des processus perceptuels ou mnésiques, et il serait donc simpliste, au vu de l'état des connaissances actuelles, d'affirmer que le regard est systématiquement guidé par l'attention visuelle (J. R. Anderson et al., 2004; Murray et al., 2013; Steindorf & Rummel, 2020). Malgré cela, il est généralement admis que les mouvements oculaires reflètent le traitement de l'information à l'instant t au cours de la réalisation d'une tâche (Carter & Luke, 2020). L'intérêt de l'oculométrie réside ici notamment dans le fait que les processus impliqués dans l'attention visuelle sont généralement inconscients, ce qui rend ces processus peu accessibles aux méthodes fondées sur le recueil de verbalisations (Kirtley, 2020; Wickens et al., 2021).

¹⁸ « Eye-mind hypothesis » en anglais

5.4. Conclusion intermédiaire

Pour définir un nouvel outil d'évaluation écologiquement valide permettant le diagnostic des troubles des fonctions exécutives, le développement de l'outil devra reposer sur un réseau nomologique (cf. partie 5.3.2) prenant en compte les construits de fonctions exécutives, de compétences de la vie quotidienne, de taxonomie de l'activité réelle définissant les objectifs et les contraintes en terme de structures moyens-fins, de conditions expérimentales reposant sur un micro-monde complexe qui implique l'exploration de domaines et la résolution de problèmes et finalement, de reproductibilité.

6. Problématique et démarche de recherche

Notre revue de la littérature relative aux modèles existants des fonctions exécutives et aux tests neuropsychologiques qui permettent de diagnostiquer les troubles de ces fonctions cognitives permet de dresser, à ce stade, plusieurs constats.

Tout d'abord, les modèles existants des fonctions exécutives se sont progressivement étoffés avec le temps, mais restent fondés sur une approche unitaire, dans le sens où ils s'appuient sur une décomposition du système cognitif en fonctions élémentaires. L'étude de ces fonctions s'appuie sur des tâches paradigmatiques de laboratoire, y compris dans la perspective de diagnostiquer un syndrome dysexécutif.

La problématique de la validité écologique de ces tests, soulignée dès 1998 par Burgess et al., renvoie au fait que les performances du patient dans ces tâches de laboratoire sont souvent un prédicteur imparfait de l'autonomie des patients dans la vie réelle, ce qui pourtant en constitue le réel enjeu. Pour améliorer la validité prédictive de ces tests, certains auteurs (e.g., Chevignard et al., 2000, 2008) ont proposé d'appuyer le diagnostic du syndrome dysexécutif sur l'étude des performances du patient dans la réalisation de tâches que ce dernier pourrait être amené à réaliser dans le cadre de la vie quotidienne – dans leur cas, suivre une recette pour cuisiner un gâteau au chocolat et réaliser une omelette.

6.1. Des postulats implicites autour de la validité écologique du *Cooking Task Test*

Même si les tests comme le *Cooking Task Test* représente, à n'en pas douter, une avancée décisive dans l'amélioration de la validité écologique des tests pour le diagnostic du syndrome dysexécutif, on peut toutefois noter quelques points concernant le choix de cette tâche.

Tout d'abord, la préparation d'un gâteau implique le suivi d'une procédure – décrite dans la recette – et les performances du sujet dépendent généralement de son niveau d'expertise, qui a un impact sur le résultat du test.

Ensuite, la recette à réaliser n'est qu'une ressource parmi d'autres pour structurer la réalisation de la tâche. En accord avec les postulats de l'ergonomie de l'activité (Bobillier Chaumon, 2021; Leplat & Hoc, 1983), l'activité déployée par le sujet n'est jamais exactement identique à la tâche prescrite – ici, la procédure prévue par la recette. Nous proposons donc, dans la première étude, une autre tâche procédurale : la construction d'un édifice en briques Lego®.

Pour diagnostiquer un éventuel syndrome dysexécutif, Chevignard et al. (2008) proposent une typologie d'erreurs, dont l'identification repose sur l'observation, par le thérapeute, de l'activité du patient et le relevé d'écarts à la tâche prescrite. Cette affirmation est loin d'être anodine, et mérite d'être discutée.

6.2. Étendre le réseau nomologique du *Cooking Task Test*

Un réseau nomologique est défini comme « un système de lois mettant en relation les éléments d'un modèle théorique, d'une part entre eux, et d'autre part avec les observations réalisées » (Borsboom et al., 2004, p. 1064). Dans le cas du *Cooking Task Test*, ces observations concernent uniquement le comportement du patient – et plus particulièrement, le comportement (1) observé par deux thérapeutes et (2) interprété à la lumière d'une typologie d'erreurs considérées comme des manifestations de défaillances pathologiques de processus cognitifs impliqués dans l'activité.

Dans la mesure où la finalité du test est le diagnostic du syndrome dysexécutif, il semble souhaitable que le réseau nomologique ne s'appuie pas uniquement sur l'observation des comportements du patient (i.e. manipulation de briques Lego®), mais sur d'autres manifestations observables du fonctionnement cognitif de ce dernier. L'oculométrie (Duchowski, 2017) semble une perspective intéressante pour renforcer le réseau nomologique du test que nous proposons, dans la mesure où elle permet d'y intégrer, en plus des comportements – et leur interprétation par l'analyste – les processus attentionnels visuels.

6.3. Vers des outils automatiques pour l'observation systématique de l'activité

La méthodologie que nous proposons repose sur une observation systématique de l'activité (Guérin et al., 1991). Dans l'approche préconisée par Chevignard et al. (2008), cette observation est réalisée par deux thérapeutes, le codage étant réalisé « en temps réel ». Ce format d'observation, appelé « papier-crayon », pose de nombreux problèmes du point de vue de la validité (H. Norimatsu & Pigem, 2008). Le recueil de données ne peut pas être réellement exhaustif, dans la mesure où le codeur ne peut pas recueillir de nouvelles données lorsque son regard est fixé sur la grille de codage tandis qu'il code de nouveaux événements. Une solution, proposée en ergonomie, est de procéder à un enregistrement vidéo de l'activité suivi d'un codage à l'aide d'un logiciel tel que *The Observer* (Noldus, 1991), Actogram Kronos (Kerguelen, 2008), ou, plus récemment, Actograph (Barthe et al., 2017). Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé le logiciel BORIS (Behavioral Observation Research Interactive Software ; Friard & Gamba, 2016), un logiciel libre développé pour soutenir l'observation systématique du comportement en éthologie, mais présentant des fonctionnalités intéressantes pour l'ergonomie.

Malgré ses qualités, BORIS hérite de plusieurs faiblesses inhérentes à la méthode d'observation systématique elle-même. Celle-ci est reconnue comme particulièrement chronophage. D'autre part, le codage d'observations nécessite une expertise spécifique à l'ergonome. L'association de ces deux contraintes – le caractère chronophage et la dépendance envers une expertise spécifique – nuit à l'application de la méthode à grande échelle. Pour remédier à cette situation, la seconde étude sera consacrée à une analyse de l'activité experte d'ergonomes praticiens invités à procéder au codage d'une vidéo du comportement d'un participant, recueillie lors de la première étude, en ayant recours à la technique des protocoles verbaux (Bisseret et al., 1999). La modélisation du raisonnement de l'ergonome réalisant cette tâche de codage peut servir de base en vue de la conception d'un système expert qui visera à automatiser la tâche d'observation systématique, suivant l'approche proposée par Wolff et Després (2003).

7. Création d'un modèle représentant l'Arc de Triomphe en brique Lego®.

7.1. Le choix du modèle de Lego®

La nouvelle tâche choisie pour servir de support au test évaluant les troubles des fonctions exécutives devait répondre à plusieurs critères :

- Elle devait posséder des caractéristiques similaires et se dérouler dans les mêmes conditions que le test écologique de référence de l'HIA Percy (le *Cooking Task Test*) tout en répondant aux limites observées.
- Elle devait être suffisamment ouverte pour permettre aux participants de réaliser l'ensemble de la tâche comme ils pourraient le souhaiter, mais également suffisamment structurée pour permettre une analyse rigoureuse, répétable et simple pour un usage hospitalier.
- La validation du test se déroulant dans une enceinte militaire avec par conséquent la possibilité d'avoir des patients militaires ayant subis des traumatismes, la tâche devait être neutre affectivement afin d'éviter tout rappel de situations potentiellement traumatisantes (Holterbach et al., 2015)
- Elle devait respecter les critères d'applicabilité des tests en milieu hospitalier proposés par Auger et al. (2006), limiter la charge portée par le patient et limiter la charge portée par l'examineur, avoir une distribution normale du score du test et être applicable à tous les patients quelles que soient leurs caractéristiques socio-culturelles ou leur familiarité avec la tâche.
- Elle devait respecter les critères de passation de tests d'évaluation des fonctions exécutives proposés par Poncet et al. (2017) : une tâche nouvelle ou peu familière, avec peu ou pas de risques mais permettant la présence de distracteurs, des normes et des standards validés statistiquement et enfin, être facilement accessible pour les praticiens.

En partant de la recommandation de Lezak et al. (2012) d'utiliser des jeux de construction pour enfants, le choix de la tâche s'est porté sur une construction d'un modèle en briques Lego®.

Le choix initial du modèle en briques Lego® s'était porté sur les modèles du thème « Architecture », néanmoins, il s'est avéré que les briques de ces modèles étaient trop petites et trop similaires pour être manipulées correctement par tous les patients, permettre une inclusion de capteur ou de permettre l'automatisation de la reconnaissance des briques lors de l'assemblage.

Nous avons donc décidé de créer un modèle personnalisé grâce au logiciel Lego Digital Designer (LDD - version 4.3.10) disponible en 2017. Ce logiciel permet de simuler en trois dimension la construction d'un édifice en briques Lego® grâce à une base de données comprenant les modèles 3D de l'ensemble des briques Lego® proposées par le groupe depuis l'origine des pièces actuelles. Il est à noter que ce logiciel n'est plus supporté officiellement par le groupe Lego depuis janvier 2022, il a été remplacé par un nouveau logiciel, BrickLink Studio qui permet d'importer les modèles 3D générés sous LDD.

Nous avons ainsi pu proposer plusieurs modèles avant de choisir celui représentant le modèle définitif, l'Arc de Triomphe de Paris, présenté par la Figure 11. Le modèle 3D de l'Arc de Triomphe est disponible en Annexe (cf. Annexe 1).



Figure 11 - Modèle en trois dimensions représentant l'Arc de Triomphe réalisé sous LDD v.4.3.10

Ce modèle est composé de 541 briques différentes et repose sur une notice détaillée en 131 étapes créée spécifiquement pour permettre sa construction (cf. Annexe 2). Selon Bartneck et

Moltchanova (2018), la complexité et le nombre de briques de Leo® de ce modèle est dans la moyenne des ensembles Lego® proposés aujourd’hui par la marque. La construction de ce modèle de Lego® devait être réalisable en une heure par les sujets contrôle non-experts. Cette durée devait être suffisamment longue afin de permettre la détection de la fatigabilité et la diminution de l’attention soutenue au cours du temps, mais également suffisamment courte afin de ne pas modifier le parcours hospitalier et donc de pouvoir permettre son usage dans la pratique courante. Il présente également l’avantage d’inclure à la fois des étapes simples, sans détails particuliers à surveiller, à réaliser et des étapes plus complexe et nécessitant plus d’attention pour être correctement réaliser. Cette alternance permet d’obtenir une mesure plus précise des troubles des fonctions exécutives lors de la réalisation du test.

7.2. Le choix des briques Lego® composants le modèle et la création de la notice

Le choix des briques nécessaires à la construction du modèle a répondu à 3 critères :

- Elles devaient être disponible à la vente sur le site officiel de Lego®
- Elles devaient être suffisamment grandes pour permettre l’intégration future de capteurs
- Elles devaient être identifiables par toutes les personnes réalisant le test (notamment les personnes souffrant de dyschromatopsie)
- Elles devaient être suffisamment grandes pour être utilisable par toutes les personnes réalisant le test, même en cas de trouble de tremblement

Une fois la sélection des pièces faite, nous avons utilisé l’option de prévisualisation du logiciel Adobe Photoshop CS6 pour obtenir une prévisualisation des couleurs sous protanopie et

deutéranopie. Grâce à cette prévisualisation, nous avons pu observer que dans le cas de la deutéranopie, toutes les briques étaient identifiables et différenciables par la forme et par la couleur. Dans le cas de la protanopie, toutes les briques étaient identifiables et différenciables par la forme et par la couleur à l'exception d'une paire de pièces qui ne sont différenciables que par la forme (Figure 12).

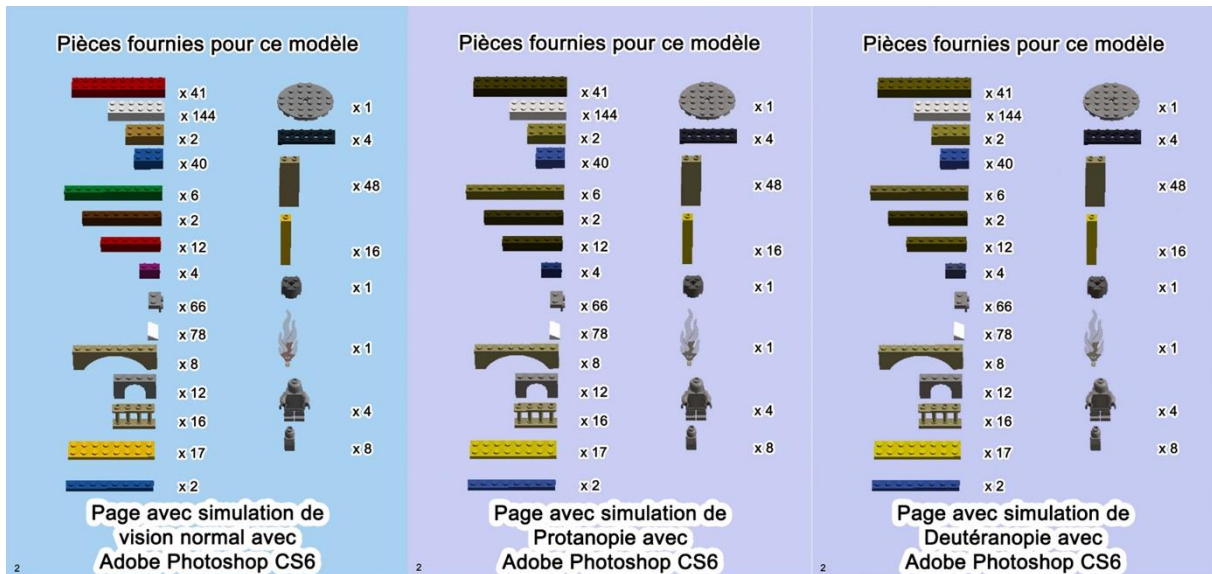


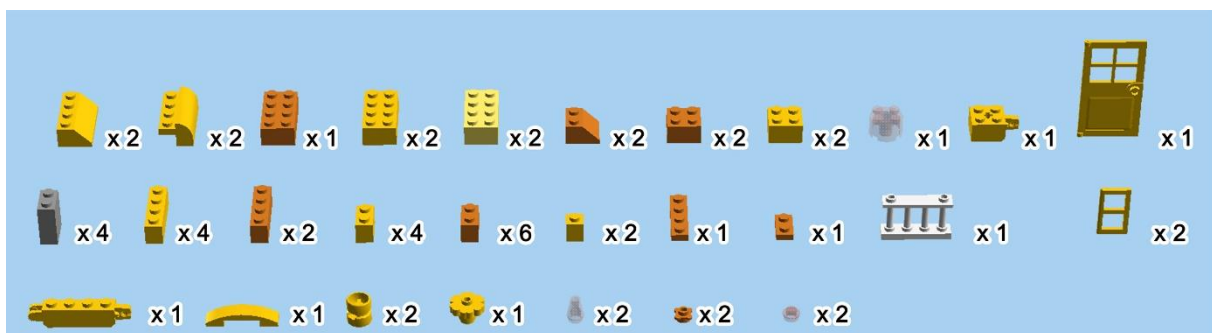
Figure 12 - Présentation de toutes les briques Lego® utilisées durant la construction vue en vision normal (à gauche) ou avec une simulation de dyschromatopsie (protanopie au centre et deutéranopie à droite) sous Adobe Photoshop CS6

Le processus de création de la notice a été itératif afin de minimiser les erreurs de conception qui aurait pu exister. La notice était composée des mêmes éléments observés dans les notices proposées dans les ensembles officiels Lego®, le code couleur de la notice et la composition de chaque page de la notice reprenaient les éléments observés dans ces notices. Cependant, pour prévenir la possibilité de non-connaissance des règles implicites permettant la construction des ensembles Lego®, nous avons décidé d'ajouter sur la première page de construction de la notice un descriptif de chacun de ces éléments. Ce descriptif était accompagné d'explications données à l'oral, au début de chacune des passations, afin de s'assurer que chacun des participants avaient bien compris les explications.

Pour correspondre aux éléments distracteurs présents dans une cuisine lors de la réalisation d'une tâche de cuisine, comme ceux présents dans le *Cooking Task Test*, nous avons ajouté aux pièces nécessaires à la réalisation des pièces supplémentaires non utiles (Figure 13).

Ces pièces étaient réparties de trois manières différentes :

- Des pièces en quantité supérieure à la quantité minimale pour la construction étaient intégrées avec les pièces nécessaires au montage
- Des pièces de formes ou couleurs similaires étaient intégrées avec les pièces nécessaires au montage
- Des pièces de forme et de couleurs complètement différentes à celles utilisées lors de la construction dans un ensemble différent aux autres pièces



7.3. Démarche de validation du modèle Lego®

Une démarche de validation itérative de la notice mais aussi du modèle de Lego® a été réalisée (Campos, 2017). Elle s'est faite en trois étapes :

- La première étape a été de valider le modèle présenté via LDD et de vérifier que l'ensemble des briques de Lego® étaient disponible à la vente.
- La seconde étape de validation a été de faire construire le modèle par des personnes étant très familier avec la tâche de construction de modèle de Lego®. Cette étape a permis de relever des problèmes de conception dans la notice et a permis par conséquent d'en améliorer la lisibilité.
- La troisième étape a consisté à faire des pré-tests en conditions réelles, dans le service de neurologie. Les pré-tests ont été réalisé avec quatre patients ayant des troubles des fonctions exécutives et quatre sujets contrôle. Cette étape a permis mettre à l'épreuve le protocole de test, de prouver la faisabilité du test et de montrer qu'il était utilisable en conditions hospitalières. De plus, les premiers résultats obtenus lors de ces pré-tests étaient encourageants. En effet, ils ont révélé qu'il y avait une différence entre les performances des sujets contrôles et des patients.

Ce stage de recherche a permis de poser les bases nécessaires au travail de thèse. Il a permis de montrer que l'usage d'une construction de Lego® pouvait permettre d'évaluer la présence de troubles des fonctions exécutives et que les passations étaient possibles en milieu hospitalier.

8. Validation du test de Construction de l'Arc de Triomphe (*Arc de Triomphe Construction Test - ATCT*)

L'étude de validation de l'ATCT a suivi les protocoles standards d'approbation, d'enregistrement et d'obtention du consentement des patients. Elle a été approuvée par le comité d'éthique local (dossier n° 29-2016-HIA-CS) et par le Comité de Protection des Personnes (n° IDRCB : 2021-A00087-34). Finalement, elle a été réalisée en suivant la Déclaration d'Helsinki.

8.1. Matériel et Méthode

8.1.1. Participants

L'étude de validation de l'ATCT a été monocentrique. Tous les patients recrutés étaient hospitalisés dans le service de neurologie de l'HIA Percy pour un suivi de TC ou de LPR entre le mois de mai 2017 et le mois de décembre 2020. Les critères d'inclusion des patients dans l'étude étaient les suivants :

- Avoir plus de 18 ans
- Avoir un TC ou une LPR
- Avoir la capacité de réaliser la tâche dans les conditions fixées par le séjour hospitalier
- Donner son consentement pour la participation à l'étude.

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- Avoir un déficit sensorimoteur empêchant de réaliser la tâche
- Avoir des troubles neurodégénératifs ou psychiatriques préexistants à l'apparition de la maladie affectant les fonctions exécutives.

Chacun des patients dans le cadre de sa prise en charge a réalisé un bilan neuropsychologique associé à sa pathologie, la batterie du Grec-Onco pour les patients ayant une LPR (cf. partie 4.1.1) et la batterie TAP pour les patients ayant un TC (cf. partie 4.1.2).

Les sujets contrôle étaient tous volontaires. Les critères d'inclusion des sujets contrôle étaient les suivants :

- Avoir plus de 18 ans
- Avoir la capacité de réaliser la tâche dans les conditions similaires à celle fixées par un séjour hospitalier
- Donner le consentement pour la participation à l'étude.

Les critères d'exclusion étaient les mêmes que pour les patients :

- Avoir un déficit sensori-moteur empêchant le patient de réaliser la tâche
- Avoir des troubles neurodégénératifs ou psychiatriques préexistants à l'apparition de la maladie affectant les fonctions exécutives.

Nous avons relevé, pour chacun des participants, l'âge, le genre, le nombre d'années d'études et la familiarité avec une tâche de construction de Lego®. Le degré de familiarité était déterminé selon trois catégories :

- « Jamais » : le participant n'avait jamais construit de modèle Lego®
- « Familier » : le participant avait déjà construit au moins une fois un modèle de Lego® et en construit moins d'une fois par an
- « Très familier » : le participant construit plus d'une fois par an des modèles de Lego®

La taille minimale de l'échantillon a été calculée selon les recommandations de Hulley et al. (2007) et de Chow et al. (2017). Les paramètres utilisés pour ce calcul étaient les suivants :

- Un risque α égal à 0.05
- Un risque β égal à 0.1
- La proportion de patients avec une pathologie égale à 0.67
- La proportion de sujets contrôle égale à 0.33
- Une taille d'effet égale à 0.75

- La déviation standard égale à 1

Le nombre de patients à recruter devait donc être supérieur ou égal à 59 et le nombre de sujets contrôle devait être supérieur ou égal à 29.

8.1.2. Procédure

Chaque participant a été évalué avec l'ATCT. 28 patients ont également été évalués avec le *Cooking Task Test*. Les deux tests étaient réalisés dans le SmartFlat avec les mêmes capteurs, trois caméras GoPro Hero 5® et l'oculomètre Tobii Pro Glasses 2®. Le SmartFlat était équipé avec 3 GoPro® positionnées selon la même configuration pour les deux tests :

- La première était positionnée en face du participant afin de permettre l'enregistrement de son buste et de ses mains
- La seconde était positionnée sur le côté du participant afin de permettre l'enregistrement de l'espace de réalisation du test et de ses mains
- La dernière était positionnée en hauteur, près du plafond afin de permettre l'enregistrement des mouvements dans la pièce.

Durant la réalisation de chacun des tests, un observateur était présent afin de donner les consignes au participant au début de chaque passation. L'observateur avait la possibilité d'intervenir pour aider le participant en réalisant une étape ou une partie d'étape afin que le participant ne soit pas en situation d'échec et puisse continuer le test. Les interventions d'aide de l'observateur étaient comptabilisées et l'étape était considérée comme non accomplie. L'observateur n'était pas informé de la situation médicale du patient avant le début du test.

Chaque passation, lorsque l'enregistrement des GoPro® était complet, a été analysée avec la version 7.10.2 du logiciel BORIS (Friard & Gamba, 2016). Ce logiciel permet notamment d'établir des chroniques d'activité de comportements d'intérêts observés durant la réalisation d'une tâche. Le recueil des comportements des participants a été effectué selon une grille d'analyse spécifique pour chacune des tâches (cf. Annexe 2). La grille d'analyse du *Cooking Task Test* est celle proposée par Chevignard et al. (2008) et la grille d'analyse de l'ATCT est une adaptation spécifique de la grille de Chevignard et al. à une tâche de construction de Lego®. Elle a été réalisée en suivant la méthode décrite par Norimatsu et Pigem (2008) pour la création

de grille de codage. Les catégories d'erreurs descriptives étaient dénommées de la même manière dans les deux tâches :

- L'addition
- Les commentaires et questions
- L'erreur d'estimation
- L'omission
- Les substitutions et inversions

Les réglages BORIS permettant l'analyse des deux tests avec les grilles d'analyse utilisées durant l'étude de validation du test de construction de Lego® sont disponible en annexe (cf. Annexe 3).

8.1.2.1. Le test de construction de l'Arc de Triomphe

Le matériel du test nécessaire à la construction du modèle comprenait :

- L'ensemble des briques Lego® nécessaires à la construction et les briques servant de distracteurs réparties dans des sacs transparents.
- Une plaque de montage Lego grise (48x48 tenons, ou 38x38 cm).
- La notice associée au modèle.

Afin de faciliter la répétabilité des mesures, les sacs contenant les briques Lego® étaient alignés selon un ordre précis contre le mur et la notice était posée sur la plaque de construction, devant la chaise du participant (Figure 14).



Figure 14 - Disposition du matériel de test avant le début du test.

Les pièces de lego sont toujours réparties dans des sacs transparents qui sont disposés sur l'espace de travail du patient selon l'ordre suivant (de gauche à droite) :

- Un sac de pièces blanches 2x6x1 (164 dont 144 sont nécessaires au montage)
- Un sac de pièces rouges 2x10x1
- Un sac de pièces plates beiges 2x1x5 et de pièces plates grises 2x1x2
- Un sac de pièces bleues 2x3x1
- Un sac d'arches grises 1x4x2 et d'arches beiges 1x8x2
- Un sac de pièces jaunes et oranges non nécessaires au montage
- Un sac de corniches grises
- Un sac de corniches blanches
- Un sac de barrières beiges 1x4x2, de barrière blanche 1x4x2 et de pièces beige 2x4x1
- Un sac de grands personnages, de petits personnages gris, de flamme et une brique grise ronde 2x2x1
- Un sac de pièces plates jaunes 1x1x5 et de brique roses 1x2x1

- Un sac de pièces rouges 1x6x1, de pièces marrons 1x8x1 et de pièces vertes 1x10x1
- Un sac de plaques jaunes 2x8, de plaques bleues 1x8, de plaque ronde grise 6x6 et de plaques noires

Une fois que le participant était installé à la table, les consignes du test lui étaient données à l'oral avec les explications sur l'usage de la notice de construction.

Une fois les consignes données et le test commencé, le participant était chronométré.

L'ensemble du protocole de passation du test avec le placement des GoPro®, le contenu spécifique de chacun des sacs contenant les briques Lego®, les consignes à donner à l'oral au participant, le descriptif exact des erreurs et des interventions de l'opérateur est disponible en Annexe 4.

Le relevé des erreurs se faisait en comparant la tâche effective, la construction réalisée par le participant, à la tâche prescrite, représentée dans la notice de construction. Tout ce qui n'était pas explicitement décrit par la notice de construction n'était pas pris en compte afin de limiter les biais de familiarité vis-à-vis de la tâche de construction de Lego® (par exemple, le fait de préparer ses pièces en amont ou les prendre au fur et à mesure de l'avancement de la réalisation de l'étape).

Les erreurs, les déviations à la tâche prescrite, étaient ensuite comptabilisées selon la grille d'analyse. Ce relevé des erreurs était complété avec un recueil du niveau d'achèvement de la tâche, déterminé par l'étape atteinte à la fin du test.

En combinant ces deux facteurs, le nombre d'erreurs réalisées et la dernière étape atteinte par le participant durant le test, nous avons pu proposer un score agrégé reflétant correctement les troubles des fonctions exécutives.

$$\text{Score agrégé ATCT} = \log_{10}\left(\frac{1}{\text{Dernière étape atteinte}}\right) + \left(\frac{\text{Nombre total d'erreur}}{\text{Dernière étape atteinte}}\right)$$

Ce score a été défini de manière à être faible avec un lorsque le participant fait peu d'erreurs et atteint une étape élevée dans la construction du modèle. Il est conçu pour augmenter avec l'accumulation d'erreurs ou lorsque le participant atteint une étape peu élevée dans la construction. De plus, il permet de refléter les cas extrêmes tel qu'un avancement faible et un faible nombre d'erreurs, notamment le cas d'un patient n'initiant pas la réalisation de la tâche et donc ne faisant aucune erreur mais n'atteignant que la première étape de la réalisation.

Grâce au logiciel BORIS, nous avons pu établir une liste exhaustive des types de chacune des erreurs de la grille d'analyse et de générer un catalogue vidéo des erreurs (Annexe 5). Chaque vidéo faisait en moyenne une dizaine de seconde avec l'erreur soulignée par un cercle rouge sur la vidéo (Figure 15). Les vidéos qui présentaient un échange de paroles ont été sous-titrées. Durant la tâche de construction, nous avons relevé huit manières de faire une *addition*, quatre manières de faire *un commentaire ou une question*, sept manières de faire une *erreur d'estimation*, trois manières de faire une *omission* et deux manières de faire une *substitution ou une inversion*.

Toutes les vidéos du catalogue ont été floutées afin de respecter l'anonymat des participants et donc permettre sa diffusion. Ce catalogue permet de s'affranchir de la nécessité de suivre une formation pour pouvoir faciliter la reproductibilité inter-opérateur et le déploiement du test.

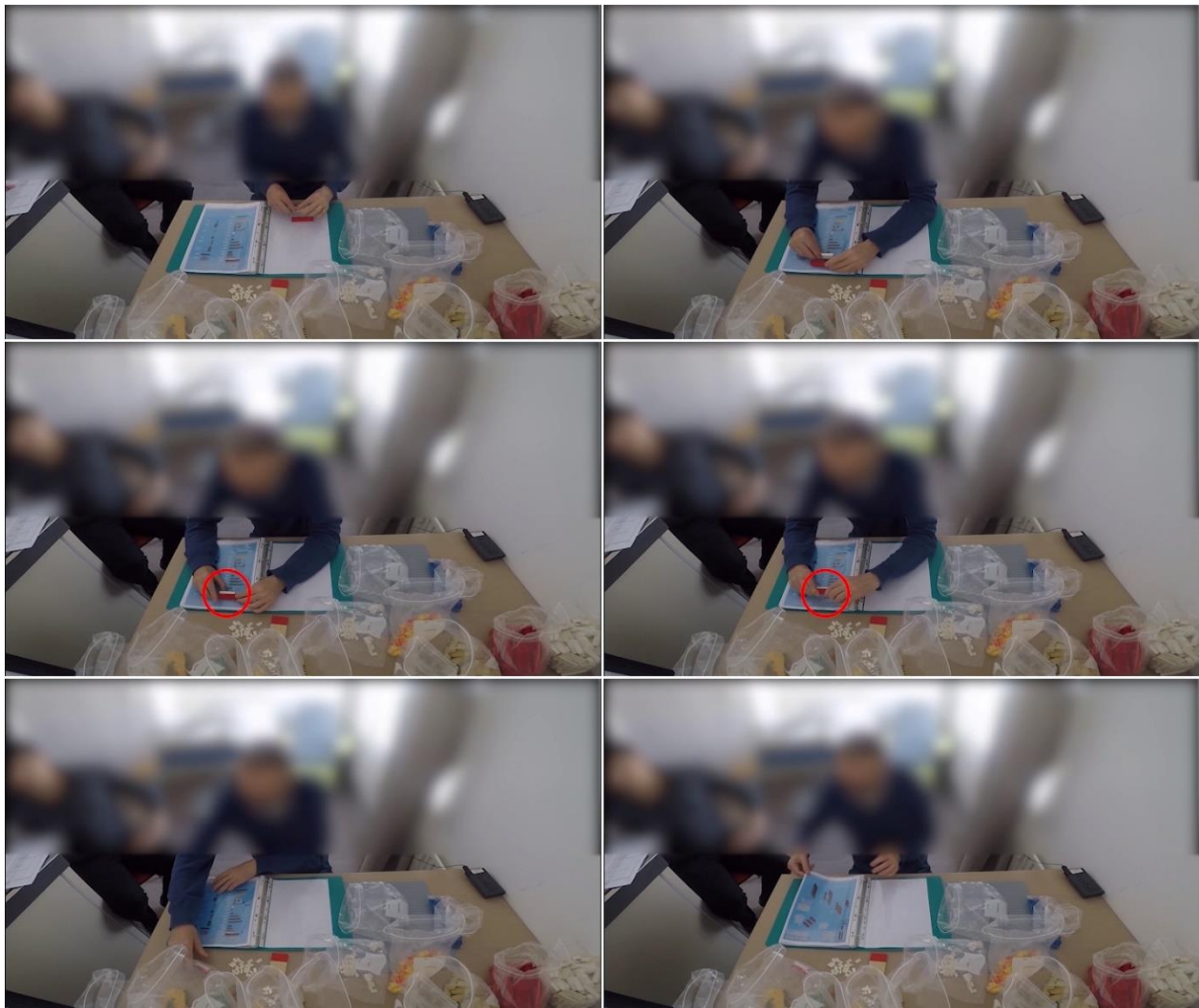


Figure 15 - Capture d'écran d'une vidéo d'un patient illustrant une erreur de type addition (assemblage de pièce non nécessaire)

8.1.2.2. Le Cooking Task Test

Une sous population a également réalisé le Cooking Task Test, avec moins de dix jours d'écart avec la réalisation de l'ATCT. L'analyse du comportement des patients lors du Cooking Task Test a été effectuée lors de la réalisation de la recette de gâteau au chocolat. L'analyse a été complétée selon les trois indicateurs quantitatifs définis par Chevignard et al. (2008), le niveau d'achèvement de la tâche, le temps total pour y arriver et le nombre et le type d'erreurs descriptives.

8.1.3. Analyses statistiques

Nous avons tout d'abord réalisé une première analyse statistique en nous basant sur la pathologie des patients ((i) TC vs. (ii) LPR vs. (iii) Sujets contrôle).

Deux neurologues ont ensuite classé les Bilans Neuropsychologique (BNP) obtenus par une des deux orthophonistes du service de neurologie de l'HIA Percy en deux catégories : BNP paucisymptomatiques (bilans avec des résultats dans les normes non-pathologiques) et BNP symptomatiques (bilans avec des résultats en dehors des normes non-pathologiques). Les classifications discordantes ont été analysées jusqu'à un consensus soit obtenu. En cas de désaccord persistant, un arbitre, le médecin chef du service de neurologie, était désigné, cependant, il est à noter qu'aucun désaccord de cette nature n'a été relevé.

Nous avons donc ensuite réalisé une seconde analyse statistique en nous basant sur les résultats aux BNP ((i) BNP paucisymptomatiques vs (ii) BNP symptomatiques vs (iii) Sujets contrôle).

Les analyses ont été effectuées avec le score agrégé du test, la dernière étape atteinte et le nombre total d'erreurs pour l'ATCT, et pour le *Cooking Task Test*, lorsqu'il avait été réalisé, avec le nombre total d'erreurs descriptives.

La méthodologie statistique employée repose sur celle proposée par Field et al. (2009). Ainsi, avant de faire les analyses, l'homogénéité des variances entre les groupes de participant a été contrôlée avec le test de Levene. Puis une analyse pas ANOVA avec contrastes planifiés a été effectuée. Dans le cas où les tests de Levene étaient significatifs ($p\text{-value} < 0.05$) et donc la condition d'homogénéité des variances non respectée, la comparaison entre les groupes a été

faite avec une ANOVA univariée robuste selon la procédure développée par Wilcox (2012). Une correction de Bonferroni a été appliquée lors des ANOVA. Les analyses *post hoc* ont été faites grâce à des analyses par contraste planifiés (Tableau 12), une analyse de l'effet de taille et une analyse de tendance. Pour qualifier l'effet de l'âge, du genre, de l'habitude de faire des constructions de Lego® et du niveau culturel, une ANCOVA a été effectuée. Si la condition d'homogénéité des variances n'est pas respectée, la comparaison a été conduite avec une ANCOVA robuste selon la procédure développée par Wilcox (2012).

La cohérence entre le nombre total d'erreurs réalisé durant l'ATCT et celui réalisé durant le *Cooking Task Test* ont été analysé avec la méthode de comparaison développé par Bland et Altman (1986). Le *cut-off* du score de l'ATCT a été déterminé par une courbe ROC.

Tableau 12 - Contrastes planifiés pour la validation Post-Hoc des ANOVA univariée

Contraste par pathologie	Sujets contrôle	TC	LPR
Contraste 1	- 2	1	1
Contraste 2	0	-1	1

Contraste par BNP	Sujets contrôle	Paucisymptomatique	Symptomatique
Contraste 1	-2	1	1
Contraste 2	0	-1	1

8.2. Résultats

8.2.1. Participants

Pendant la durée de l'étude, nous avons recruté soixante-cinq patients et trente-cinq sujets contrôle qui avaient le même âge. Sur ces participants, nous avons dû exclure deux patients et quatre sujets contrôle à cause d'un enregistrement incomplet de la tâche à la suite d'un problème technique avec les GoPro®.

Le diagramme du flux de participants à travers toutes les étapes de l'étude est présenté dans la Figure 16. Les variables démographiques des participants, les caractéristiques des lésions et la familiarité avec la tâche sont présentés dans le Tableau 13.

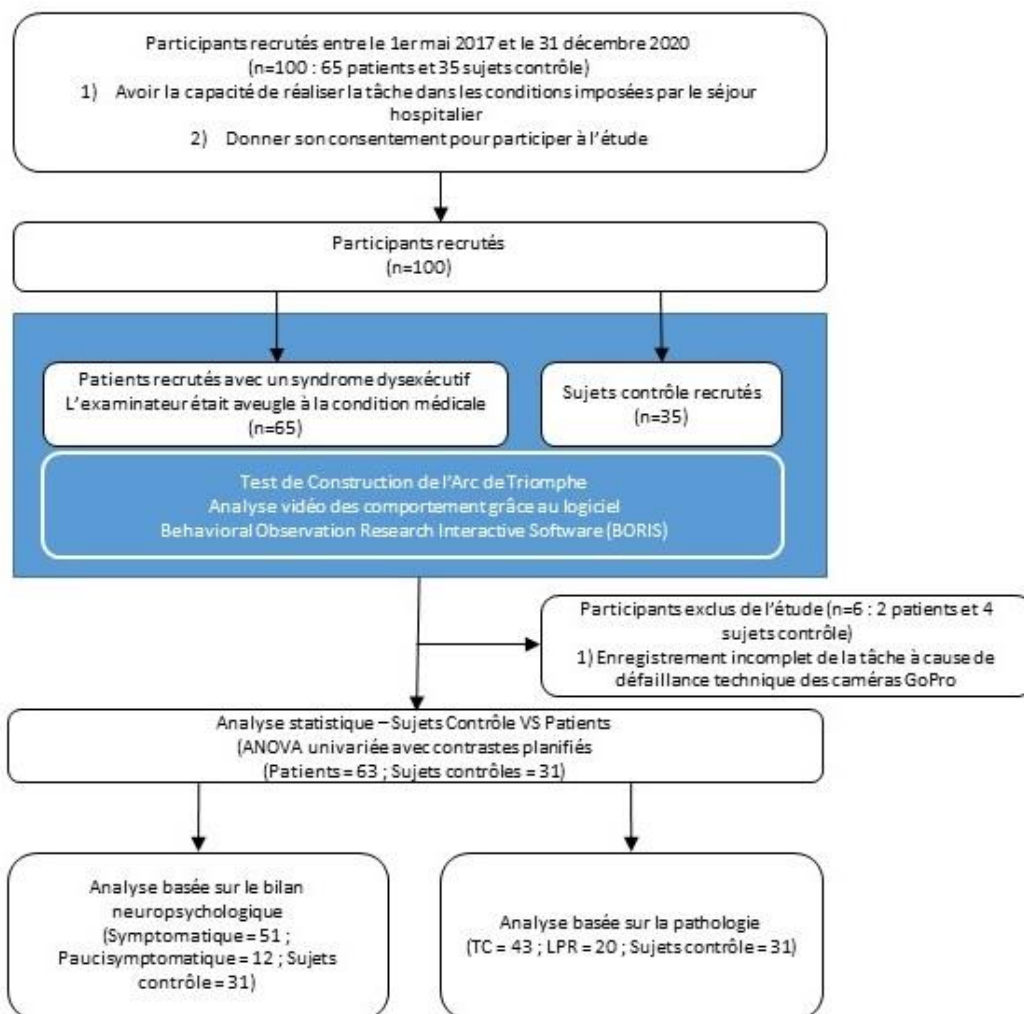


Figure 16 - Diagramme du flux de participants durant l'étude de validation de l'ATCT

Tableau 13 - Données démographiques des participants Pour le Test de Construction de l'Arc de Triomphe Construction Test et du Cooking Task Test ; NA = Non Applicable ; F=Femme ; H=Homme ; ET = Ecart-Type ; J = Jamais ; F = Familier ; TF = Très Familier ; TC = Traumatisme Crânien ; LPR = Leucopathie Post-Radique

	Intégralité des patients	Patients avec un TC	Patients avec une LPR	Sujets contrôles	Intégralité des patients	Patients avec un TC	Patients avec une LPR
Tâche	Test de Construction de l'Arc de Triomphe				Test de Construction de l'Arc de Triomphe et Cooking Task Test		
Nombre de participants (Pourcentage de tous les patients)	63	43 (68%)	20 (32%)	31	27	16 (59%)	11 (41%)
Genre (Ratio)	13 F - 50 H (73 % H)	7 F - 36 H (84 % H)	6 F - 14 H (70 % H)	14 F - 17 H (55 % H)	8 F - 19 H (71% H)	5 F - 11 H (69 % H)	3 F - 8 H (73 % H)
Age moyen - Année, (ET)	43 (16)	36 (12)	58 (16)	43 (12)	43 (16)	37 (11)	52 (18)
Nombre moyen d'année d'éducation (ET)	12 (3)	12 (3)	12(4)	16 (3)	12 (4)	13 (3)	11 (5)
Familiarité avec l'activité de construction de Lego® déclarée par le participant : J/F/TF	21/26/16	12/18/13	9/8/3	7/19/5	NA		

8.2.2. Analyse des données recueillies avec BORIS lors de l'ATCT

Au début du test, tous les participants ont confirmé avoir bien compris les consignes données à l'oral et par écrit dans la consigne.

Nous avons observé chaque type d'erreur descriptive, à la fois dans le groupe des sujets contrôle et dans le groupe des patients.

Pour chacun des paramètres de l'analyse (le score agrégé, la dernière étape atteinte, le nombre de chaque type d'erreurs descriptives et le nombre total d'erreurs), les tests de Levene se sont révélés être significatifs (p -value < 0.05), la condition d'homogénéité des variances n'était donc pas respectée. C'est pourquoi la comparaison entre les groupes a été faite avec une ANOVA robuste univariée. La mesure de l'influence des variables démographiques sur ces facteurs a été réalisée avec une ANCOVA robuste à deux groupes (Patients vs Sujets contrôles) comme le requiert la méthode (Wilcox, 2012).

Les ANOVA univariée et l'analyses des contrastes planifiés montrent que la présence d'une pathologie (TC ou LPR - Tableau 14) et que les résultats aux BNP (paucisymptomatique et symptomatique - Tableau 15) avaient un effet significatif sur chacun des paramètres analysés. Les analyses ont montré que les sujets contrôle avaient de meilleures performances au test (moins d'erreurs, une étape atteinte à la fin du test plus importante et donc un score agrégé plus faible) que les patients et que les patients avec un TC avaient une meilleure performance au test que les patients avec une LPR. Les analyses ont également montré que les sujets contrôle avaient de meilleures performances que les patients, et que les patients avec un BNP « non pathologique » avaient de meilleures performances que les patients avec un BNP « pathologique ». La taille de l'effet de chacune des ANOVA et des contrastes planifiés étaient considérée comme importante ($\eta^2 > 0,14$ - Cohen, 2013).

Tableau 14 - Analyse intergroupe (comparaison, validation et tendance) du Test de construction de l'Arc de Triomphe Construction Test (Sujets contrôle / Traumatisme Crânien (TC) / Leucopathie post-radique (LPR)) pour chaque type d'erreur descriptive, le nombre total d'erreur, la dernière étape atteinte et le score agrégé ; ET = Ecart-Type ; IC = Intervalle de confiance ; NS = Non Significatif

	Comparaison						Post Hoc Validation					
	Nombre d'erreur – Moyenne (ET)			ANOVA			Contraste (univarié)				Tendance	
	Sujets contrôle	TC	LPR	P-value ANOVA	Taille d'effet η^2 (IC 90%)	Puissance	P-value Contraste Contrôles VS Patients	P-value Contraste TC VS LPR	P-value Modélisation par Contraste	Taille d'effet Modélisation par Contraste η^2 (IC 90%)	Tendance	P-value Tendance
Addition	0,29 (0,69)	1,70 (1,77)	5,50 (6,29)	F=16,9565 (2 ; 29,53); p<10-5	0,47 (0,27 ; 0,61)	0,6721637	p<10-5	p<10-4	p<10-6	0,27 (0,15 ; 0,39)	Linéaire	p<10-6
Omission	0,13 (0,34)	2,09 (2,68)	6,45 (3,91)	F=26,8687 (2 ; 28,46); p<10-6	0,67 (0,51 ; 0,76)	0,9399682	p<10-6	p<10-6	p<10-6	0,45 (0,33 ; 0,55)	Linéaire	p<10-6
Erreur d'estimation	2,52 (1,93)	7,30 (5,01)	14,85 (6,82)	F=37,155 (2 ; 32,76); p<10-6	0,68 (0,53 ; 0,77)	0,9463341	p<10-6	p<10-6	p<10-6	0,47 (0,35 ; 0,57)	Linéaire	p<10-6

Commentaires-questions	2,94 (2,54)	10,33 (11,46)	34,05 (24,26)	F=17,4869 (2 ; 29,45); p<10-5	0,57 (0,37 ; 0,68)	0,8409002	p<10-6	p<10-6	p<10-6	0,42 (0,29 ; 0,52)	Linéaire	p<10-6
Substitution-inversion	0,07 (0,25)	0,14 (0,52)	0,35 (1,57)	F=0,6206 (2 ; 39,7); 0,5428	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nombre total d'erreurs	5,94 (3,38)	21,58 (15,44)	61,20 (33,58)	F=38,2147 (2 ; 29,3); p<10-6	0,72 (0,57 ; 0,80)	0,9666526	p<10-6	p<10-6	p<10-6	0,54 (0,43 ; 0,63)	Linéaire	p<10-6
Dernière étape atteinte	123,84 (15,11)	104,79 (29,17)	44,55 (31,29)	F=69,3046 (2 ; 34,38); p<10-6	0,72 (0,59 ; 0,79)	0,9666526	p<10-6	p<10-6	p<10-6	0,57 (0,45 ; 0,65)	Linéaire	p<10-6
Score agrégé à l'ATCT	-1,31 (0,28)	-0,76 (0,48)	0,19 (0,54)	F=66,9025 (2 ; 39,75); p<10-6	0,76 (0,65 ; 0,82)	0,9801803	p<10-6	p<10-6	p<10-6	0,61 (0,51 ; 0,68)	Linéaire	p<10-6

Tableau 15 - Analyse intergroupe (comparaison, validation et tendance) du Test de construction de l'Arc de Triomphe Construction Test (Sujets contrôle / Patients avec un BNP présentant des scores dans les normes non-pathologique (paucisymptomatique) / Patients avec un BNP présentant des scores en dehors des normes non-pathologique (symptomatique)) pour chaque type d'erreur descriptive, le nombre total d'erreur, la dernière étape atteinte et le score agrégé ; ET = Ecart-Type ; IC = Intervalle de confiance ; NS = Non Significatif

	Comparaison						Post Hoc Validation					
	Nombre d'erreur – Moyenne (ET)			ANOVA			Contraste (univarié)				Tendance	
	Sujets contrôle	Pauci-symptomatique	Symptomatique	P-value ANOVA	Taille d'effet η^2 (IC 90%)	Puissance	P-value Contraste Contrôles VS Patients	P-value Contraste paucisymptomatique VS symptomatique	P-value Modélisation par Contraste	Taille d'effet Modélisation par Contraste η^2 (IC 90%)	Tendance	P-value Tendance
Addition	0,29 (0,69)	0,33 (0,49)	3,51 (4,42)	F=14,556 (2 ; 27,88); p<10-4	0,35 (0,16 ; 0,49)	0,6535324	0,022	p=0,002	p<10-4	0,19 (0,08 ; 0,31)	Linéaire	p<10-4
Omission	0,13 (0,34)	0,33 (0,49)	4,22 (3,75)	F=21,8646 (2 ; 25,72); p<10-6	0,66 (0,47 ; 0,76)	0,9962243	p<10-3	p<10-4	p<10-6	0,35 (0,22 ; 0,46)	Linéaire	p<10-6
Erreur d'estimation	2,52 (1,93)	4,33 (2,96)	10,96 (6,62)	F=26,6883	0,70	0,9985017	p<10-4	p<10-4	p<10-6	0,38 (0,25 ; 0,49)	Linéaire	p<10-6

				(2 ; 24,57); p<10-6	(0,54 ; 0,79)							
Commentaires-questions	2,94 (2,54)	3,83 (3,88)	21,16 (20,64)	F=15,3473 (2 ; 26,83); p<10-5	0,56 (0,34 ; 0,69)	0,9733174	0,006	p<10-3	p<10-5	0,26 (0,13 ; 0,37)	Linéaire	p<10-5
Substitution-inversion	0,07 (0,25)	0,08 (0,29)	0,24 (1,07)	F=0,1286 (2 ; 29,89); p=0,8798	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Nombre total d'erreurs	5,94 (3,38)	8,92 (6,22)	40,08 (29,33)	F=28,5349 (2 ; 23,39); p<10-6	0,70 (0,53 ; 0,80)	0,9985017	p<10-3	p<10-4	p<10-6	0,37 (0,24 ; 0,48)	Linéaire	p<10-6
Dernière étape atteinte	123,84 (15,11)	124,33 (9,78)	76,57 (40,17)	F=24,7261 (2 ; 40,08); p<10-6	0,57 (0,40 ; 0,67)	0,9775591	0,001	p<10-5	p<10-6	0,37 (0,24 ; 0,48)	Linéaire	p<10-6
Score agrégé à l'ATCT	-1,31 (0,28)	-1,21 (0,39)	-0,28 (0,59)	F=43,2201 (2 ; 25,54); p<10-6	0,78 (0,66 ; 0,85)	0,9998162	p<10-5	<-10-6	p<10-6	0,52 (0,40 ; 0,61)	Linéaire	p<10-6

Le score Cut-Off du test permettant de discriminer les patients des sujets contrôle a été déterminé avec la courbe ROC présenté dans la figure 17. Ce score Cut-Off de -0,996 obtient une aire sous la courbe de 0,905. La sensibilité associée avec ce score est de 0,825, la spécificité est de 0,968. La valeur prédictive positive associée au score est de 0,981 et la valeur prédictive négative 0,732. Afin de faciliter l'usage, le score Cut-Off proposé a été adapté à -1.

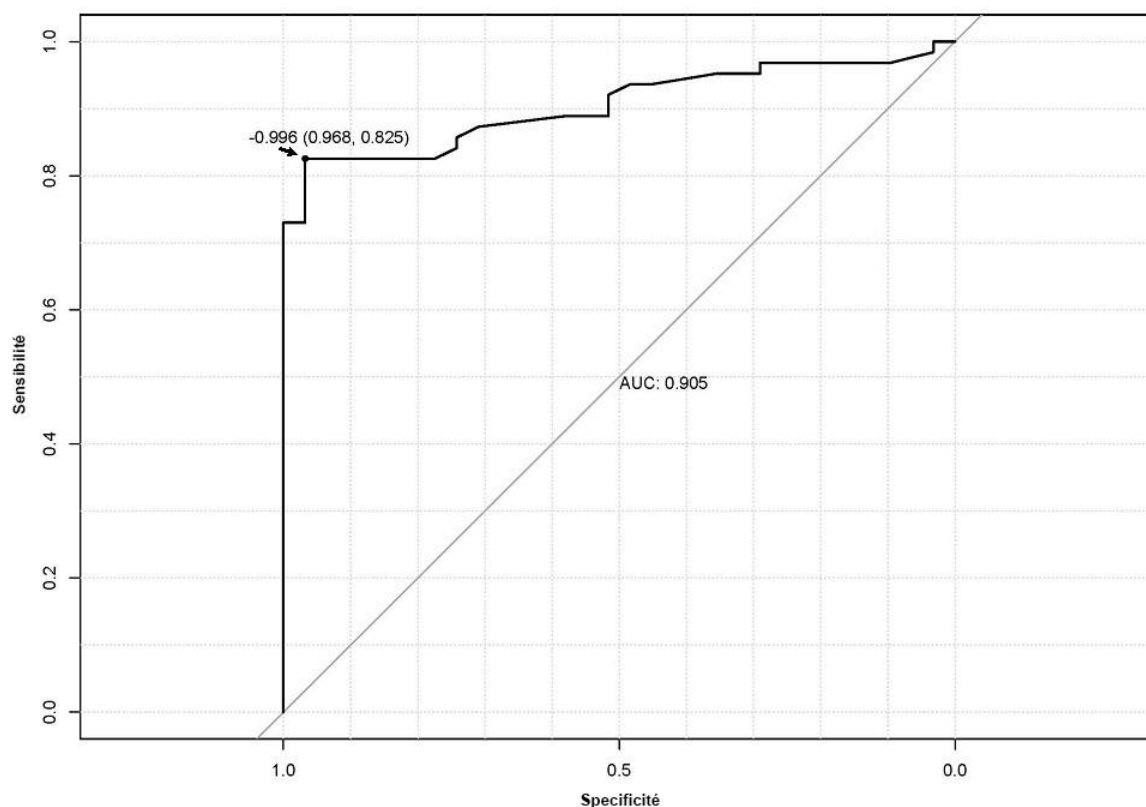


Figure 17 - Courbe ROC du test agrégé du test de construction de l'Arc de Triomphe montrant le meilleur score Cut-Off (-0,996) permettant de différencier les sujets contrôle et les patients avec la meilleure spécificité (0,968) et la meilleure sensibilité (0,825)

La distribution du score agrégé de l'ATCT, testée avec le test de Shapiro et présenté dans la Figure 18, était normale pour toutes les conditions présentées dans l'analyse, pour le groupe des sujets contrôle, pour les groupes de patients avec un TC, avec une LPR, avec un BNP paucisymptomatique et avec un BNP symptomatique.

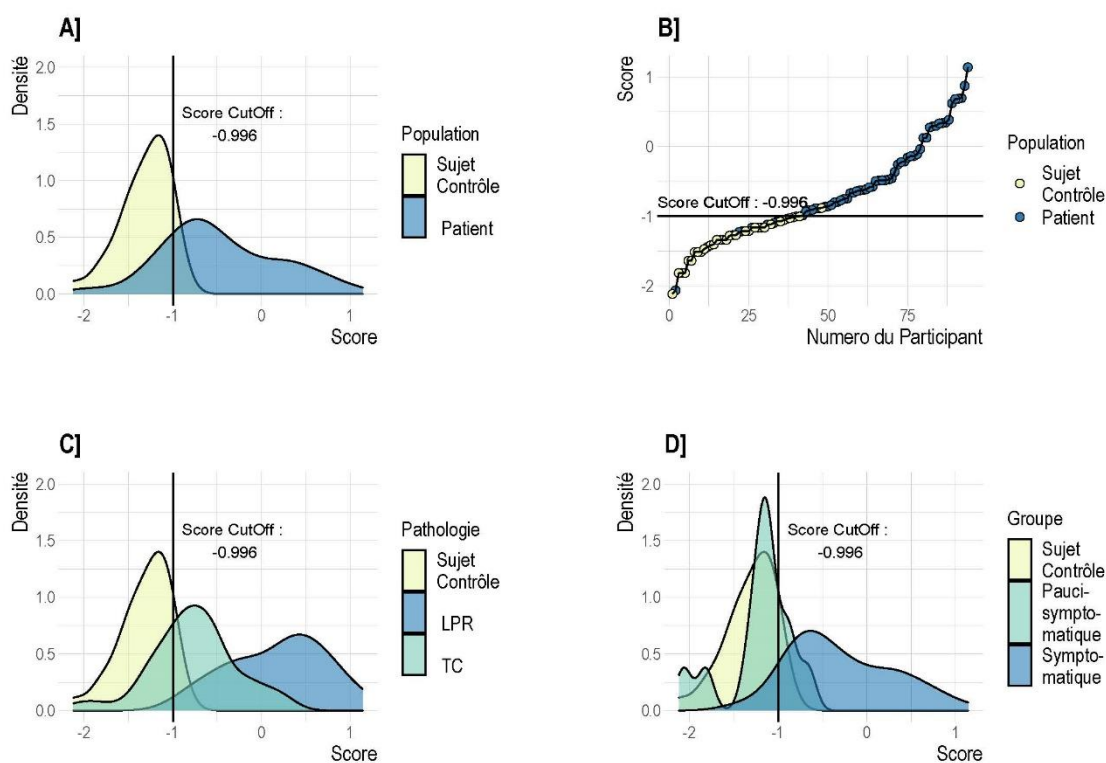


Figure 18 - Distribution du score agrégé du test de construction de l'Arc de Triomphe – graphique de densité présentant les distributions des scores entre les populations (A) et les groupes (C, D) de l'analyse et la courbe tracée par les points de chacun des scores agrégés (B)

La partie A de la figure représente un graphique de densité présentant les distributions des scores agrégés des populations de sujet contrôle (en jaune) et de patient (en bleu) avec le score Cut-Off fixé à -0.996 représenté par la ligne verticale. L'axe des X représente la valeur du score agrégé du test. L'axe des Y représente en X la densité calculée pour la zone sous la courbe dX égal au pourcentage de la valeur X dans la distribution

La partie B de la figure représente la courbe tracée par les points de chacun des scores agrégés (jaune pour les sujets contrôle et bleu pour les patients) observé classé du meilleur (-2,117 – le meilleur score atteignable) au pire (1,142) observé avec la limite du score Cut-Off représenté par la ligne horizontale placée à -0.996.

La partie C de la figure représente un graphique de densité présentant les distributions des scores agrégés des populations de sujet contrôle (en jaune), de patient avec une Leucopathie Post-

Radique (LPR - en bleu) et de patient avec un Traumatisme Crânien (TC - en vert) avec le score Cut-Off fixé à -0.996 représenté par la ligne verticale. L'axe des X représente la valeur du score agrégé du test. L'axe des Y représente en X la densité calculée pour la zone sous la courbe dX égale au pourcentage de la valeur X dans la distribution

La partie D de la figure représente un graphique de densité présentant les distributions des scores agrégés des populations de sujet contrôle (en jaune), de patients avec un BNP dont les scores ne sont pas dans les normes non pathologiques (« symptomatique » - en bleu) et de patient avec un BNP dont les scores sont dans les normes non pathologique (« paucisymptomatique » - en vert) avec le score Cut-Off fixé à -0.996 représenté par la ligne verticale. L'axe des X représente la valeur du score agrégé du test. L'axe des Y représente en X la densité calculée pour la zone sous la courbe dX égal au pourcentage de la valeur X dans la distribution

Parmi les participants, un sujet contrôle a obtenu un score supérieur au score Cut-Off, et onze patients ont obtenu un score inférieur au score Cut-Off. Sur ces onze patients, neuf avaient un BNP paucisymptomatique et le deux autres avaient un BNP faiblement symptomatique, dû à un TC modéré.

La seule occurrence de comportement inapproprié qui a été observée l'a été durant un test réalisé avec un patient ayant un TC léger et un BNP pathologique, le patient a verbalement menacé l'examineur. Malgré cet événement, le test a tout de même été mené à bien.

Des ANCOVA robustes ont permis de montrer que l'âge, le genre, l'habitude de réaliser des constructions en briques Lego® et les scores agrégés des sujets contrôle et des patients n'étaient pas liés. Cependant, l'effet du niveau d'éducation devra être adressé dans d'autres études.

8.2.3. Comparaison entre le nombre total d'erreurs réalisé durant l'ATCT et le Cooking Task Test

Vingt-sept patients ont réalisé à la fois l'ATCT et le *Cooking Task Test*, dans les mêmes conditions, dans un délai de dix jours. Durant l'analyse de ces paires de passation, nous avons noté la présence de trois patients ayant eu une différence très importante dans le nombre total d'erreurs (supérieur à deux fois l'écart-type), bien qu'il soit qualifié de symptomatique dans les deux tests. Ces trois couples de valeurs biaisaient la distribution du nombre total d'erreurs dans les deux tests et impliquaient donc une p-value significative au test de Shapiro, ce qui empêchait l'usage du test de Bland et Altman.

Afin de pouvoir utiliser ce test statistique, nous avons substitué ces trois couples de valeurs par une valeur égale à la moyenne plus deux fois l'écart-type, comme suggéré par Field (2009), permettant de ce fait d'obtenir une p-value non significative au test de Shapiro. Nous avons également obtenu une p-value non significative en supprimant ces trois couples de valeurs.

Les p-values non-significative aux tests de Shapiro rendaient possible l'usage du test de Bland et Altman. Il a permis de montrer la présence d'une forte corrélation entre le nombre total d'erreurs descriptives des deux tests. (Figure 19).

Le coefficient de corrélation de Pearson entre les deux tests est égal à 0,94.

L'équation de régression entre le nombre total d'erreurs des deux tests avait cette forme :

Nombre total d'erreurs à la fin de l'ATCT = 0.8035395 x Nombre total d'erreurs à la fin du Cooking Task Test + 13.51243

La partie A de la figure représente la droite de régression (en bleue) et la droite d'égalité (en rouge) entre le nombre total d'erreurs descriptives réalisées durant l'ATCT et le *Cooking Task Test*.

La partie B de la figure correspond à la représentation graphique du test de Bland et Altman avec la limite des intervalles de confiance pour la moyenne et les limites d'agrément (zone rouge et verte) entre, dans l'axe des Y, les différences entre le nombre total d'erreurs à la fin de l'ATCT et à la fin du *Cooking Task Test* et, dans l'axe des X, la moyenne du nombre total d'erreurs à la fin de l'ATCT et du *Cooking Task Test*.

Représentation graphique du test de Bland & Altman

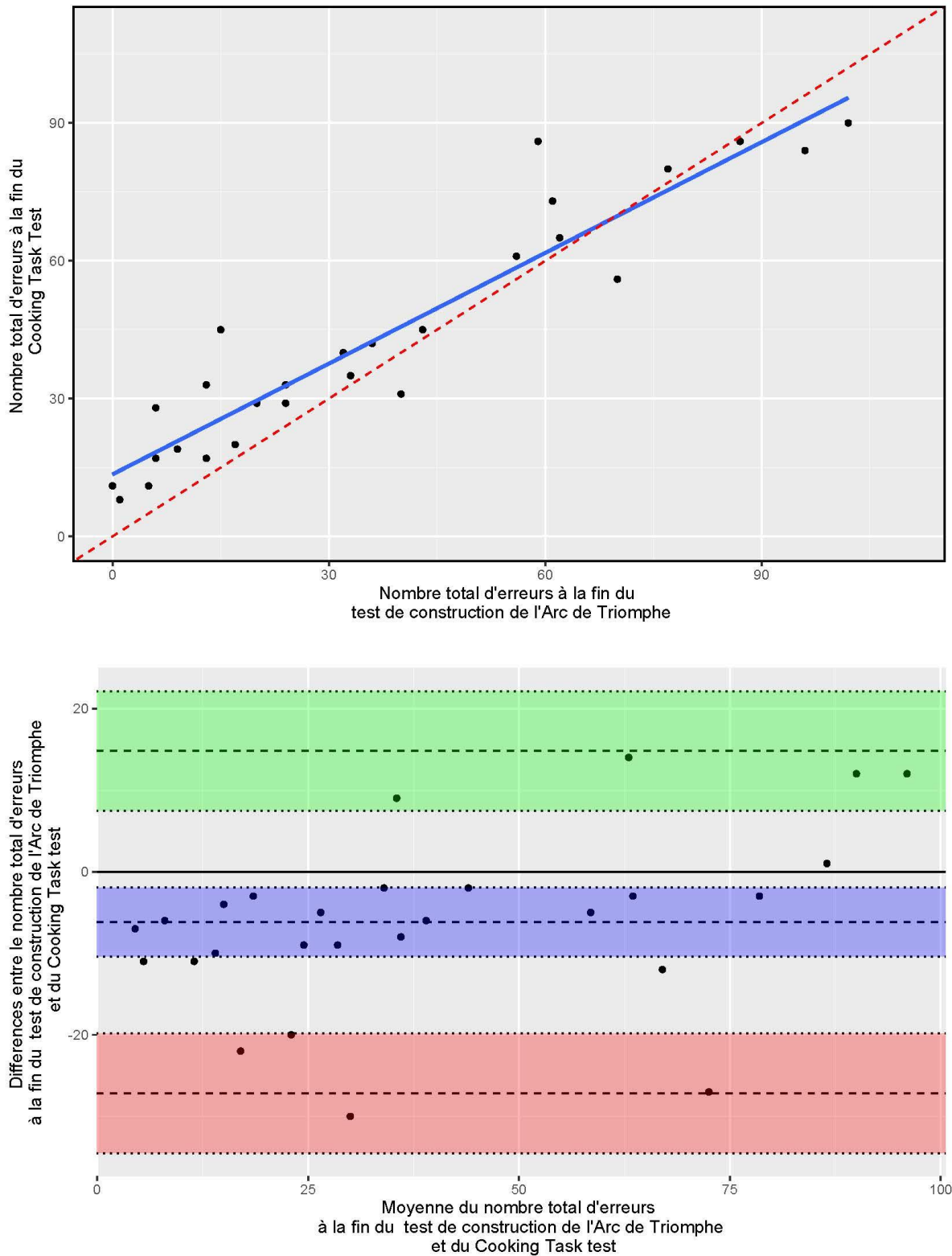


Figure 19 - Représentation graphique du test de Bland et Altman comparant le nombre total d'erreurs réalisé par des patients durant l'ATCT et le Cooking Task Test

8.2.4. Durée de l'analyse

Le temps d'analyse requis pour réaliser les analyses de l'activité via BORIS dépendait du nombre d'erreurs réalisé par le participant et de la dernière étape atteinte. En général, il a fallu plus de temps pour analyser les passations du *Cooking Task Test* que pour analyser les passations de l'ATCT. Donc, c'est pourquoi le temps nécessaire pour réaliser les analyses pouvait aller de la même durée que le test à deux fois la durée du test.

8.3. Discussion

Cette étude a permis de démontrer que l'ATCT, utilisant une construction en briques de Lego®, conçu en respectant les recommandations proposées par Lezak et al. (2012), Auger et al. (2006) et Poncet et al. (2017) pouvait être utilisé en milieu hospitalier. L'environnement de test est sécurisé et accessible. Les patients sont assis devant un bureau avec tout le matériel à portée de main, ce qui permet de supprimer la nécessité de locomotion, de station debout ou de manipulation hasardeuse de la part de patients ayant des troubles de l'équilibre ou de locomotion. En utilisant comme base la grille d'analyse de Chevignard et al. (2008), nous avons pu proposer une grille d'analyse dédiée et créer un score agrégé pour le test nous permettant de le normaliser et de le standardiser avec quatre-vingt-quatorze participants (63 patients et 31 sujets contrôle). Le score cut-off de -1 est robuste et affiche un pouvoir discriminant élevé entre les patients ayant des troubles des fonctions exécutives et les sujets contrôle. Le score agrégé est également proportionnel à la gravité des troubles des fonctions exécutives. Nous avons observé que l'ATCT semblait prometteur pour le suivi longitudinal intra-individuel. Finalement, nous avons montré que le logiciel BORIS permettait d'effectuer une notation très précise. Il nous a également permis de proposer un catalogue vidéo des erreurs facilement utilisable permettant la reproductibilité inter-opérateur et un meilleur déploiement du test.

Lors de l'évaluation des patients, nous n'avons pas rencontré de difficultés particulières. L'un des patients, ayant un TC léger, cliniquement reconnu comme étant impulsif, a eu une réaction verbale inappropriée, mais sans agression physique et a fini la tâche. De tels troubles du comportement ont déjà été rapporté (Chevignard et al, 2006) et peuvent être attendus durant l'étude des troubles des fonctions exécutives et des pathologies des lobes frontaux. Neuf des onze patients ont obtenu un score à l'ATCT paucisymptomatiques (inférieurs à -1), en cohérence avec leur BNP qui était également catégorisé comme paucisymptomatique. Ces neuf patients avaient un TC. Le score des deux autres patients était également paucisymptomatique, mais a un écart-type du seuil pathologique. Ces deux patients avaient réalisé un BNP légèrement pathologique sans trouble visuo-spatial ou de syndrome dysexécutif comportemental. Ces onze patients ont par la suite montré une évolution clinique positive. En effet, les TC ne sont pas toujours suivis de séquelles cognitives et dysexécutives persistantes (Feigin et al., 2013; Stiell et al., 2001). Seulement un des sujets contrôle a obtenu un score symptomatique (supérieur à -1) à l'ATCT, qui était dans un intervalle inférieur à un demi écart-type. Ce sujet contrôle a pris son temps lors de la construction du modèle, a commis quelques erreurs d'inattention et plusieurs commentaires sur son inexpérience face à la réalisation de test psychomoteur. L'apparition de ce type de « faux positif » reflète le fait que la réalisation et l'interprétation d'un test comportemental est liée au contexte et à la volonté du participant.

Dans la littérature, nous n'avons pas trouvé de score composite validé pour des tests instrumentaux ou papier-crayon pour l'évaluation des troubles des fonctions exécutives. Le score agrégé de l'ATCT résume l'intégralité de la performance du patient pendant le test (erreurs descriptives, dernière étape atteinte en une heure, et échecs). L'analyse des tendances a montré que plus l'impact sur de la pathologie sur les fonctions exécutives est grave, plus le score agrégé à l'ATCT (score supérieur à -1) est symptomatique. De plus, le score agrégé ATCT présente une distribution normale dans chaque groupe. À notre connaissance, c'est la première fois qu'un test cognitif dédié à l'évaluation des fonctions exécutives avec de telles propriétés de notation est conçu. L'ATCT est un excellent candidat pour surveiller l'altération des fonctions exécutives dans le cadre d'un suivi intra-individuel. Une nouvelle étude clinique a été initiée pour évaluer ce dernier point (Etude pour la quantification dans les conditions écologiques des troubles sensorimoteurs et dysexécutifs chez les patients paralysés cérébraux - numéro NCT : NCT05017051).

Les fonctions exécutives sont de processus cognitifs hautement intégrés et leurs troubles peuvent avoir plusieurs origines. Les représentations taxonomiques nécessaire à l'analyse des

tâches cognitives ont montré un continuum entre les tâches réalisées en environnement contrôlé permettant l'analyse d'une fonction précise et les tâches réalisées en environnement clinique réel. Dans cette perspective, l'ATCT et le *Cooking Task Test* sont des tests qui appartiennent aux « micro-mondes complexes permettant l'étude de l'exploration et de la résolution de problèmes » (Rasmussen, 1993). Cette approche permet une évaluation intégrée des fonctions exécutives et de leurs efficacités est complémentaire de l'évaluation neuropsychologique classique. Il existe des différences mineures entre l'ATCT et le *Cooking Task Test*. L'ATCT repose sur des consignes plus détaillées, plus étendues et plus ordonnées avec plusieurs sous-tâches à réaliser pour continuer décrites dans la notice de construction. De plus, il ne permet pas aux participants de modifier la séquence nécessaire à la réalisation correcte de la tâche.

Pour la notation du *Cooking Task Test*, nous avons relevé deux limites, les descriptions d'erreurs et les instructions de test peuvent manquer de précision, les opérateurs doivent donc assister à une session de formation de quatre jours pour minimiser les biais d'analyse (Poncet et al., 2015) et la notation ne tient pas compte de l'analyse détaillée de l'avancement de la tâche. L'ATCT répond aux limites du *Cooking Task Test* par un catalogue précis des erreurs limitant les possibilités d'interprétations erronées et le score agrégé de l'ATCT est conçu avec le nombre d'erreurs descriptives et la dernière étape atteinte durant le test.

Trois patients ont obtenu de meilleurs résultats durant le *Cooking Task Test* que durant l'ATCT. Ils ont réussi à finir le *Cooking Task Test* alors qu'ils n'ont pas réussi à terminer la construction de l'Arc de Triomphe en une heure. Ils ont fait plus d'erreurs descriptives dans le test de l'Arc de Triomphe que dans le test de tâche du gâteau au chocolat. Or, ils présentaient une altération cliniquement sévère des fonctions exécutives et leurs BNP étaient hautement symptomatiques. L'ATCT était plus en accord avec ce statut clinique.

Nous n'avons observé aucun effet de la familiarité avec l'activité de construction de briques Lego® et la performance ATCT contrairement à ce qui a été montré dans la test de cuisine (2008).

L'ATCT a également certaines limites. Premièrement, la durée de réalisation de la tâche d'une heure pourrait limiter son déploiement dans les évaluations cliniques de routine. Cependant, cette durée de test pourrait devenir un avantage car elle permet d'évaluer la fatigabilité sur les fonctions exécutives et attentionnelles. Il est à noter que les tests d'une durée d'une heure ou plus sont acceptés en évaluation neuropsychologique. Le temps d'analyse de l'ATCT compris entre 45 minutes et 2 heures constitue une autre limite. Ce temps peut être réduit avec de la pratique dans l'usage du logiciel BORIS. L'intérêt et la force de l'ATCT reposent sur sa

reproductibilité inter-juges : l'utilisation de l'enregistrement vidéo permet une interprétation plus précise de chaque comportement. La disponibilité d'un catalogue d'erreurs détaillé ouvre la possibilité d'études multicentriques comparatives avec des évaluations objectives. Enfin, l'effet de l'impact du niveau d'éducation sur la réalisation de la tâche devra être abordé dans des études ultérieures.

8.4. Conclusion

Cette étude propose donc une nouvelle tâche écologique permettant l'évaluation des troubles des fonctions exécutives utilisable en milieu hospitalier et répondant aux limites du Cooking Task Test. L'ATCT est facilement reproductible et est suffisamment sensible pour qualifier les troubles des fonctions exécutives avec de très importantes propriétés discriminantes. Ce test introduit également un score composite unique permettant de classer les patients selon la gravité de leurs pathologies. Le score a une distribution normale chez les patients et chez les sujets contrôle, ce qui est un avantage certain dans l'évaluation des fonctions cognitives. Cette étude apporte des données cognitives pour la corrélation avec différentes caractéristiques telles que les prélèvements biologiques ou les IRM. Enfin, ce test est prometteur pour le suivi longitudinal des troubles des fonctions exécutives des patients.

Finalement, les chroniques d'activité générées par BORIS permettent aux praticiens d'avoir une représentation graphique facilement compréhensible des performances du patient lors de la réalisation de l'ATCT et permettent donc une meilleure compréhension de son état.

9. Analyse oculométrique des stratégies de recherche d'information lors de l'ATCT

Pour compléter l'analyse du comportement des participants lors de la réalisation de l'ATCT et enrichir le réseau nomologique sur lequel s'appuie la validation du test, nous avons équipé les participants avec un oculomètre afin d'étudier les mouvements oculaires lors de la recherche d'informations. Pour ce faire, nous avons sélectionné quatre étapes précises de la construction qui nécessitent une attention particulière aux détails. Cette étude était soumise au même CPP (n° IDRCB : 2021-A00087-34) que l'étude de validation du test.

9.1. Matériel et méthode

9.1.1. Participants

Les participants recrutés pour cette étude sont les mêmes que ceux de l'étude de validation de l'ATCT. Ils répondent donc aux mêmes critères d'inclusion et d'exclusion, (cf. partie 9.1.1.). Cependant, sur l'ensemble des participants de l'étude de validation, n'ont été retenus que les participants ayant un enregistrement oculométrique complet des quatre ensembles d'étapes d'intérêt, les étapes 29-32 (O1), les étapes 41-46 (O2), les étapes 86-89 (O3) et les étapes 101-104 (O4). L'oculomètre était un oculomètre Tobii Pro Glasses 2®.

9.1.2. Procédure d'analyse des données oculométriques

Nous avons procédé à un codage des données oculométriques suivant la procédure de Duchowski (2017) pour les données objectives. Nous avons relevé deux indicateurs de performance, qui ont été mesurés durant la réalisation de l'ATCT :

L'efficacité, ou le temps nécessaire pour réaliser la tâche

L'efficacités, ou le nombre d'erreurs commises durant la réalisation de la tâche

Nous avons mesuré deux indicateurs classiques dans l'étude des mouvements oculaires, sur les quatre suggérés¹⁹:

Le nombre de fixations par zones d'intérêt

La durée des fixations (total, moyenne) par zone d'intérêt

Cinq aires d'intérêt (*Areas of Interest*, ou AOI) ont été identifiées, ainsi définies car elles permettaient de rendre compte de l'ensemble des fixations oculaires sur le plan de travail au cours de la réalisation de la tâche (Figure 20 ; Tableau 16). A ces cinq zones s'ajoutent trois autres catégories, correspondant aux fixations en-dehors du plan de travail :

Pour coder les regards dirigés vers l'environnement, nous avons distingué les situations où le regard avait été clairement attiré par un événement extérieur, par exemple un bruit, et les situations où aucun événement de ce type ne pouvait être identifié.

Nous avons également codé séparément les regards dirigés vers l'observateur, un ergonome.

Le système a été calibré à chaque participant, et les codages des fixations oculaires dans chacune des AOIs ont été intégrées directement dans la vidéo à l'aide du logiciel propriétaire développé par Tobii. Ces analyses ont été couplées avec un codage des fixations *via* le logiciel BORIS afin d'obtenir des chroniques d'activité²⁰.

L'analyse des données issues des codages BORIS a été réalisée selon la même procédure que celle utilisée dans l'étude de validation de l'ATCT, une ANOVA robuste suivie d'une analyse

¹⁹ Nous n'avons donc pas mesuré les changements de focus attentionnel et la similitude des trajectoires visuelles.

²⁰ Une chronique d'activité est une représentation graphique en 2D de données d'observation, intégrant en abscisse le temps écoulé, et en ordonnée les différentes catégories de comportements et autres événements observés.

par contrastes planifiés (cf. Tableau 12). Pour chaque AOI et pour chaque étape d'intérêt (O1 à O4) les paramètres oculométriques analysés étaient les suivants :

Le pourcentage de temps de fixation passé sur l'AOI durant la construction de l'étape d'intérêt

Le nombre total de fixation passé sur l'AOI durant la construction de l'étape d'intérêt

La durée totale des fixations passée sur l'AOI durant la construction de l'étape d'intérêt

La durée moyenne des fixations passée sur l'AOI durant la construction de l'étape d'intérêt



Figure 20 - Emplacement des Aires d'Intérêts (AOI)

Tableau 16 - Description des Aires d'Intérêts (AOI)

Aire d'intérêt (AOI)	Contenu
1 - Encart notice	Représentation de la structure finale et indication du type et du nombre de pièces nécessaires à l'étape en cours.
2 – Étape	L'ensemble de la page du manuel, à l'exception de l'AOI 1.
3 - Sachet <i>relatif à la tâche</i>	Le(s) sachet(s) contenant les pièces nécessaires à l'étape en cours.
4 - Sachet <i>non relatif à la tâche</i>	Tout autre sachet, contenant des pièces non pertinentes à la réalisation de la tâche.
5 - Espace de travail	Tout espace où le participant entreprend des actions dirigées vers l'accomplissement de la tâche, à l'exception de toutes les AOI déjà citées.
6 - Ergonome	Tout regard dirigé vers l'ergonome.

7 - Environnement (regard induit)	Zone située en dehors de l'espace de travail. L'attention du participant a été attirée à la suite d'un évènement clairement identifiable.
8 - Environnement (regard spontané)	Zone située en dehors de l'espace de travail. Il n'y a pas d'évènement identifiable qui attire l'attention du participant.

Lorsque l'on observe la Figure 20, on remarque que l'AOI 1 peut sembler petite vis-à-vis des autres AOI, en particulier l'AOI 5, mais elle correspond à une zone spécifique de la notice qui joue un rôle et un sens particuliers dans les notices de modèle de Lego®, celle de montrer toutes les pièces nécessaires à la réalisation de l'étape en cours, notamment lorsqu'elle nécessite plusieurs pages.

De plus, lors de la construction du montage du modèle de Lego®, les participants changeaient l'organisation de leur espace de travail, se rapprochaient régulièrement de la notice pour mieux voir, et donc, la taille des AOI variait en fonction de l'appropriation de l'espace de test par chacun des participants et de leurs mouvements.

Ainsi, cette répartition des AOI et cette modification de leur taille est spécifique au contexte de cette étude qui se déroule dans des conditions de la vie réelle. Les mouvements de tête et le changement de point de vue, courants dans la vie quotidienne peuvent limiter la précision des mesures tout en restant suffisamment précis pour être concluants lors de l'analyse des données oculométriques.

9.2. Résultats

L'ensemble des données brutes est disponible en annexe 7 (données descriptives des paramètres oculométriques) et 8 (matrices de transition après un évènement).

9.2.1. Participants

Sur l'ensemble des participants recrutés lors de l'étude de validation de l'ATCT, seul vingt-cinq patients et vingt-quatre sujets contrôle respectaient les conditions d'inclusion et d'exclusion. La différence entre les effectifs de participants entre les deux études peut s'expliquer par plusieurs facteurs :

Les personnes ne portant habituellement pas de lunettes ont eu tendance à regarder sous la monture de l'oculomètre, l'empêchant ainsi de détecter les reflets pupillaires et donc, d'obtenir les données sur les regards

Une détection imparfaite des reflets pupillaires lorsque les participants portaient des lunettes de vue durant le test.

Le diagramme du flux de participants à travers toutes les étapes de l'études d'analyse oculométrique des stratégies de recherche d'information lors de l'ATCT est présenté avec la Figure 21. Les caractéristiques démographiques des participants de cette étude sont présentées dans le Tableau 17.

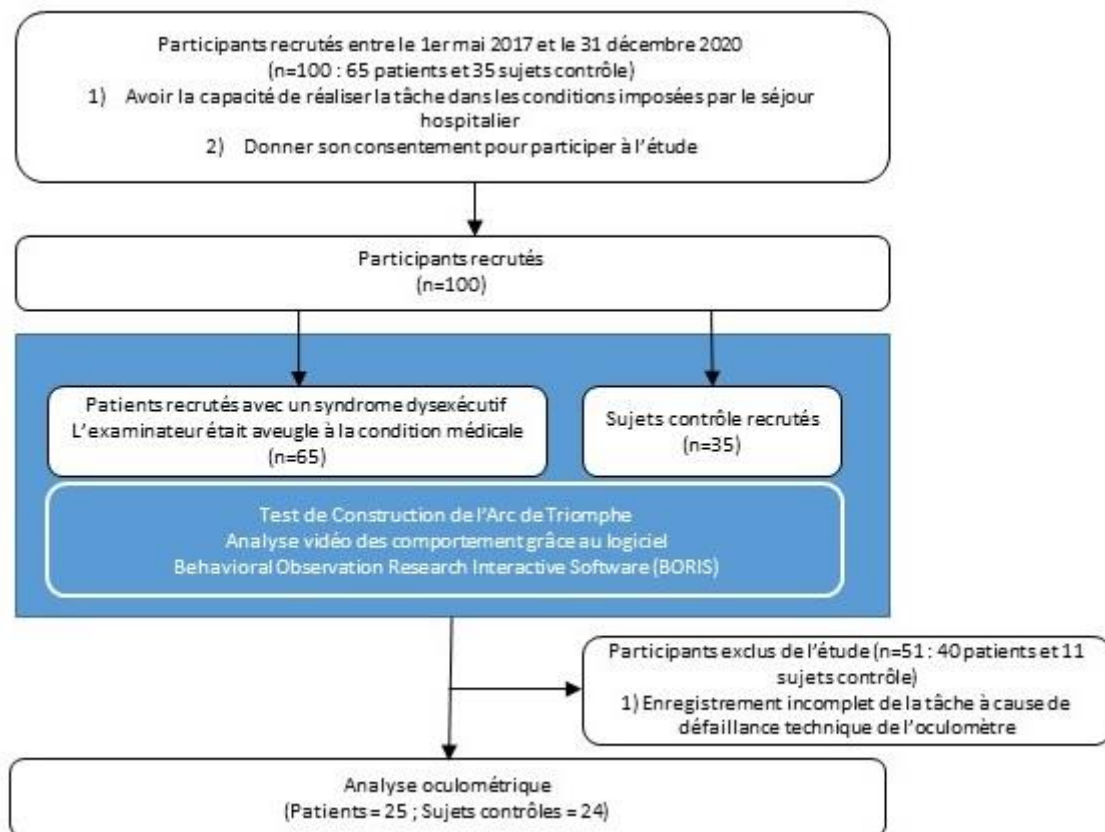


Figure 21 - Diagramme du flux de participants durant l'étude d'analyse oculométrique des stratégies de recherche d'information lors de l'ATCT

Tableau 17 - Données démographiques des participants ayant des données oculométriques complètes lors de la construction des ensembles d'étapes d'intérêts durant l'étude de validation de l'ATCT ; F = Femme ; H = Homme ; ET = Écart-Type

	Intégralité des patients	Patients avec un BNP paucisymptomatique	Patients avec un BNP symptomatique	Sujets contrôle
Nombre de participants	25	8	17	24
Genre (ratio)	3 F – 22 H (88% H)	1 F – 7 H (87% H)	2 F – 15 H (82% H)	10 F – 14 H (58% H)

Age moyen – Années (ET)	32 (13)	32 (14)	32 (14)	44 (12)
------------------------------------	---------	---------	---------	---------

Tableau 18 - Évolution du nombre de patients et de sujets contrôles en fonction de l'avancée dans les étapes d'intérêts

Étapes d'intérêt	Nombre de patients	Nombre de sujets contrôle
O1 (29-32)	25	24
O2 (41-46)	23	24
O3 (86-89)	18	21
O4 (101-104)	11	17

9.2.2. Chroniques d'activité

L'analyse sur BORIS permet de produire des chroniques d'activité, i.e. des représentations graphiques du déroulement temporel des comportements observés. Dans le cas présent, nous avons produit 49 chroniques – une par participant – superposant, d'une part, les mouvements du regard dans les différentes AOI et, d'autre part, la production d'erreurs issue de l'analyse de la performance lors de l'ATCT. Les catégories de description de l'activité sont celles issues de la validation de l'ATCT et les catégories de description des données oculométriques sont présentées dans la table 16.

La Figure 22-a présente la chronique d'activité d'un sujet contrôle sur laquelle on peut observer la présence de deux erreurs descriptives, une erreur d'estimation et un commentaire et question. On observe également que les regards sur la notice (les regards « encart notice » et « étape ») et les regards sur l'espace de construction du modèle de Lego® (les regards « espace de travail ») sont longs et peu nombreux. On observe que les regards portés sur les sachets de pièces sont concentrés au début de la tâche et on observe deux regards portés vers l'examineur (regard « opérateur ») durant une intervention. Finalement, on observe que la durée de l'observation était de 370 secondes, soit six minutes et dix secondes.

La Figure 22-b présente la chronique d'activité d'un patient sur laquelle on peut observer plusieurs erreurs descriptives, une addition, trois erreurs d'estimation et sept commentaires et questions. On observe également que les regards sur la notice (les regards « encart notice » et « étape ») et les regards sur l'espace de construction du modèle de Lego® (les regards « espace de travail ») sont brefs et nombreux. On observe que les regards portés sur les sachets de pièces sont repartis tout au long de la tâche et que les regards dirigés vers l'opérateur apparaissent durant les interventions de l'examineur (regard « opérateur »). De plus, on observe la présence de plusieurs regards qui n'ont aucun rapport avec la tâche en cours (les regards « environnement spontané »). Finalement, on observe que la durée de l'observation était de 572 secondes, soit neuf minutes trente-deux secondes.

Tableau 19 - Analyse intergroupe (comparaison, validation et tendance) des paramètres oculométriques présentant des valeurs d'intérêt (Sujets contrôle / Patients avec un BNP présentant des scores indiquant un état paucisymptomatiques / Patients avec un BNP présentant des scores indiquant un état symptomatique) ; ET = Ecart-Type ; IC = Intervalle de confiance ; NS = Non Significatif

	Comparaison					Tests post hoc			
	Nombre d'erreur – Moyenne (ET)			ANOVA		Contraste (univariée)		Tendance	
	Sujets contrôle	Patients paucisymptomatiques	Patients symptomatiques	P-value ANOVA	Taille d'effet η^2 (IC 90%)	P-value contraste : sujets contrôle VS Patients	P-value contraste : patients paucisymptomatiques vs symptomatiques	Tendance	p-value
Nombre total de fixations sur les sachets non relatif à la tâche	2,29 (1,46)	3,00 (1,31)	5,12 (3,16)	F=5.9042 (2 ; 19.91); p=0.0097	0,37 (0,07 ; 0,57)	P=0,004525	p=0,014475	Linéaire	P<10-3
Pourcentage de temps de fixation sur la zone de la notice présentant les détails de la notice nécessaires à la construction durant les étapes O2	2,24 (1,35)	1,96 (1,16)	1,18 (0,96)	F= 4.2102 (2 ; 19,49); p= 0.0302	0,30 (0,02 ; 0,51)	P= 0,03675	P= 0,07035	Linéaire	P= 0.03575

Pourcentage de temps de fixation sur l'ensemble de la notice durant la construction O2	23,28 (5,46)	21,61 (5,40)	19,25 (3,22)	F= 4.1503 (2 ; 18.17); p= 0.0328	0,31 (0,02 ; 0,53)	P= 0,02805	P= 0,13615	Linéaire	P=0,05
--	-----------------	-----------------	-----------------	---	--------------------------	------------	------------	----------	--------

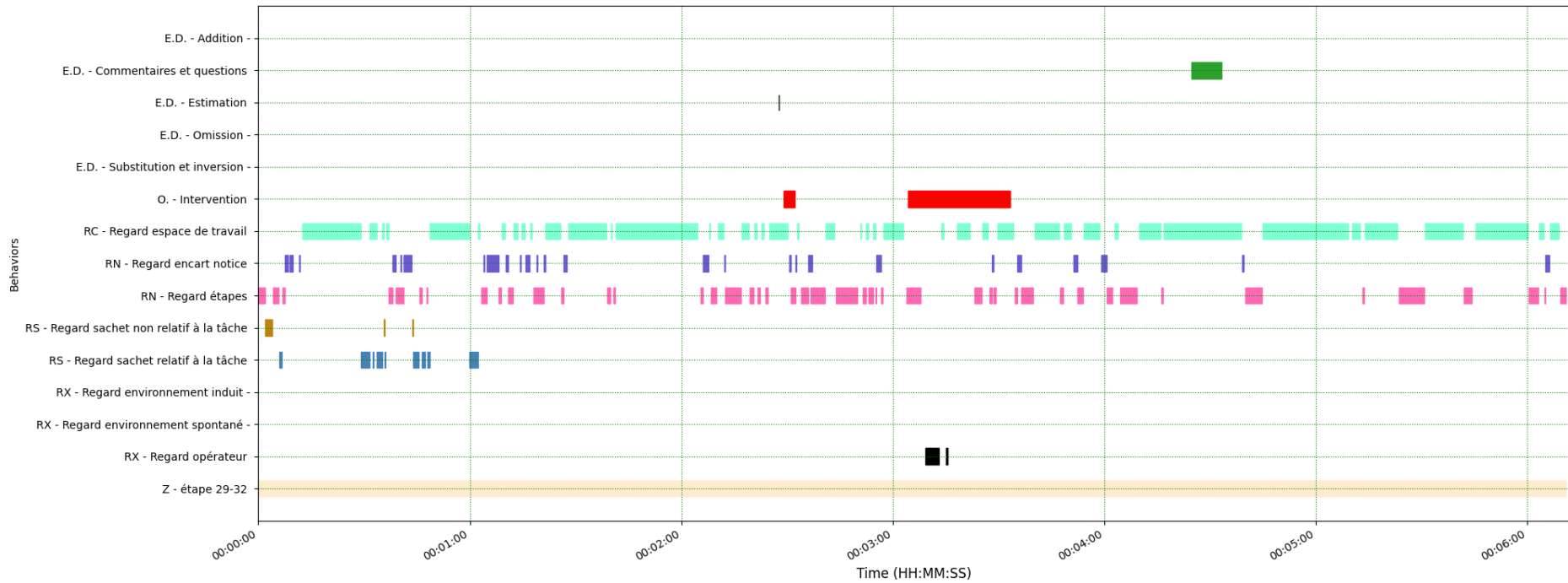


Figure 22-a : Chronique d'activité d'un sujet contrôle durant les étapes 29 à 32 de la construction lors de l'ATCT présentant les étapes de constructions, les erreurs descriptives et les différents regards réalisés par le participant

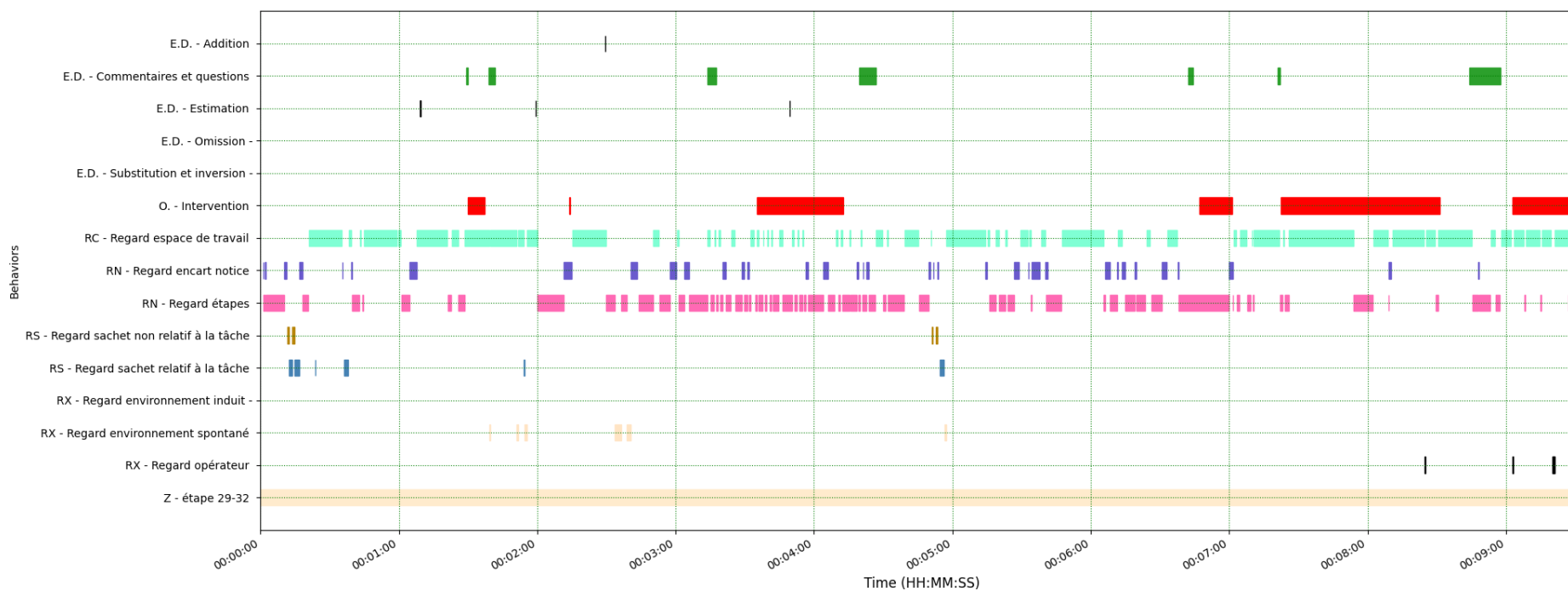


Figure 22- b - Chronique d'activité d'un patient durant les étapes 29 à 32 de la construction lors de l'ATCT présentant les étapes de constructions, les erreurs descriptives et les différents regards réalisés par le participant

L'analyse des fixations sur les AOI nous a permis de déterminer la présence d'une différence statistique entre les trois groupes sur un paramètre, lors de l'étape O1 et sur deux paramètres lors de l'étape O2 présenté dans la table 19.

L'ANOVA univariée a révélé que le nombre total de fixations sur les sachets non relatifs à la tâche durant les étapes O1 était différent entre les trois groupes. Les sujets contrôle regardaient moins les sachets non relatifs à la tâche que les patients et les patients non pathologiques regardaient moins les sachets non relatifs à la tâche que les patients pathologiques. L'analyse des tendances a également montré que plus les troubles des fonctions exécutives étaient importants (catégorisés en fonction du résultat du BNP), plus le nombre de regards vers ces sachets était important.

L'ANOVA univariée a révélé que le pourcentage du temps de fixation durant la réalisation de l'étape sur la zone présentant les détails nécessaires à la construction sur la notice durant les étapes O2 était différent entre les trois groupes. Les sujets contrôle regardaient plus cette zone présentant les points saillants que les patients mais il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de patients, paucisymptomatiques et symptomatiques. L'analyse des tendances a également montré que plus les troubles des fonctions exécutives étaient importants (catégorisés par les tests des BNP), plus ce pourcentage était faible.

L'ANOVA univariée a révélé que le pourcentage du temps de fixation sur l'ensemble de la notice durant les étapes O2 était différent entre les trois groupes. Les sujets contrôle regardaient plus cette zone présentant les points saillants que les patients mais il n'y avait pas de différence significative entre les deux groupes de patients. L'analyse des tendances a également montré que plus les troubles des fonctions exécutives étaient importants (catégorisés par les tests des BNP), plus ce pourcentage était faible.

Les différences entre les autres variable oculométriques ont été testées avec des ANOVAs robustes et étaient statistiquement non significatives.

9.2.3. Matrices de Transition

A l'échelle d'une seule observation, Norimatsu et Pigem (2008) recommandent d'utiliser des matrices de transition, i.e. des tableaux décomptant le nombre de transitions entre les différents comportements et/ou évènements d'intérêt. BORIS permet de produire des représentations graphiques du contenu de ces matrices, où les comportements sont représentés sous la forme l'ellipses, et les flèches unissant ces ellipses sont associées à des valeurs de probabilité. Les nombres figurant dans les chronogrammes représentent, pour un évènement initial, les pourcentages des évènements qui lui font suite. En prenant comme point de départ les cinq catégories d'erreurs descriptives de l'ATCT et les neuf type d'AOI sur lesquelles le regard de participant est susceptible de se poser la grille d'observation comporte 14 états possibles. Les probabilités sont calculées en considérant, pour un état de départ x , les fréquences relatives des différents états-destination y - autrement dit, en reconstituant la matrice des transitions (x,y) . Pour examiner le poids des différents éléments du diagramme, nous avons fait le décompte des différentes transitions en fonction de leur destination. Il devient donc possible de tirer des conclusions générales à partir de l'étude d'un profil moyen. Nous avons produit des diagrammes et des cartes de chaleurs pour chacune des quatre étapes retenues dans l'analyse (Figure 23a-b à 26a-b). Les matrices de transitions que nous avons générées étaient différentes entre elles entre les trois groupes durant les quatre observations d'intérêt.

9.2.3.1. La place centrale de la page « étape » et de l'espace de travail.

Pour les sujets contrôle, toutes étapes confondues, dans 50,2% des transitions, la destination était soit l'AOI « espace de travail » (27,9%), soit l'AOI « étape » (22,3%). Pour prolonger cette analyse, nous avons classé ces « états-destination » par ordre de fréquence décroissante. En moyennant sur les quatre étapes observées, le rang de l'AOI « étape » était 1,79 (sur un maximum théorique de 13), et celui de l'AOI « espace de travail » était de 2,29.

Pour les patients paucisymptomatiques, toutes étapes confondues, dans 42,7% des transitions, la destination était soit l'AOI « espace de travail » (16,4%), soit l'AOI « étape » (26,3%). Pour

prolonger cette analyse, nous avons classé ces « états-destination » par ordre de fréquence décroissante. En moyennant sur les quatre étapes observées, le rang de l'AOI « étape » était 1,71, et celui de l'AOI « espace de travail » était de 2,29.

Pour les patients symptomatiques, toutes étapes confondues, dans 51,6% des transitions, la destination était soit l'AOI « espace de travail » (27,4%), soit l'AOI « étape » (24,2%). Pour prolonger cette analyse, nous avons classé ces « états-destination » par ordre de fréquence décroissante. En moyennant sur les quatre étapes observées, le rang de l'AOI « étape » était 2,07 (il n'y avait pas de rang moins important), et celui de l'AOI « espace de travail » était de 2,64.

Ces résultats suggèrent que les regards vers l'espace de travail, où l'édifice est en train d'être construit, et vers la page étape de la notice, sont structurants de l'activité quelle que soit le groupe observé.

9.2.3.2. Le comportement consécutif aux erreurs.

Chacune des cinq erreurs descriptives de l'ATCT ont été observées durant les quatre observations, auxquelles s'ajoutent les interventions de l'ergonome. Pour examiner les effets de ces erreurs sur le comportement, nous avons moyenné les probabilités figurant dans la matrice des transitions sur les quatre étapes.

Chez les sujets contrôle, des commentaires et questions, des erreurs d'estimation et des additions ont été observées. Elles donnent lieu, préférentiellement, à un déplacement du regard – soit vers la page de la notice décrivant l'étape à réaliser (41,7% des erreurs d'estimation et 52,1% des interventions de l'expérimentateur sont suivies d'un déplacement de ce type), soit vers l'encart décrivant précisément la tâche à réaliser (41,7% des erreurs d'addition, 25,0% des erreurs d'addition, et 25,0% des commentaires et questions sont suivies d'un déplacement de ce type). Tous ces comportements suggèrent que le participant, en consultant la notice, assure une régulation de sa propre activité (Leplat, 2008).

Chez les patients paucisymptomatiques, des commentaires et questions, des erreurs d'estimation et une substitution et inversion ont été observés. Elles donnent préférentiellement, à un déplacement du regard vers la page de la notice décrivant l'étape à réaliser (40,5% des erreurs d'estimation, 43,6% des commentaires et questions et 51% des interventions de

l'expérimentateur). Seules la substitution et inversion a donné lieu à des regards vers l'encart notice (25%).

Chez les patients symptomatiques, des additions, des omissions, des commentaires et questions et des erreurs d'estimations ont tous été observés. Elles donnent lieu, préférentiellement, à un déplacement du regard – soit vers la page de la notice décrivant l'étape à réaliser (dans 37,5% des additions, 26,7% des commentaires et questions, 27,4% des erreurs d'estimation et 38,5% des interventions de l'expérimentateur sont suivies d'un déplacement de ce type), soit vers l'espace de travail (12,5% des addition, 39% des omissions, et 20,6% des commentaires et questions sont suivies d'un déplacement de ce type).

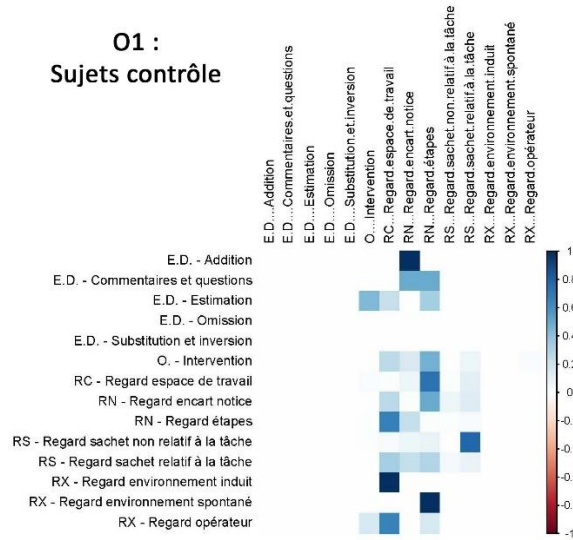
9.2.3.3. La recherche visuelle de pièces

Nous avons distingué, dans le traitement de nos résultats, les regards portant sur les sachets « relatifs à la tâche » d'une part (i.e. contenant les pièces nécessaires à la réalisation de l'étape en cours) et les sachets « non relatifs à la tâche » d'autre part (i.e. tous les autres sachets).

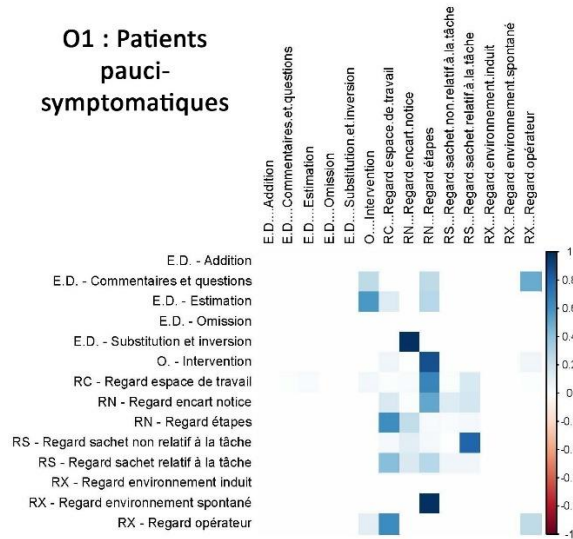
Lorsque le regard se pose sur un sachet de ce second type, il tend le plus souvent (dans 63,7% des cas chez les sujets contrôles, 75,1% chez les patients paucisymptomatiques et 63,8% chez les patients symptomatiques) à se poser ensuite le regard sur le sachet relatif à la tâche.

Nous avons aussi observé des instances dans lesquelles le regard se dirigeait vers d'autres sachets non relatifs à la tâche, d'une manière compatible avec le modèle SSTS (*Serial Self-Terminating Search Model* ; Sternberg, 1966; Wickens et al., 2021). Cependant, une limite de notre méthodologie de codage des observations est que nous codions ces instances comme des comportements uniques et continus. Les instances que nous avons relevées sont très peu nombreuses (0,5% chez les sujets contrôle et 1,3% chez les patients paucisymptomatiques), mais renvoient à un autre phénomène qui mérite d'être noté : le participant fixait du regard le sachet en pensant à tort qu'il contenait les pièces dont il avait besoin, puis allait consulter la page de l'étape (14,4% des cas chez les sujets contrôle, 6,8% chez les patients paucisymptomatiques, et 13,8% chez les patients symptomatiques) ou l'encart (11,1% des cas chez les sujets contrôle, 6,3% chez les patients paucisymptomatiques et 5,8% chez les patients symptomatiques) pour lever l'ambiguïté.

O1 : Sujets contrôle



O1 : Patients pauci- symptomatiques



O1 : Patients symptomatiques

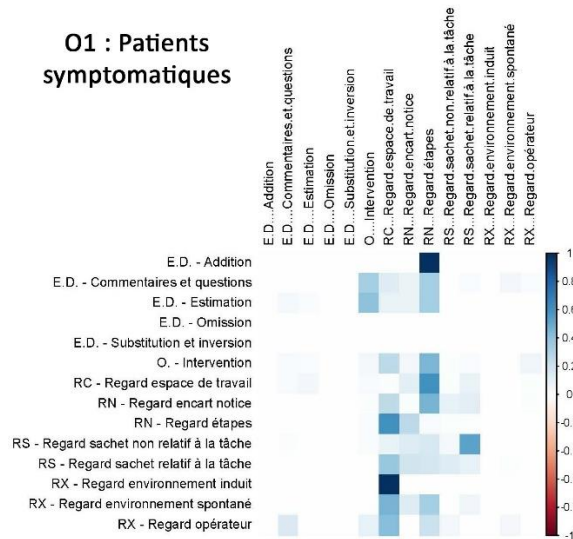
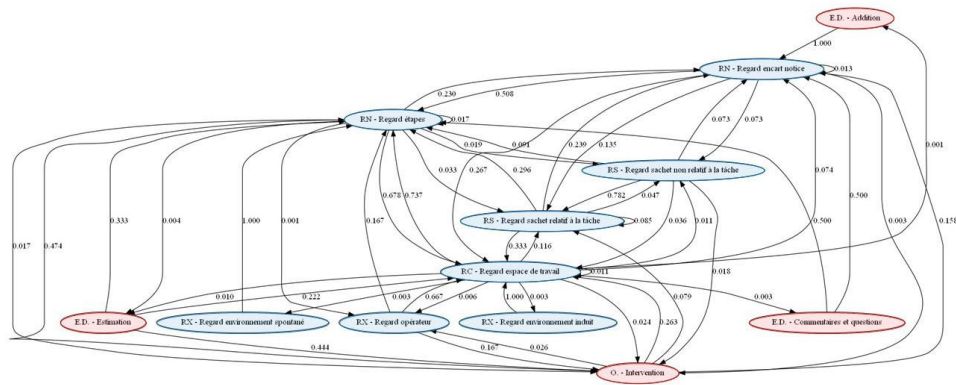
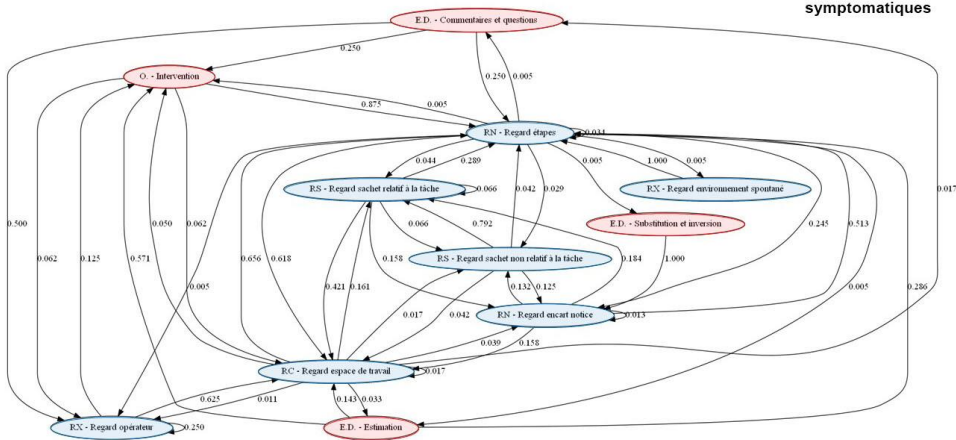


Figure 23a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif

O1 : Sujets Contrôle



O1 : Patients pauci-symptomatiques



O1 : Patients symptomatiques

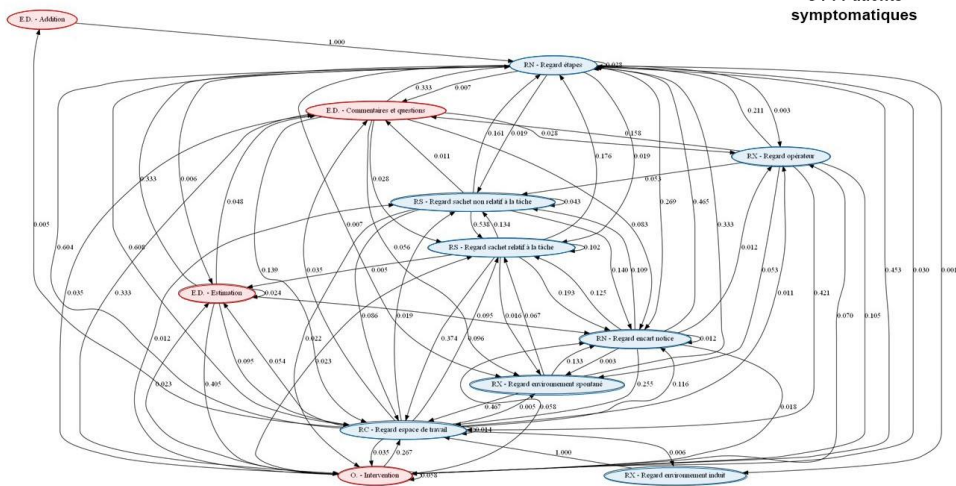
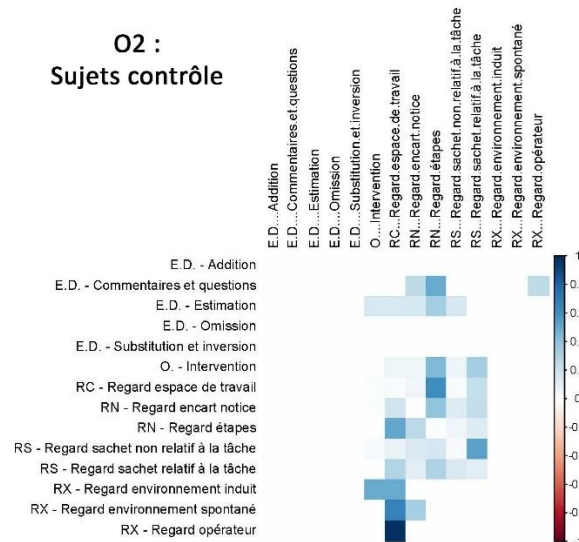
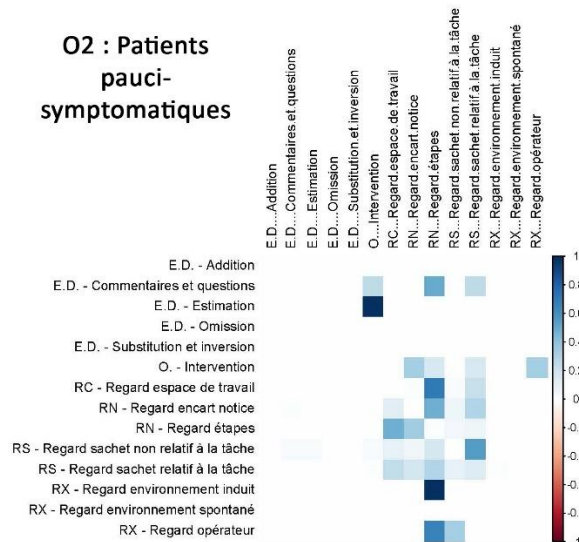


Figure 23b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.

O2 : Sujets contrôle



O2 : Patients pauci- symptomatiques



O2 : Patients symptomatiques

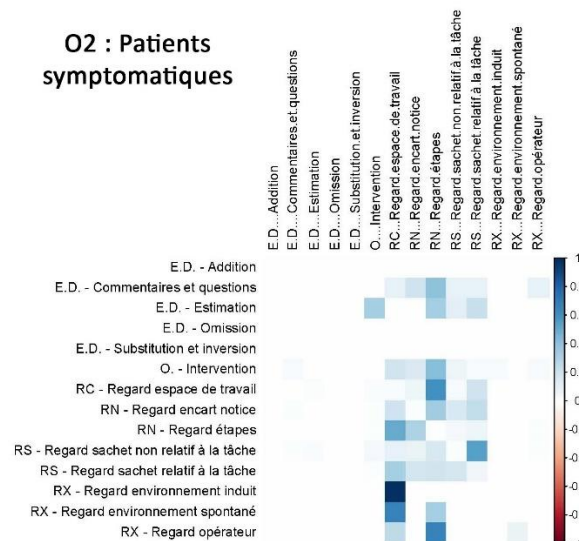


Figure 24a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif

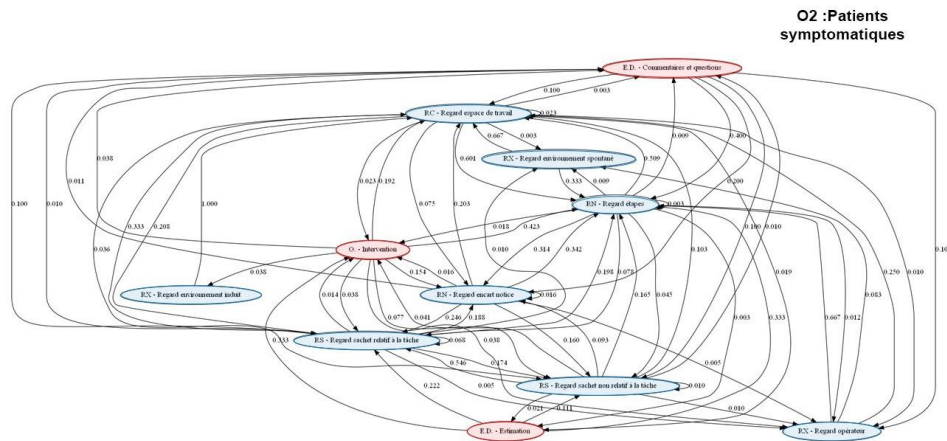
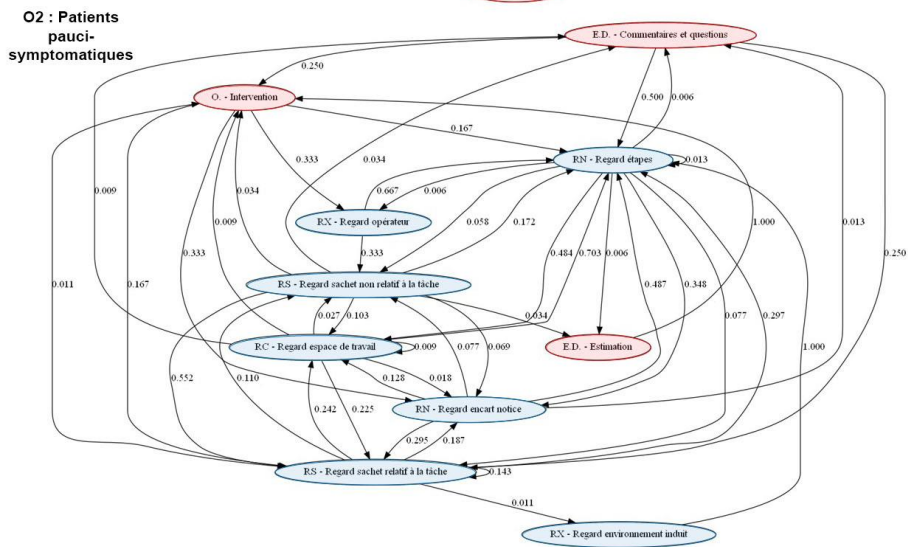
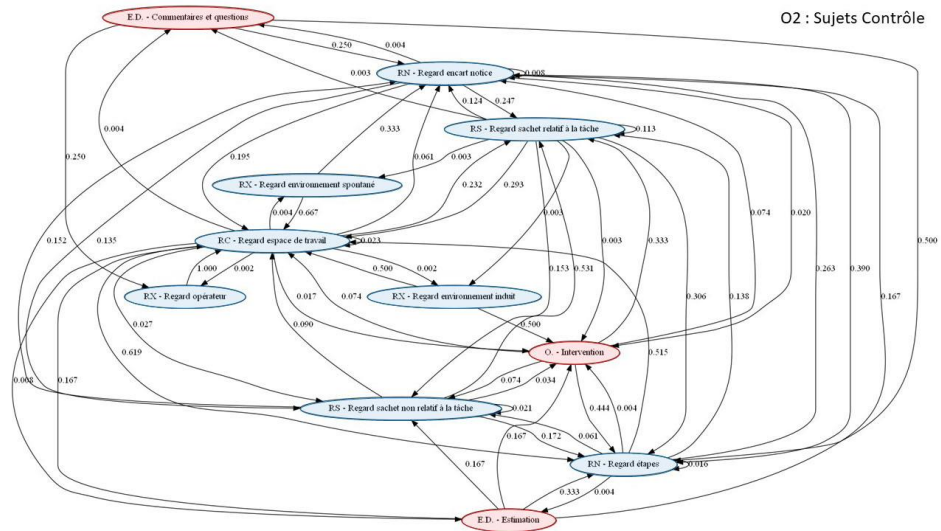
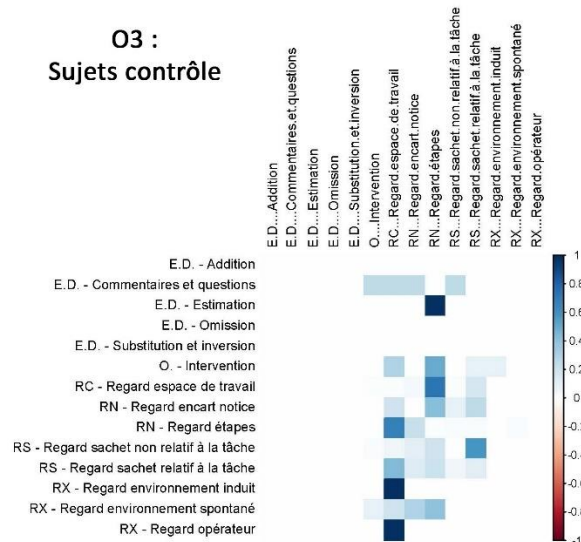
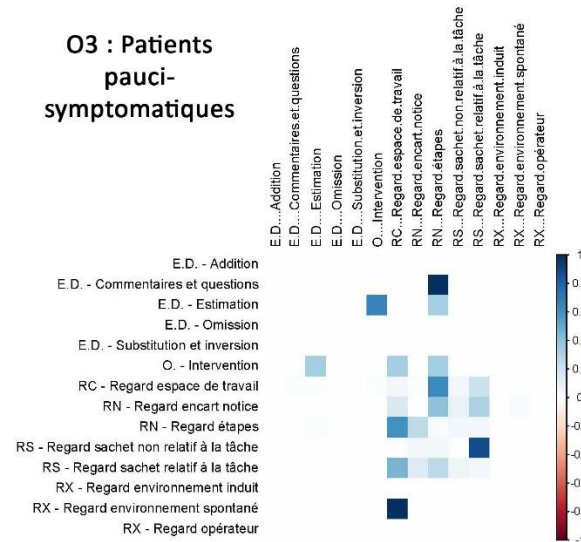


Figure 24b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O1 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.

O3 : Sujets contrôle



O3 : Patients pauci- symptomatiques



O3 : Patients symptomatiques

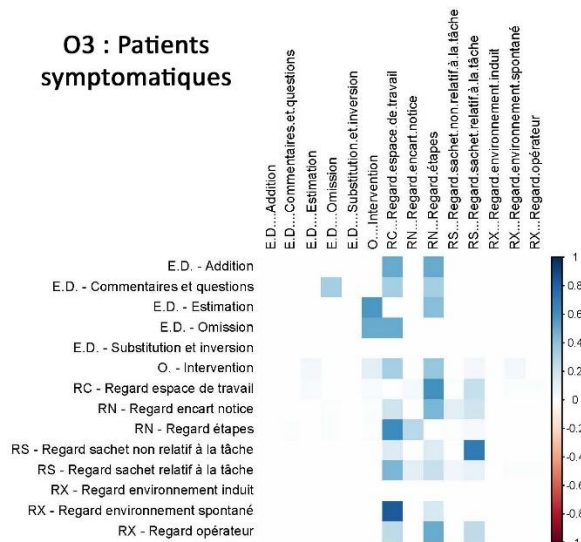


Figure 25a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O3 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif

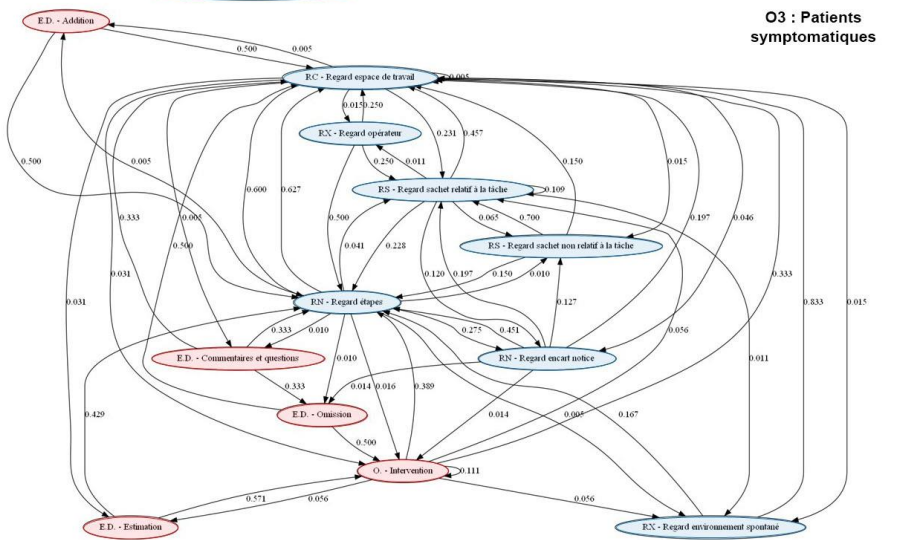
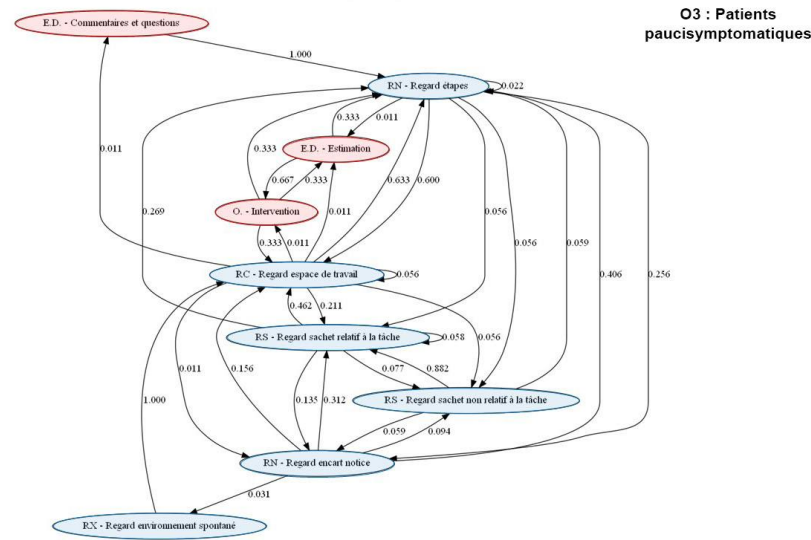
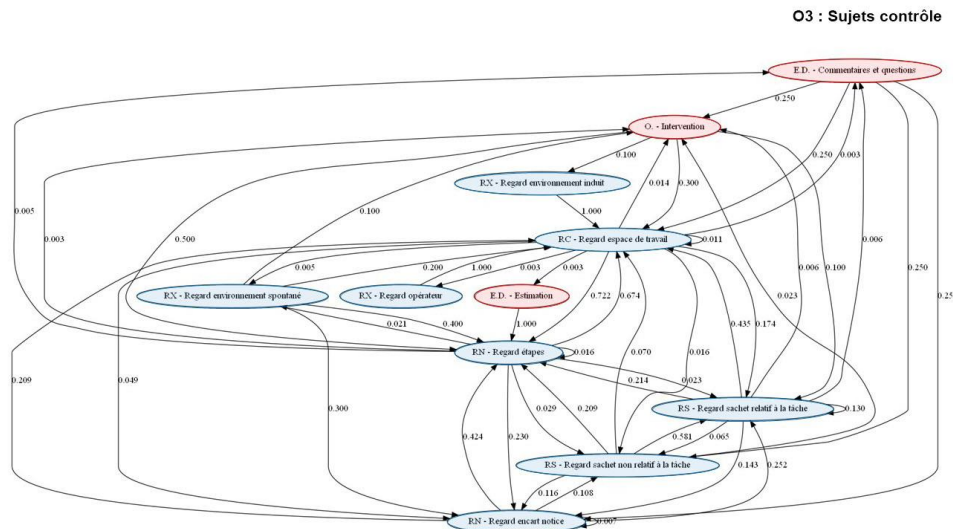
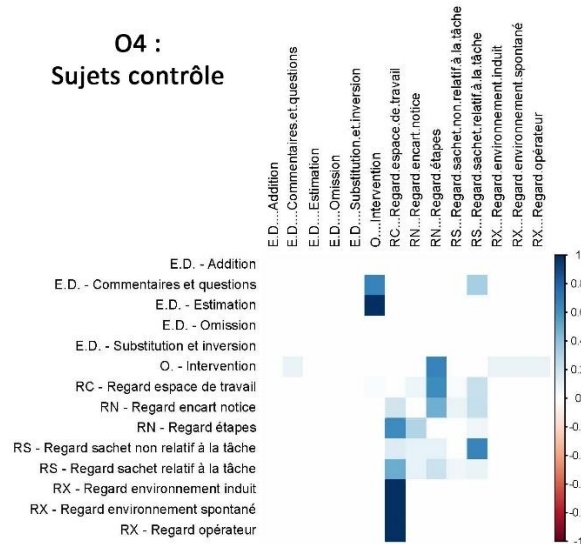
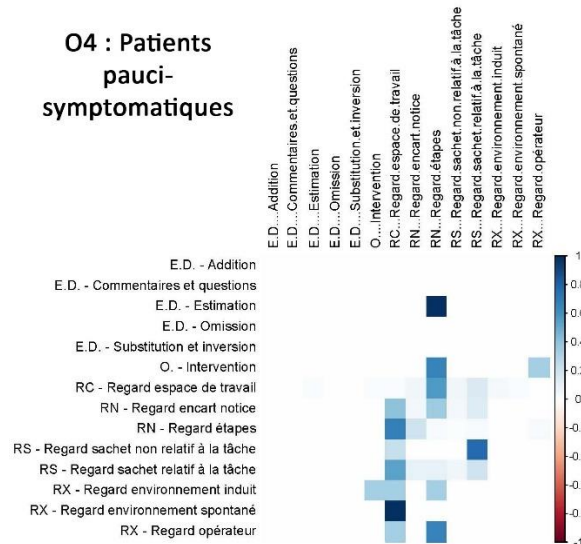


Figure 25b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O3 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.

O4 : Sujets contrôle



O4 : Patients pauci- symptomatiques



O4 : Patients symptomatiques

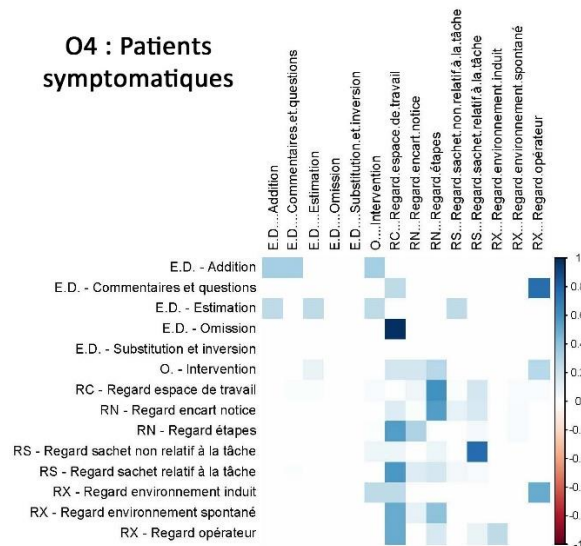


Figure 26a - Carte de chaleur des matrices de transition pour l'observation O4 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Le gradient de bleu représente un lien positif

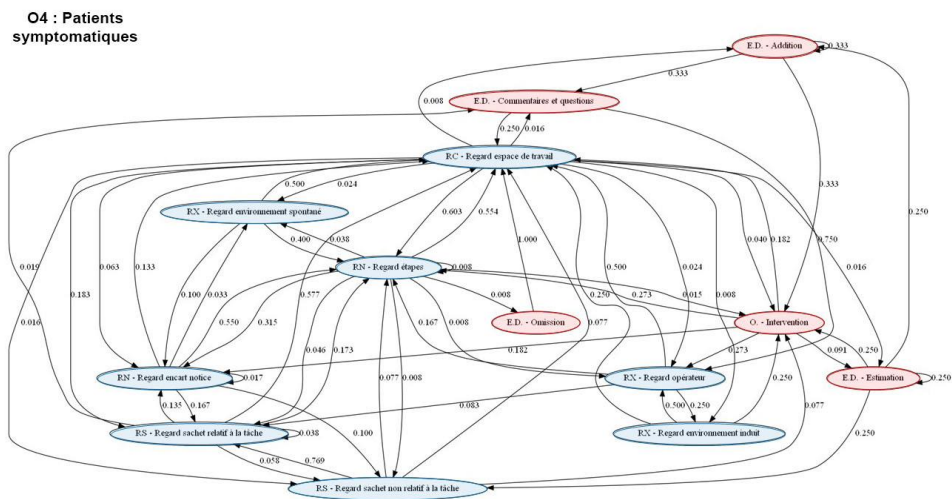
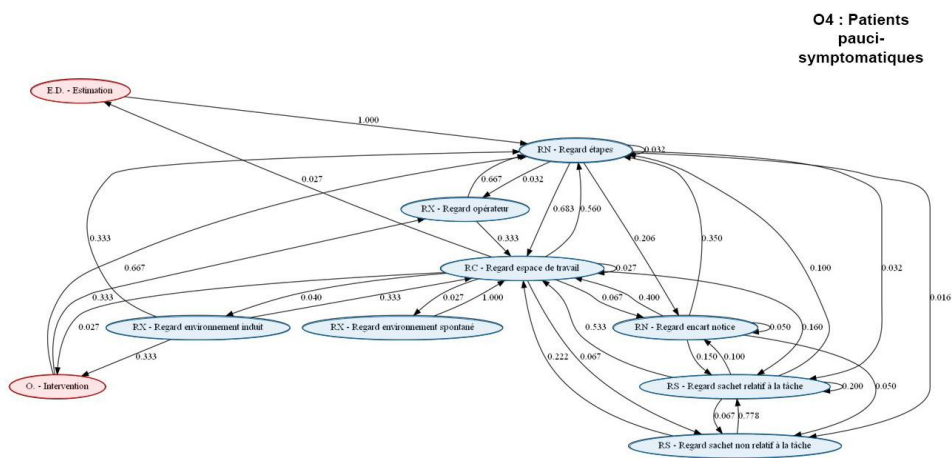
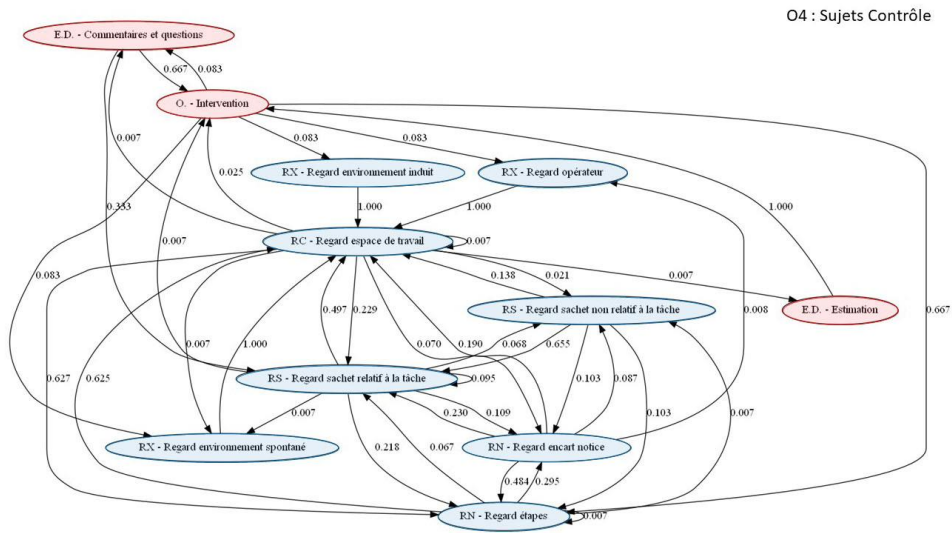


Figure 26b - Représentation graphique des matrices de transition pour l'observation O4 pour les Sujets contrôle, les Patients paucisymptomatiques et les patients symptomatiques. Les ellipses bleues symbolisent les regards et les ellipses rouges symbolisent les erreurs.

9.3. Discussion

Cette étude, réalisée dans la continuité de l'étude de validation de l'ATCT et celle de Bargiotas et al. (2019), a permis de mettre en avant des marqueurs oculomoteurs des troubles des fonctions exécutives lors de la réalisation de l'ATCT. Nous avons démontré que le nombre total de fixations sur les sachets non relatifs à la tâche durant le premier ensemble d'étapes d'intérêt était plus faible chez les sujets contrôle que chez les patients et qu'il était plus faible chez les patients paucisymptomatiques que chez les patients symptomatiques. Nous avons démontré que le pourcentage de temps de fixation sur la zone de la notice présentant les détails à suivre pour la construction et le pourcentage de temps de fixation sur l'ensemble de la notice durant la construction O2 étaient plus importants chez les sujets contrôle que chez les deux groupes de patients, et donc que les sujets contrôle font plus attention aux détails que les patients.

Cette étude a également permis de mettre en avant une nouvelle modélisation des mouvements du regard sous forme de matrices de transition permettant de suivre l'enchaînement de ces derniers. Elle a permis de montrer la place structurante qu'occupent les AOI « étape » et « espace de travail » lors de la construction d'un modèle de Lego® chez les trois groupes. Elle a permis de montrer que les regards suivant les erreurs et les interventions de l'ergonome étaient portés soit vers l'AOI « étape », soit vers l'AOI « espace de travail », ce qui correspond à une forme de régulation de l'activité du participant par un partenaire avec qui il se trouve en relation dyadique – autrement dit, à une forme très restreinte de régulation collective de l'activité.

Cette étude présente aussi plusieurs limites. Tout d'abord, l'usage de l'oculomètre se fait en conditions réelles, sans contrôle sur l'appareil durant la mesure afin de ne pas perturber la réalisation de l'ATCT. Ensuite, à cause de l'incompatibilité entre l'oculomètre et la présence de lunettes chez certains patients et le fait que d'autres, n'ayant pas l'habitude de porter des lunettes n'est pas regardé à travers l'oculomètre, empêchant un enregistrement complet des mouvements pupillaires durant les quatre ensembles d'étapes d'intérêt. De plus, du fait de la nature de la tâche utilisée, l'ATCT, et de la performance des participants, le nombre de sujets a diminué avec l'avancement dans la tâche, limitant les analyses statistiques possible pour les deux derniers ensembles d'étapes d'intérêt. Finalement, le temps d'analyse a été très long dû à la méthode d'analyse employée, basée l'observation systématique de l'activité.

9.4. Conclusion

Cette étude visait à contribuer au débat actuel en ergonomie de l'activité sur le statut des méthodes d'observation dans l'analyse ergonomique de l'activité et sur les pratiques associées (Barthe et al., 2017). Notre intérêt était de produire de nouvelles connaissances sur la réalisation de tâches procédurales et d'enrichir l'analyse de l'ATCT. Dans ce cadre, nous avons accordé une importance toute particulière à l'articulation entre les erreurs descriptives et les regards.

Ce travail propose de nouvelles pistes concrètes pour le traitement de données d'observation. Les ouvrages de référence dans le domaine mettent en avant le rôle des représentations visuelles dans l'étude de la structure de l'activité, dont l'exemple typique est la chronique d'activité de la Figure 22. Norimatsu et Pigem (2008) évoquent l'étude des matrices de transition comme pouvant prolonger une analyse strictement qualitative, mais ne donnent aucune piste concrète pour mener de telles analyses. Nous avons montré que logiciel BORIS (Friard & Gamba, 2016) peut être utilisé ici à profit pour produire des représentations graphiques du poids de ces transitions. Toutefois, ces analyses se limitent à considérer des transitions binaires, i.e. entre deux états ou deux comportements. D'autres outils méthodologiques devront être élaborés pour identifier des patterns invariants et plus complexes sur la base d'observations de l'activité d'opérateurs multiples.

Le traitement des données a été réalisé sous ma direction par deux étudiants de Master 1 issus du Master d'Ergonomie et Ingénierie des Facteurs Humains de l'Université Paris Cité durant leur Travail d'Etude et de Recherche et a permis de proposer une publication durant la conférence Ergo'IA 2021 (Kempa et al., 2021).²¹

²¹ Je tiens à remercier chaleureusement Noémie Kempa et Elie Netter pour leur travail digne d'éloges.

10. Modélisation de l'activité de codage d'une observation assistée par ordinateur

10.1. Introduction

10.1.1. Limites de l'observation systématique de tâches écologiques : une approche cognitive

L'étude précédente a montré l'intérêt d'une analyse du comportement du patient dans la réalisation d'une tâche écologique à des fins de diagnostic des troubles des fonctions exécutives. L'observation systématique des comportements produits au cours du test de construction de l'Arc de Triomphe permet de distinguer, sur le plan d'un petit nombre de comportements d'intérêt – les erreurs commises durant la réalisation de cette tâche procédurale – les patients présentant des troubles à un niveau symptomatique, ceux présentant des troubles à un niveau paucisymptomatique, et les participants sains.

Malgré son intérêt, le test hérite d'une limite intrinsèque à l'observation systématique : son caractère chronophage (Barthe et al., 2017; Kempa et al., 2021). En effet, l'analyste²², lorsqu'il procède au codage, doit (a) prêter attention aux comportements de la personne qu'il est en train d'observer – ou, dans le cas du codage d'un enregistrement d'une activité passée, au contenu de l'enregistrement – et (b) repérer chaque instance des comportements et des événements définis, dans la grille d'observation, comme appartenant aux catégories d'intérêt. Norimatsu et Pigem (2008) identifient ici deux risques pour la validité de l'analyse :

En premier lieu, l'analyste peut être dépassé par le nombre de classes et de catégories de comportement à observer. En pratique, cela conduit souvent à fragmenter l'analyse et visionner

²² En règle générale, cet analyste est un ergonome, dans la mesure où il a suivi une formation à l'observation systématique et aux outils logiciels associés. Mais la diffusion du test de l'Arc de Triomphe posera nécessairement la question de confier l'interprétation des résultats à d'autres professionnels, par exemple au médecin ou à l'orthophoniste.

l'enregistrement plusieurs fois – par exemple, en regardant une seule classe de comportements par visionnage. Le temps de codage s'en trouve naturellement rallongé.

En second lieu, l'analyste peut, dans ces conditions, « rater » un évènement ou un comportement d'intérêt. Pour maîtriser ce risque, la stratégie la plus courante est soit de visionner plusieurs fois l'enregistrement, soit d'avoir recours à la mutualisation de données, c'est-à-dire au codage du même extrait par plusieurs codeurs. Ces deux stratégies conduisent cependant, elles aussi, à un allongement des délais de codage.

Falzon (2004), dans un exposé des fondements de l'ergonomie très repris dans la littérature, plaidait pour une analyse cognitive de la pratique de l'ergonome. Pour lui, cela impliquait une étude des relations entre l'intervention ergonomique en conception et les mécanismes cognitifs sous-jacents en termes de résolution de problèmes. Mais la situation que nous venons de décrire peut elle aussi être décrite en termes cognitifs, par exemple dans les termes classiques du modèle de Wickens et al. (2021) :

Au moment d'observer une activité *in situ* ou un enregistrement de cette dernière, l'analyste perçoit des signaux, présentés dans des modalités sensorielles diverses (visuelle, auditive, etc.). Ces signaux correspondent, par exemple, à des manifestations perceptibles de l'activité du patient.

Le traitement de ces signaux est limité, d'une part, par la nécessité de capter l'attention de l'analyste et d'autre part, par les limites de la mémoire de travail, tant en termes de capacité (i.e., nombre maximal de *chunks* d'information pouvant être stockés à un instant défini) que de durée maximale de stockage. Le traitement de ces signaux s'appuie aussi sur des informations stockées en long terme.

Une fois que l'analyste a détecté un signal correspondant à une catégorie figurant dans la grille d'observation, une règle de décision est activée, et l'évènement repéré est codé dans la catégorie en question.

10.1.2. Vers un système expert pour l'assistance au codage

Un système expert est défini comme « *un programme qui reproduit la démarche intellectuelle du spécialiste* » (Terssac & Soubie, 1988). Le concept est ancien, mais correspond bien à ce que nous souhaitons entreprendre. En effet, dans sa conception même, le système expert intègre un modèle de l'activité de l'expert et des connaissances mobilisées dans cette dernière. L'analyse de l'activité des experts, sur la base d'entretiens et d'observations impliquant ces derniers, peut servir de base à la mise au point d'un tel modèle (Wolff & Després, 2003).

De nombreux travaux ont porté sur la modélisation de l'activité d'ergonomes en intervention (Petit et al., 2007), mais il s'agit là, dans la plupart des cas, de travaux visant à décrire et valider des pratiques d'intervention efficaces en ergonomie. En revanche, peu de travaux ont porté sur la *modélisation de l'activité cognitive de l'ergonome*²³. C'est dans cette seconde approche que se situe la présente étude. Elle propose de recueillir les verbalisations d'ergonomes praticiens lors du codage d'une vidéo d'observation, produite lors de l'étude de validation de l'ATCT. L'analyse des verbalisations permettra de mettre en évidence les connaissances mobilisées par les ergonomes, comme première étape à la conception d'un système expert destiné à remplacer les logiciels d'aide au codage existants.

²³ Le travail de Couix (2007) sur l'analyse de l'activité de construction, par des praticiens en ergonomie, d'un modèle de tâche à partir d'une retranscription d'entretien est, à notre connaissance, la seule exception.

10.2. Méthode

10.2.1. Participants et matériel

Huit participants (6 femmes et 2 hommes), âgés de 28 à 51 ans ($M = 35$ ans, $ET = 7$ ans) ont participé à cette étude, ils avaient tous au moins 3 ans d'expérience en tant que professionnel.

La tâche à réaliser consistait au codage d'une vidéo de 10 minutes anonymisée d'un patient, extraite du corpus des vidéos de l'étude de validation de l'ATCT avec la grille de codage proposée pour le test (cf. Annexe 4). Le codage de la vidéo se faisait *via* le logiciel BORIS (version 7.10.2) installé sur un ordinateur mis à disposition des participants. L'enregistrement de la passation se faisait avec la webcam de l'ordinateur, qui filmait le participant, une caméra GoPro® dirigée vers l'ordinateur, qui filmait les actions de codage sur le logiciel et l'enregistrement de l'écran qui permettait d'enregistrer les actions de codage du participant.

10.2.2. Procédure

Les participants étaient installés à leur espace de travail avec à disposition le protocole du test (Annexe 9), l'extrait de la notice en rapport avec l'extrait vidéo et la grille de codage de l'ATCT. Le temps de passation n'était pas limité, afin que les participants puissent se comporter durant l'activité de codage comme ils le feraient en temps normal. Les participants étaient prévenus que la qualité du codage ne serait pas prise en compte afin de ne pas influencer leurs habitudes de codage.

Durant la passation, l'expérimentateur a employé la technique des protocoles verbaux couplée à la technique du « pourquoi ? comment ? » afin de favoriser la production de verbalisations simultanées par les participants, en vue d'étudier leurs processus cognitifs durant la tâche de codage (Bisseret et al., 1999).

10.2.3. Mesures

Les verbalisations des participants durant l'activité de codage ont été enregistrées et retranscrites *verbatim*. Il existe plusieurs stratégies pouvant être mobilisées pour la modélisation de l'activité à partir de données verbales (Wolff, 2020). Nous avons opté pour l'utilisation conjointe de deux techniques : une analyse de contenu thématique (Bardin, 1991) et une analyse lexicale assistée par le logiciel Iramuteq (Ratinaud, 2009; Reinert, 1993)

10.3. Résultats

10.3.1. L'analyse des comportements observés

L'observation des comportements des participants précédant l'activité de codage a permis de mettre en avant les étapes nécessaires à l'appropriation d'une tâche avant son analyse.

Avant d'initier le codage, la première étape observée chez les participants a été l'appropriation de la grille d'analyse et de la tâche prescrite. Pour ce faire, sept participants sur huit ont extrait les éléments qui leur semblaient pertinents de la grille d'analyse exhaustive et les ont reportés sur un autre support. Ils ont également posé des questions afin de comprendre comment les catégories de la grille d'analyse avaient été définies. Les réponses que nous apportions à ces questions étaient standardisées.

La deuxième étape observée chez tous les participants a été de s'approprier la tâche prescrite pour le patient réalisant l'ATCT en consultant la notice de montage pendant quelques minutes.

La troisième étape, observée chez cinq participants sur huit, a été de réaliser un premier visionnage libre de l'extrait vidéo afin de se familiariser avec la réalisation de l'ATCT par le patient et commencer à repérer les erreurs.

Durant le codage de la vidéo, nous avons observé deux méthodes de codage, qui pouvaient être utilisées par les participants.

La première méthode consistait à arrêter la vidéo, comparer l'action observée avec l'action prescrite par la notice et les notes prises au préalable, vérifier les catégories des erreurs présentes dans la grille et trouver celle qui correspondait le plus, coder l'erreur lorsque l'action correspondait à l'une des catégories de la grille d'analyse et enfin, relancer la vidéo. La seconde méthode consistait à coder au fil de l'eau sans interrompre la vidéo.

Le choix de la méthode de codage dépendait du niveau de précision que voulait donner le participant au codage qu'il effectuait et du nombre d'erreurs présentes durant les séquences analysées.

Lorsque le participant réalisait spontanément qu'ils avaient commis des erreurs de codage, il rebobinait la vidéo pour le vérifier et le modifier, si cela était vraiment nécessaire.

10.3.2. Analyse thématique des verbalisations

L'ensemble des huit passations ont été retranscrites et sont disponible en Annexe (Annexe 10)

Les participants ont verbalisé, durant les passations, leurs habitudes vis-à-vis de la tâche de codage, appuyant les comportements observés par l'examineur.

Le premier élément important lors de ces verbalisations a été que quatre des participants ont tendance à visionner une première fois la vidéo afin de pouvoir se l'approprier.

Participant 3 : « d'accord, ça c'est vrai que c'est une différence qu'on observe quand on fait du codage ayant observé ou pas, je crois que ça fait beaucoup ... de différence, je crois que c'est important de s'approprier aussi un peu la situation observée. Tandis que quand on a déjà observé, c'est vrai qu'on connaît, il y a des choses qui sont plus évidente, même notamment la taille des pièces qu'il peut avoir devant lui »

Le second élément était que d'habitude, ils visionnaient plusieurs fois les bandes vidéo. Ces multiples visionnages permettent tout d'abord de faire le codage d'une catégorie d'observable par visionnages et ensuite d'affiner le codage au fur et à mesure des codages.

Participant 1 : « D'habitude, je les prends une par une et je les code toutes. C'est-à-dire que je vais essayer de repérer additions et je vais me taper la vidéo en cours une fois et je vais revenir au départ pour faire la suite, commentaire et question et tout ça ... »

Participant 7 : « heu ... okay, on va relancer, je vais commencer à coder, je vais voir si je vois plus de truc et après, je remettrais une autre fois pour rajouter ... on peut re-rajouter quand on s'est trompé a des endroits ? »

Ces visionnages multiples se déroulaient soit à l'échelle de la vidéo tout entière, soit à l'échelle d'une séquence précise afin d'être le plus exhaustif possible. Cette habitude a été verbalisée chez les huit participants.

Participant 8 : « C'est vrai que quand il y a plusieurs actions en cours, ça peut être bien de faire des starts et des stops ... la, surtout, je me suis rendu compte que j'avais oublié le début de l'intervention donc c'est vrai que ça m'amène à faire stop et à revenir en arrière et surtout, je voulais vérifier si j'oubliais pas des observables aussi, c'est vrai que comme je les ai vu tout à l'heure, j'en ai peut-être oublié quelques un entre temps »

Trois des participants ont également souligné, qu'en fonction de la finesse du codage nécessaire à leur analyse, ils pouvaient faire du codage presque « image par image »

Participant 4 : « J'ai souvent fait comme ça pour coder tout ce qui est temporel, quand on veut être très précis, quand on a une ligne du temps, on peut aller vraiment au bon endroit et on voit vraiment tous les évènements, limite pour chaque image en fait de la vidéo »

En plus de leurs habitudes, trois participants ont souligné l'importance des échanges verbaux entre l'expérimentateur et le patient dans l'extrait vidéo et le fait que ces échanges soient souvent la première chose qu'ils codent.

Participant 5 : « En fait, moi, je l'aurais codé dès le départ, enfin, j'aurais codé finement les interventions dès le départ, en marquant tous les échanges verbaux, mais, ça c'est un choix de ma part, mais c'est parce que je n'ai pas l'objectif en tête, donc c'est pas pareil, du coup ... mais oui, j'aurais, j'ai tendance à tout coder ... alors, je reprends la vidéo, c'est au début de l'intervention. »

Participant 2 : « Et effectivement, sur la prise de parole, c'est super important, parce que c'est bien dans les prises de paroles ... Enfin, en tout cas, pour l'activité que j'observe moi dans mon métier, c'est bien dans les prises de parole qu'on voit s'il y a un besoin d'information complémentaire, s'il y a une erreur, s'il y a ... parce qu'ils verbalisent beaucoup, ils se parlent beaucoup dans l'équipage. Donc avoir un truc qui nous permettent déjà automatiquement d'avoir des tags sur je prends la parole, j'arrête de prendre la parole. »

Mais que le codage de ces échanges pouvait être une tâche compliquée car le début et la fin des prises de paroles n'étaient pas toujours clairement identifiées. Ce problème a été relevé par les huit participants.

Participant 6 : « Je repars en arrière pour coder le début de la question ... parce qu'il est rapide, hein ... je suis pas aussi rapide que lui ... »

Finalement, les huit participants ont verbalisé des doutes sur le codage qu'il effectuait malgré le fait que la grille d'analyse contienne la liste exhaustive des erreurs observées.

Participant 6 : « Donc ... à cet endroit-là, il y a ... erreur ... c'est ça ? Donc là il faut que je surveille ce qu'il se passe avec ses mains ... bon, si ça se trouve ... il y a les petites arches ... il y a un truc »

Participant 1 : « Je m'aperçois que je ne mets pas derrière le mot addition, estimation, la même chose que ce qui est écrit et du coup je fais des erreurs et je m'aperçois que je fais des erreurs parce que je n'ai pas le bon code, le bon mot code »

Il est également intéressant de noter que quatre des participants ont verbalisé le fait que l'activité de codage reposait à la fois sur l'observation et l'interprétation des événements observés.

Participant 3 : « C'est vrai, donc là, il y en a quatre ... donc je vais ... du moment où il prend la rouge, je pars du principe qu'il a fini avec les grises, ce qui fait qu'il y a une erreur d'estimation et je vais mettre un "E²⁴", et ça, c'est, erreur d'estimation, c'est un seul événement, donc c'est bon. »

Participant 5 : « Et là, donc il ... j'arrête, je mets la barre espace et j'arrête la vidéo parce qu'il fait une omission en touchant les sacs ... heu ... non, c'est une addition. Au temps pour moi, donc c'est "a²⁵", je code "a" ... donc ... je relance la vidéo »

Participant 8 : « Ouais, ouais, ouais, c'est un codage vraiment, à partir de ce qu'on voit et de ce qu'on interprète, donc ... okay, ça marche »

10.3.3. Analyse des verbalisations par IRaMuTeQ

Le dendrogramme (Figure 27) généré par l'analyse des verbalisations par IRaMuTeQ a montré l'existence de quatre classes sémantiques selon la méthode de Reinert :

²⁴ Le E est la touche raccourci définie pour l'erreur d'estimation.

²⁵ Le A est la touche raccourci définie pour l'addition

- La classe 1, représentant 27,6% du corpus, correspond au champ lexical des échanges verbaux entre l'examineur et le patient.
- La classe 2, représentant 27,5% du corpus, correspond au champ lexical des erreurs descriptives de l'ATCT.
- La classe 3, représentant 29,6% du corpus, correspond au champ lexical de l'observation et du codage.
- La classe 4, représentant 15,2% du corpus, correspond au champ lexical de la manipulation de la vidéo et du logiciel.

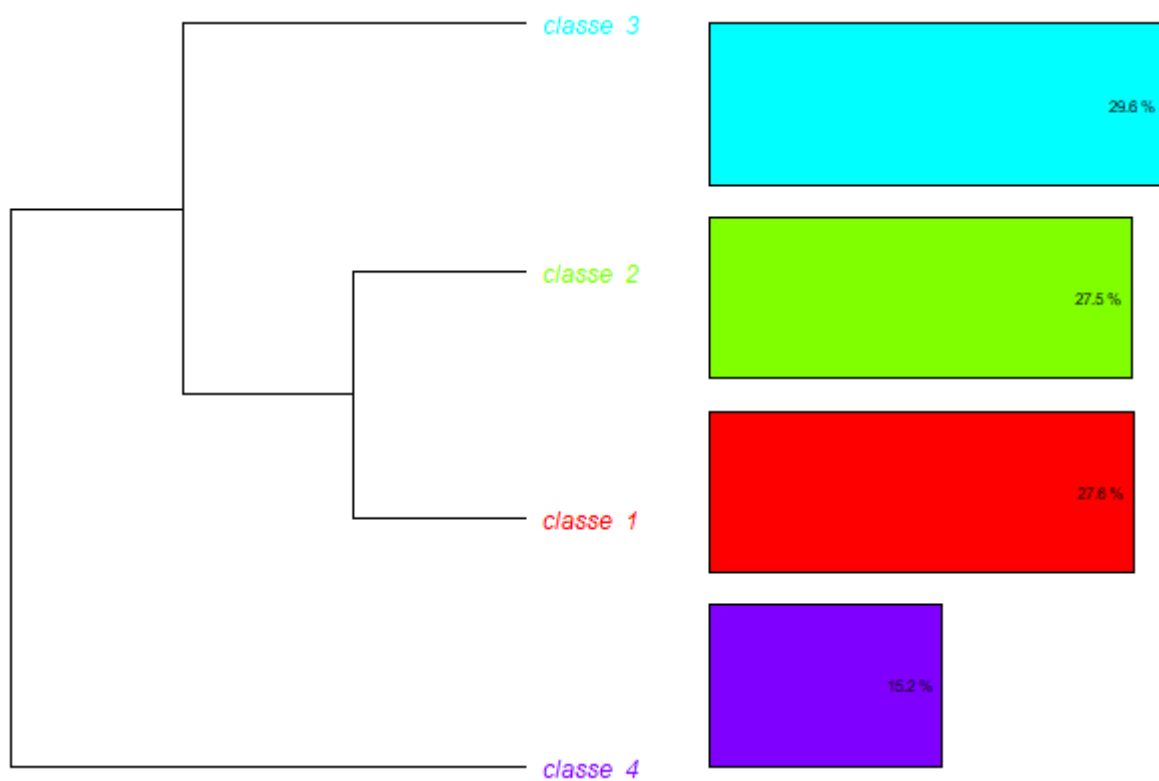


Figure 27 : Dendrogramme présentant la classification descendante hiérarchique sur le corpus

Le dendrogramme présente deux branches, la première correspondant à la classe 4 (15,2 % des formes lexicales) qui correspond à l'usage du logiciel et la seconde correspondant aux classes 1, 2 et 3 (84,7 % des formes lexicales) qui correspond à l'activité d'observation. La seconde branche présente deux sous-branches, la première sous branche correspondant aux classe 1 et 2 (55,1 % des formes lexicales) qui correspond aux erreurs descriptives de l'ATCT et la deuxième

sous branche correspond à la classe 3 (29,6 % des formes lexicales) qui correspond à l'activité de codage. On observe ainsi un lien entre l'activité d'observation et l'analyse des erreurs.

L'analyse factorielle des correspondances a également permis de montrer la place centrale de la deuxième classe dans les verbalisations des participants et ainsi montrer l'importance des échanges verbaux lors de l'activité de codage (Figure 8).

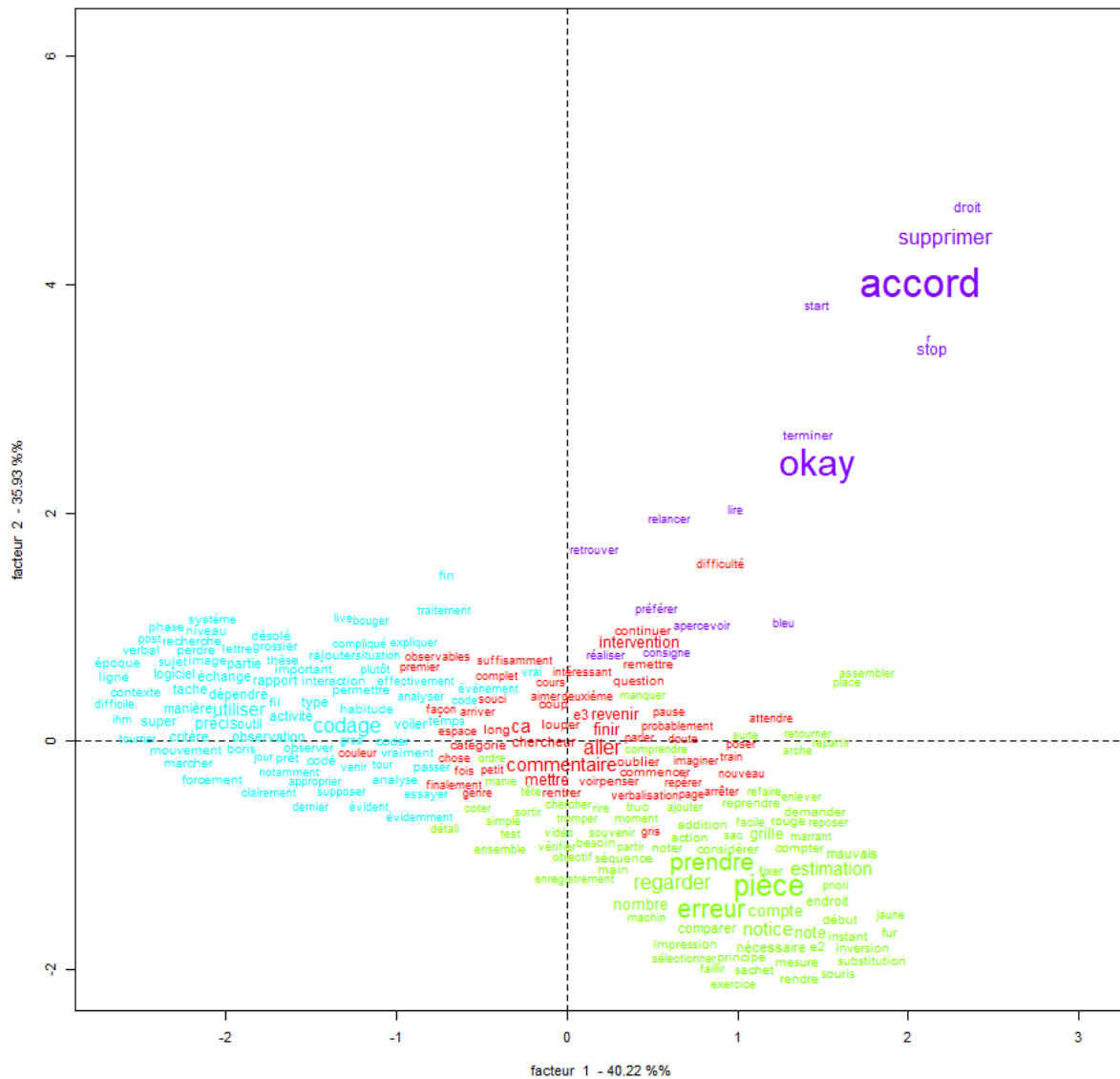


Figure 28 – Projection de l'analyse factorielle des correspondances dans l'axe 1-2 des formes actives les plus représentées dans chacune des classes identifiées dans Iramuteq. La taille du texte est d'autant plus importante que la forme active est caractéristique de la classe.

Elle a également permis de mettre en avant le fait qu'une activité de codage d'une activité ne pouvait donc pas reposer uniquement sur le codage des actions (dans le cas de l'ATCT, les erreurs descriptives), mais également sur le codage des interactions entre les protagonistes (dans le cas de l'ATCT, les commentaires et questions des patients ou sujets contrôle et les interventions de l'examineur).

10.4. Discussion

Cette étude visait à mettre en place une réflexion sur la création d'un agent intelligent dont il est attendu qu'il permette de répondre aux limites de la technique d'observation systématique utilisée en ergonomie, son caractère chronophage de la tâche (Barthe et al., 2017; Kempa et al., 2021) et comme l'ont montré les verbalisations des participants, la nécessité pour l'analyste de s'appropriier la tâche à analyser.

Pour ce faire, nous avons utilisé la technique des protocoles verbaux et la technique du pourquoi ? comment ? afin d'accéder aux raisonnements sous-jacents des ergonomes afin de déterminer les contours de l'outil et d'identifier un ensemble de règles qui pourraient être intégrées dans sa base de connaissances. Nous nous attendions à ce que le codage procède à partir de règles de type « si ... alors » (« si j'observe le comportement x, alors je code la catégorie y ». Nous avons identifié qu'une règle de ce type, lorsque le patient posait une question et que l'observateur répondait ou que l'observateur intervenait spontanément, alors les ergonomes codaient un commentaire et question ou une intervention. Deux explications peuvent être avancées à ce résultat inattendu.

En premier lieu, si l'activité du codeur est bien structurée par des règles de ce type, il est possible que celles-ci restent du domaine de l'implicite. En ce cas, il est également possible que la technique des protocoles verbaux associée à la technique du Pourquoi ? Comment ? n'ait pas suffi à permettre aux participants de les expliciter. Il est probable que l'usage d'une technique

complémentaire telle que l'entretien d'auto-confrontation (Mollo & Falzon, 2004) permette de prolonger les résultats en ce sens.

L'analyse des comportements des participants a montré que ces derniers avaient besoin de s'approprier la tâche à analyser et les outils nécessaires à la réalisation de l'analyse (logiciel d'analyse, grille de codage et visionnage préalable de la vidéo). Elle a également montré que le codage pouvait se faire selon deux méthodes, la première, un codage avec des arrêts et des départs afin de permettre un codage fin et d'être certain du codage proposé et la seconde, un codage au fil de l'eau afin de coder rapidement, mais avec moins de précision, les événements observés.

L'analyse des verbalisations a appuyé l'analyse des comportements précédant l'activité de codage sur l'importance de l'appropriation de la tâche à analyser et des outils nécessaires. Elle a mise en avant l'importance de l'analyse des échanges verbaux entre les participants d'une activité durant le codage de cette tâche, malgré les difficultés à borner précisément ces échanges. Cette analyse des verbalisations a également mis en avant la difficulté à coder toutes les erreurs descriptives observées sans une connaissance précise de la tâche prescrite. Finalement, l'analyse a montré la nécessité des ergonomes d'interpréter les comportements observés afin de donner du sens à la situation observée ou à la grille d'analyse proposée.

Durant les passations, il est cependant arrivé que certains participants oublient de verbaliser leurs actions et d'explicitier leurs choix de codage. Cette limite est une limite connue de la technique des protocoles verbaux (Bisseret et al. 1999, Kirwan & Ainworth, 1992).

Ainsi, pour développer un agent intelligent permettant le codage automatique de vidéo d'observation d'une activité, il devrait être entraîné sur cette activité spécifiquement (Wolff & Desprès, 2003). L'agent intelligent devrait être entraîné à distinguer le « non prescrit », qui correspond à toutes les erreurs décrites pour l'ATCT, du « non proscrit », qui correspondait à l'appropriation de l'activité de construction de modèle de Lego® par le patient.

Il ne pourrait pas prendre en compte uniquement la reconnaissance de l'image mais également, et surtout, la reconnaissance des échanges verbaux entre les participants de l'activité.

Il pourrait également être possible, dans le cadre de l'automatisation du processus d'analyse de l'ATCT, d'enrichir les données d'observation par des données qui pourraient être issues d'autres capteurs de type RFID (*Radio Frequency Identification*) implantés dans les briques de Lego®. Ces antennes RFID, couplées avec un capteur porté par le patient (par exemple, comme un anneau porté au doigt) pourraient permettre d'identifier chaque brique de Lego® constituant le modèle et de détecter les manipulations de ces pièces par le participant. En comparant le

nombre des pièces manipulé, le nombre de pièces présentes dans le modèle en cours de montage et un modèle numérique du montage final suivant l'ordre de construction de la notice (Yan, 2021), il pourrait être possible de détecter les erreurs d'estimation si le bon nombre de pièce n'est pas utilisé, les omissions s'il manque un ensemble de pièces, ou les d'additions si des pièces forment un ensemble excédentaire. Cependant, l'intégration de l'antenne dans les pièces les plus petites pourraient s'avérer complexe et nécessiter une ingénierie particulière.

Le but d'un outil d'automatisation du codage des erreurs lors de la réalisation de l'ATCT serait donc de réduire le temps de l'analyse et donc, de réduire le coût humain de son usage dans le milieu hospitalier, qui est un milieu avec de fortes contraintes en ressource humaine mais aussi de réduire le temps d'obtention des résultats pour permettre une prise en charge plus adaptée et de limiter le temps passer dans le service hospitalier. Pour ce faire, il devrait être capable de détecter les erreurs descriptives et les interactions verbales entre les participants. Cependant, pour que cet outil soit efficace, il nécessiterait un investissement initial afin de pouvoir l'entraîner sur la base de données issue des codages de l'observation des erreurs de l'étude de validation de l'ATCT.

10.5. Conclusion

Cette étude a permis de poser les bases de la création d'un outil d'automatisation du codage de l'ATCT. Il a permis de proposer une ébauche des fonctions à inclure, comme une fonction de détection des échanges verbaux ou une fonction de détection des erreurs. Mais la décision finale de la pertinence du relevé de chacun de ces observables devra malgré tout être du ressort de l'expert afin d'éviter toute ambiguïté dans l'analyse. Ce paramètre est d'autant plus important que le diagnostic médical ne peut être laissé à un automate aussi perfectionné que soit sa capacité à proposer un codage automatisé des comportements observés dans le cadre de la détection des troubles des fonctions exécutives chez des patients ayant une pathologie pouvant entraîner des troubles du comportement.

11. Discussion générale

11.1. Introduction

Cette thèse s'inscrit dans la démarche plus large du projet SmartFlat et du centre Borelli : acquérir des données sensorimotrices dans un contexte de neurosciences comportementales appliquées afin de pouvoir analyser et modéliser le comportement des patients atteints de troubles des fonctions exécutives. Ce travail de thèse propose une approche ergonomique de cette démarche dans le cadre du processus de création d'un nouveau test écologique et d'une automatisation, à terme, de son analyse. L'objectif est d'apporter des éléments de quantification objective pour le diagnostic, mais également le suivi longitudinal des patients, avec des mesures répétables

11.2. Contributions théoriques et méthodologiques de la thèse

Le terme « fonctions exécutives » rassemble les fonctions cognitives d'ordre supérieur, définies par l'Organisation Mondiale de la Santé dans *l'International Classification of Functioning, Disability and Health* (ICF) comme étant les fonctions mentales spécifiques dépendant des lobes frontaux du cerveau, nécessaires à la réalisation de comportements dirigés vers des buts complexes. Elles incluent notamment la capacité à la pensée abstraite, à la planification et à la réalisation de projets, la flexibilité mentale, la capacité de décider quels comportements sont appropriés dans quelles situations (ICF – b164 : Higher-level cognitive functions).

Cette définition repose sur plusieurs modélisations de ces fonctions qui ont été présentées avec des approches neuroanatomiques se fondant sur la neuroimagerie fonctionnelle se fondant sur des tests neuropsychologiques. Notre revue de la littérature a présenté en détail trois modèles centraux. Le premier modèle, sur lequel repose ce travail de thèse, est le modèle de Lezak et al. (1995/2012) présentant l'idée de réalisation de but et prenant en compte la formulation d'objectifs (*volition*), nécessaire pour y parvenir. C'est sur ce modèle que repose le Cooking Task Test, le test neuropsychologique utilisé à l'HIA Percy.

En utilisant ensuite comme références les modèles de Miyake et al. (2000) et de Diamond (2013), la revue de la littérature de Snyder et al. (2015), et les notions de modélisation de l'activité et d'analyse de la tâche en ergonomie (Leplat, 1997), nous avons pu proposer un quatrième modèle des fonctions exécutives auquel nous avons ajouté aux éléments cognitifs les notions de modélisation de l'activité et d'analyse de la tâche propre à l'ergonomie. Cette modélisation des fonctions exécutives peut être complétée par une cartographie issue d'études de neuroimagerie et d'études lésionnelles pour permettre de faire le lien entre les troubles des fonctions exécutives, les modèles théoriques et l'imagerie médicale.

Parmi les pathologies provoquant des troubles des fonctions exécutives, nous en avons étudié deux : les traumatismes crâniens (TC) et la leucopathie post-radique (LPR). Les TC, qu'ils soient légers, modérés, ou graves, impliquent dans 11 à 70% des cas une atteinte des fonctions exécutives, avec des conséquences sur le long terme. En effet, les TC étant une pathologie aiguë qui touche principalement les femmes et les hommes entre 15 et 25 ans, elle peut entraîner des problèmes d'insertion sociale et professionnelle dès le début de la vie active. La LPR, une pathologie chronique causée par la neurotoxicité des traitements anticancéreux touche une personne sur deux à trois ans après le traitement initial. Cette pathologie entraîne donc une perte de l'autonomie et du maintien au domicile de la personne âgée. Le diagnostic et la prise en charge précoces de ces deux pathologies permettent de récupérer, en totalité ou en partie, l'usage de ces fonctions exécutives dans le cas des TC, et de ralentir leur perte dans le cas de la LPR. Ceci peut permettre de restituer, ou de maintenir, un niveau d'autonomie suffisant - et donc de rendre possible le retour ou le maintien, à domicile des patients et de limiter les conséquences sociétales et le coût de la prise en charge des TC et de la LPR.

Le diagnostic des fonctions exécutives repose sur deux types de tests neuropsychologiques. Les tests classiques, de type « papier-crayon », qui qualifient les fonctions exécutives une à une, mais les conditions de passation et la nature très structurée de ces tâches ne permettent pas toujours de faire un diagnostic précis de l'impact de ces troubles sur la vie quotidienne du

patient. Les limites de ces tests en termes de validité écologique ont été mis en avant dès 1998 par Burgess et al.. Les tests écologiques simulent la réalisation de tâches de la vie quotidienne dans des environnements qui peuvent changer d'une passation à l'autre et repose souvent sur une observation, sans support d'enregistrement, afin d'analyser la performance des patients. Cette méthodologie de recueil présente des limites dans sa fiabilité et sa répétabilité. De plus, plusieurs de ces tests sont sous copyright ou nécessitent de suivre des formations payantes, ce qui peut compliquer leur usage à grande échelle pour les praticiens.

Le Cooking Task Test est le test écologique de référence utilisé à l'HIA Percy. Sa notation s'appuie sur la définition d'erreurs et le relevé de leurs occurrences lors de la réalisation d'une tâche de cuisine afin d'établir une analyse de la performance du patient. La démarche mise en place pour développer ce test repose sur une analyse de l'activité telle qu'elle est proposée en ergonomie, cependant, la démarche mise en œuvre par Chevignard et al. (2000) ne respecte pas toutes les étapes définies par Norimatsu et Pigem (2008), l'analyse était limitée par le fait que le recueil de données était réalisé par des observateurs en mode « papier-crayon ».

Le postulat de ce test qui est que la performance des patients durant la tâche de cuisine reflète la capacité des patients à être autonomes dans leur vie quotidienne. Ceci nous a amené à questionner la notion de validité - et plus particulièrement, de validité écologique – d'un test, notamment celle des tests neuropsychologiques. En effet, cette notion est rarement définie précisément lors de la description des tests de diagnostic des troubles des fonctions exécutives.

Les constats que dressent cette revue de la littérature nous ont permis de proposer plusieurs postulats de recherche.

Le premier est que le Cooking Task Test possède une meilleure validité et une meilleure reproductibilité que les autres tests écologiques, mais qu'il possède également des limites qui doivent être adressées. Pour ce faire une nouvelle tâche peut être utilisée et le recueil des données peut être amélioré en s'appuyant sur l'observation systématique de l'activité utilisées en ergonomie. Nous avons pu démontrer que l'observation des comportements manifestes des participants pouvait être enrichie de l'analyse des données oculométriques. Pour l'heure, ces travaux ont été valorisés sous la forme d'un article présenté en conférence (Kempa et al., 2021) et un second, actuellement soumis en dans une revue internationale indexée.

Nous avons proposé une démarche de création de modèle en briques de Lego® et de la notice de construction associée avec une étude de faisabilité dans le service de neurologie de l'HIA Percy durant le stage de recherche effectué en amont de la thèse (Campos, 2017).

Durant la première étude de ce travail de thèse, nous avons validé l'usage de ce modèle à base de briques de Lego® dans le cadre d'un nouveau test écologique de diagnostic des fonctions exécutives, *l'Arc de Triomphe Construction Test (ATCT)* grâce à la méthode de l'observation systématique assistée par ordinateur avec le logiciel BORIS (Friard & Gamba, 2016). L'ATCT est un test répondant aux limites du Cooking Task Test tout en conservant ses qualités psychométriques. L'ATCT est facilement reproductible et est suffisamment sensible pour qualifier les troubles des fonctions exécutives avec de très importantes propriétés discriminantes. Ce test introduit également un score composite unique permettant de classer les patients selon la gravité de leurs pathologies (Figure 18). Le score a une distribution normale chez les patients et chez les sujets contrôle, ce qui est un avantage certain dans l'évaluation des fonctions cognitives. Finalement, les chroniques d'activité générées par BORIS permettent aux praticiens d'avoir une représentation graphique facilement compréhensible des performances du patient lors de la réalisation de l'ATCT et permettent donc une meilleure compréhension de son état. Afin de faciliter l'usage et de permettre un codage de l'activité cohérent entre les examinateurs, nous avons proposé un catalogue vidéo documentant chacune des façons de commettre chaque erreur descriptive (voir la figure 15 pour un exemple d'addition). Finalement, la validation de ce test a été réalisée dans le milieu hospitalier afin qu'il soit susceptible d'être utilisé dans la pratique courante d'un service de Neurologie

La seconde étude avait deux objectifs. Le premier était d'enrichir le réseau nomologique sur lequel repose le Cooking Task Test, nous avons équipé les participants de l'étude de validation de l'ATCT d'un oculomètre afin d'étudier les fixations oculaires lors de la recherche d'informations durant quatre ensembles d'étapes de la construction. Le second était de contribuer à la réflexion sur le statut des méthodes d'observation dans l'analyse ergonomique de l'activité et sur les pratiques associées (Barthe et al., 2017). Ainsi, dans le cadre de cette étude, nous avons accordé une importance toute particulière à l'articulation entre les erreurs descriptives de l'ATCT et les regards. Cette étude donc propose de nouvelles pistes concrètes pour le traitement de données d'observation grâce à l'usage de matrices de transition et des chroniques d'activité en complément des cartes de chaleurs. La représentation graphique des matrices de transition ne présente que les transitions binaires entre deux états ou deux comportements.

Enfin, le constat du coût de la mise en œuvre, malgré son intérêt, de la méthode d'observation systématique assistée par ordinateur, nous a poussés à mettre en place une réflexion sur la modélisation de l'activité de codage d'observation assistée par ordinateur. Cette étude propose

une étude des processus cognitifs de l'activité de codage d'une vidéo par des ergonomes. Elle a permis de poser des bases pour la création d'un outil d'automatisation du codage de l'ATCT. Cependant, la décision finale de la pertinence du relevé de chacun de ces observables devra malgré tout être du ressort de l'expert afin d'éviter toute ambiguïté dans l'analyse. Ce paramètre est d'autant plus important que le diagnostic médical ne peut être laissé à un automate aussi perfectionné que soit sa capacité à proposer un relevé exhaustif des comportements observés chez des patients présentant des troubles des fonctions exécutives. La décision finale revient au praticien qui seul pose un diagnostic ou établit la gravité d'une atteinte, les aides ne servant que de guide, de rappel ou d'aide selon les cas.

11.3. Perspectives de recherche

La modélisation des fonctions exécutives, proposée en Figure 6, pourrait être enrichie d'une nouvelle strate du réseau et permettre de mettre en perspective l'origine neuropsychologique de l'erreur avec l'origine neuroanatomique, relevée durant l'analyse des bilans lésionnels, des pathologies entraînant des troubles des fonctions exécutives chez patients. Cette analyse pourrait permettre de mettre en relation les erreurs descriptives relevées durant l'ATCT, les lésions neurologiques et les fonctions exécutives. L'usage de cette modélisation couplé avec la réalisation de l'ATCT pourrait permettre de limiter l'usage des techniques d'imagerie médicale qui représente un certain un coût pour l'hôpital et limiter les contraintes qu'elles impliquent pour le patient. En effet, cette modélisation pourrait permettre d'émettre des hypothèses sur la localisation de lésions non visibles avec les techniques d'imagerie médicale mais ayant un impact sur les fonctions exécutives en fonction de la nature des erreurs observées durant l'ATCT.

L'étude de validation du test de l'ATCT pourrait être complétée d'une étude longitudinale des patients afin de d'analyser la fidélité test-retest vis-à-vis de la tâche de construction d'un modèle de Lego®. Cette analyse de suivi longitudinal pourrait également permettre d'analyser la

capacité de l'ATCT à qualifier l'évolution des troubles des fonctions exécutives chez les patients. Une autre étude pourrait consister à valider ce test chez les enfants et jeunes adolescents qui peuvent également souffrir de troubles des fonctions exécutives à la suite de traumatismes crâniens ou, dans de rare cas, de leucopathie post-radique précoce. Elle pourrait entraîner la création d'une typologie différente des erreurs et étudier la récupération des fonctions exécutives à la suite de l'épisode pathologique, qui pourrait être plus rapide chez les jeunes que chez les adultes du fait de la plasticité cérébrale.

L'étude des marqueurs oculométriques pourrait être complétée par l'analyse de données oculométriques sur l'ensemble de données oculométriques des passations et non pas se limiter à quatre ensembles d'étapes particulières par afin de réaliser une analyse de l'entropie des matrices de transitions, comme suggéré par Duchowski (2017). L'entropie est un indice numérique calculé sur l'ensemble des valeurs d'une matrice de transition qui. Une entropie plus élevée chez les patients que chez les sujets contrôle pourrait être un indicateur de la désorganisation des regards durant l'activité et donc, des troubles cognitifs.

L'étude de modélisation de l'activité de codage d'une observation assistée par ordinateur dans le but de produire un agent intelligent pour le codage automatique pourrait être enrichie par l'analyse du discours d'autres experts, de nouveaux ergonomes, mais aussi les acteurs du monde hospitalier qui seront amenés à analyser les résultats de l'ATCT, les médecins, les neuropsychologues ou les orthophonistes. Cette analyse du discours permettrait de mettre en avant les éléments importants pour l'analyse du comportement des patients par les membres du corps médicales qui pourraient être complémentaire de ceux relevés par les ergonomes. L'étape suivante dans la création de cet agent intelligent serait de l'entraîner grâce à l'analyse du codage des erreurs effectuées par des experts et par le catalogue vidéo de l'ATCT pour lui permettre de détecter automatiquement les erreurs produites durant la réalisation de l'ATCT.

Enfin, une étude complémentaire pourrait évaluer la portabilité du dispositif de test de l'ATCT (l'ensemble des pièces de Lego®, les camera GoPro® et l'oculomètre Tobii Pro Glasses ®) au domicile des patients. Cette étude initialement prévue dans le projet de thèse, à réaliser en partenariat avec le laboratoire HAVAE (Handicap, Activité, Vieillesse, Autonomie, Environnement ; Université de Limoges, EA 6310), permettrait d'analyser le niveau de l'activité de patients ayant subi un accident vasculaire cérébrale et d'analyser si un usage régulier du test permettrait d'améliorer l'autonomie de ces patients. Cependant, à cause de la pandémie de Covid-19, cette étude n'a pas pu être réalisée.

11.4. Synthèse

Ce travail de thèse avait pour objectif de répondre au besoin d'avoir un nouvel outil diagnostique permettant de mieux qualifier et quantifier les troubles des fonctions exécutives. L'approche ergonomique de cette question a permis de proposer un nouveau test neuropsychologique écologique possédant des qualités psychométriques équivalentes au test utilisé en routine à l'HIA Percy, le Cooking Task Test tout en répondant à certaines de ses limites.

Nous avons tout d'abord proposé un état de l'art des connaissances relatives aux fonctions exécutives et leurs modélisations à laquelle nous avons ajouté une réflexion sur l'analyse de l'activité en ergonomie afin de proposer une nouvelle modélisation qui pourrait être utilisée lors du diagnostic des troubles des fonctions exécutive avec *l'Arc de Triomphe Construction Test*. Nous avons proposé une revue des tests neuropsychologiques permettant de diagnostiquer les troubles des fonctions exécutives et des notions de validité et de validité écologique.

Nous avons donc ensuite créé un nouveau test neuropsychologique écologique, *l'Arc de Triomphe Construction Test*. Nous l'avons validé en milieu hospitalier afin qu'il soit utilisable dans la pratique courante. Ce test présente l'avantage de présenter un score unique, normalement distribué, permettant de distinguer les patients des sujets contrôles. Le processus de création et de validation a reposé sur une méthode utilisée dans l'analyse de l'activité en ergonomie, l'observation systématique assistée par ordinateur. Nous avons proposé avec ce test une nouvelle représentation de la performance des patients durant la passation du test sous la forme d'une chronique d'activité.

Nous avons proposé, en plus, pour compléter l'analyse de la performance des patients durant l'ATCT, une analyse des mouvements oculaires. Cette analyse a permis de mettre en avant de nouveaux marqueurs de différence entre les patients et les sujets contrôle. Nous avons proposé une nouvelle représentation graphique de l'organisation des regards grâce à la modélisation des matrices de transition.

Finalement, nous proposons des bases pour la création d'un agent intelligent permettant l'automatisation de l'analyse de l'ATCT afin d'en permettre un usage à plus grande échelle.

Cette thèse propose donc une approche ergonomique du processus de création, de validation et d'analyse d'un nouveau test neuropsychologique écologique utilisant un modèle en brique de Lego®, *l'Arc de Triomphe Construction Test*.

Bibliographie

- American Educational Research Association, American Psychological Association, & National Council on Measurement in Education. (1999). *Standards for educational and psychological testing*. Association, American Educational Research.
- American Psychological Association, American Educational Research Foundation, & National Council for Measurements Used in Education. (1954). Technical recommendations for psychological tests and diagnostic techniques. *Psychological Bulletin*, *51*(2), 1–38. <https://doi.org/10.1037/h0053479>
- American Psychological Association, American Educational Research Foundation, & National Council for Measurements Used in Education. (1966). *Standards for Educational and Psychological Tests and Manuals*. American Psychological Association.
- Anastasi, A. (1986). Evolving concepts of test validation. *Annual Review of Psychology*, *37*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1146/annurev.ps.37.020186.000245>
- Anderson, J. R., Bothell, D., & Douglass, S. (2004). Eye Movements Do Not Reflect Retrieval Processes: Limits of the Eye-Mind Hypothesis. *Psychological Science*, *15*(4), 225–231. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00656.x>
- Anderson, S. W., Damasio, H., Jones, R. D., & Tranel, D. (1991). Wisconsin Card Sorting Test Performance as a Measure of Frontal Lobe Damage. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *13*(6), 909–922. <https://doi.org/10.1080/01688639108405107>
- Andrés, P. (2003). Frontal Cortex as the Central Executive of Working Memory: Time to Revise Our View. *Cortex*, *39*(4–5), 871–895. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70868-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70868-2)
- Angoff, W. H. (1988). Validity: an evolving concept. In H. Wainer & H. I. Braun (Eds.), *Test Validity* (pp. 19–32). Lawrence Erlbaum Associates.
- Aron, A. R., Durston, S., Eagle, D. M., Logan, G. D., Stinear, C. M., & Stuphorn, V. (2007). Converging Evidence for a Fronto-Basal-Ganglia Network for Inhibitory Control of Action and Cognition. *Journal of Neuroscience*, *27*(44), 11860–11864. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3644-07.2007>
- Aubin, G., Le Gall, D., & Etcharry-Bouyx, F. (1997). Niveaux cognitifs de la résolution de problèmes numériques : à propos d’une observation de syndrome frontal. *Revue de Neuropsychologie*, *7*(4), 411–433.
- Audiffren, J., Bargiotas, I., Vayatis, N., Vidal, P.-P., & Ricard, D. (2016). A Non Linear Scoring Approach for Evaluating Balance: Classification of Elderly as Fallers and Non-Fallers. *PLOS ONE*, *11*(12), e0167456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167456>
- Auger, C., Demers, L., & Swaine, B. (2006). Making sense of pragmatic criteria for the selection of geriatric rehabilitation measurement tools. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *43*(1), 65–83. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2005.09.004>
- Azouvi, P., Vallat-Azouvi, C., Joseph, P.-A., Meulemans, T., Bertola, C., Le Gall, D., Bellmann, A., Roussel, M., Coyette, F., Krier, M., Franconie, C., Bindschadler, C., Diouf, M., & Godefroy,

- O. (2016). Executive Functions Deficits After Severe Traumatic Brain Injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 31(3), E10–E20. <https://doi.org/10.1097/HTR.000000000000169>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 8, pp. 47–89). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
- Baddeley, A. D., & Wilson, B. (1988). Frontal amnesia and the dysexecutive syndrome. *Brain and Cognition*, 7(2), 212–230. [https://doi.org/10.1016/0278-2626\(88\)90031-0](https://doi.org/10.1016/0278-2626(88)90031-0)
- Badre, D., & D’Esposito, M. (2007). Functional Magnetic Resonance Imaging Evidence for a Hierarchical Organization of the Prefrontal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(12), 2082–2099. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.12.2082>
- Badre, D., & Desrochers, T. M. (2019). Hierarchical cognitive control and the frontal lobes. In *Handbook of clinical neurology* (Vol. 163, pp. 165–177). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00009-4>
- Bailey, C. E. (2007). Cognitive Accuracy and Intelligent Executive Function in the Brain and in Business. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1118(1), 122–141. <https://doi.org/10.1196/annals.1412.011>
- Baler, R. D., & Volkow, N. D. (2006). Drug addiction: the neurobiology of disrupted self-control. *Trends in Molecular Medicine*, 12(12), 559–566. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2006.10.005>
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2011). Orbitofrontal Contributions to Human Working Memory. *Cerebral Cortex*, 21(4), 789–795. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq153>
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*, 49(5), 1195–1205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>
- Barch, D. M. (2005). The Cognitive Neuroscience of Schizophrenia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 1(1), 321–353. <https://doi.org/10.1146/annurev.clinpsy.1.102803.143959>
- Bardin, L. (1991). *L’analyse de contenu* (1st ed.). PUF.
- Bargiotas, I., Audiffren, J., Vayatis, N., Vidal, P.-P., Buffat, S., Yelnik, A. P., & Ricard, D. (2018). On the importance of local dynamics in statokinesigram: A multivariate approach for postural control evaluation in elderly. *PLOS ONE*, 13(2), e0192868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192868>
- Bargiotas, I., Moreau, A., Vienne, A., Bompaire, F., Baruteau, M., de Laage, M., Campos, M., Psimaras, D., Vayatis, N., Labourdette, C., Vidal, P.-P., Ricard, D., & Buffat, S. (2019). Balance Impairment in Radiation Induced Leukoencephalopathy Patients Is Coupled With Altered Visual Attention in Natural Tasks. *Frontiers in Neurology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.01185>
- Barkley, R. A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: Constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121(1), 65–94. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.121.1.65>
- Barthe, B., Boccara, V., Delgoulet, C., Gaillard, I., Meylan, S., & Zara-Meylan, V. (2017). Outiller

- l'observation de l'activité de travail : quel processus de conception d'un dispositif technique ? *Actes Du 52ème Congrès de La SELF - Présent et Futur de l'Ergonomie*, 543–547.
- Bartneck, C., & Moltchanova, E. (2018). LEGO products have become more complex. *PLOS ONE*, 13(1), e0190651. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190651>
- Baum, C. M., Morrison, T., Hahn, M., & Edwards, D. F. (2003). *Test manual: Executive function performance test*. Washington University.
- Baum, Carolyn M., Connor, L. T., Morrison, T., Hahn, M., Dromerick, A. W., & Edwards, D. F. (2008). Reliability, Validity, and Clinical Utility of the Executive Function Performance Test: A Measure of Executive Function in a Sample of People With Stroke. *The American Journal of Occupational Therapy*, 62(4), 446–455. <https://doi.org/10.5014/ajot.62.4.446>
- Bazarian, J. J., McClung, J., Shah, M. N., Ting Cheng, Y., Flesher, W., & Kraus, J. (2005). Mild traumatic brain injury in the United States, 1998–2000. *Brain Injury*, 19(2), 85–91. <https://doi.org/10.1080/02699050410001720158>
- Beaumont, J. G. (1983). The Eeg and Task Performance: A Tutorial Review. *Advances in Psychology*, 10, 385–406. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62049-X](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62049-X)
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., & Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1–3), 7–15. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0010-0277(94)90018-3)
- Berg, E. A. (1948). A Simple Objective Technique for Measuring Flexibility in Thinking. *The Journal of General Psychology*, 39(1), 15–22. <https://doi.org/10.1080/00221309.1948.9918159>
- Bernspng, B., & Fisher, A. G. (1995). Differences between persons with right or left cerebral vascular accident on the assessment of motor and process skills. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(12), 1144–1151. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(95\)80124-3](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(95)80124-3)
- Bisseret, A., Sebillotte, S., & Falzon, P. (1999). *Techniques pratiques pour l'étude des activités expertes* (1st ed.). Octarès.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating Effortful Control, Executive Function, and False Belief Understanding to Emerging Math and Literacy Ability in Kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647–663. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2007.01019.x>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. . (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307–310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)
- Bobillier Chaumon, M. E. (2021). Tâche et activité. In E. Brangier & G. Valléry (Eds.), *Ergonomie : 150 notions clés* (pp. 503–508). Dunod.
- Bompaire, F. (2012). *Leucopathie post-radique : description clinique, neuropsychologique et neuroradiologique* [Thèse d'exercice de médecine]. Université Paris Est Créteil.
- Borella, E., Carretti, B., & Pelegrina, S. (2010). The Specific Role of Inhibition in Reading Comprehension in Good and Poor Comprehenders. *Journal of Learning Disabilities*, 43(6), 541–552. <https://doi.org/10.1177/0022219410371676>

- Borsboom, D., Mellenbergh, G. J., & van Heerden, J. (2004). The concept of validity. *Psychological Review*, *111*(4), 1061–1071. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.4.1061>
- Bottari, C., Dassa, C., Rainville, C., & Dutil, É. (2009). The factorial validity and internal consistency of the Instrumental Activities of Daily Living Profile in individuals with a traumatic brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, *19*(2), 177–207. <https://doi.org/10.1080/09602010802188435>
- Bottari, C., Dutil, E., Dassa, C., & Rainville, C. (2006). Choosing the most appropriate environment to evaluate independence in everyday activities: Home or clinic? *Australian Occupational Therapy Journal*, *53*(2), 98–106. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1630.2006.00547.x>
- Boyd, T.M., & Sautter, S. W. (1985). Route-finding by the head-injured: Qualitative analysis of executive control in an everyday task. *Ninth Annual Postgraduate Course on Rehabilitation of the Brain Injured Adult and Child*.
- Boyd, Thomas M., & Sautter, S. W. (1993). Route-finding: A measure of everyday executive functioning in the head-injured adult. *Applied Cognitive Psychology*, *7*(2), 171–181. <https://doi.org/10.1002/acp.2350070208>
- Bracht, G. H., & Glass, G. V. (1968). The External Validity of Experiments. *American Educational Research Journal*, *5*(4), 437–474. <https://doi.org/10.3102/00028312005004437>
- Broidy, L. M., Nagin, D. S., Tremblay, R. E., Bates, J. E., Brame, B., Dodge, K. A., Fergusson, D., Horwood, J. L., Loeber, R., Laird, R., Lynam, D. R., Moffitt, T. E., Pettit, G. S., & Vitaro, F. (2003). Developmental trajectories of childhood disruptive behaviors and adolescent delinquency: A six-site, cross-national study. *Developmental Psychology*, *39*(2), 222–245. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.39.2.222>
- Brooks, D. N., & McKinlay, W. (1983). Personality and behavioural change after severe blunt head injury--a relative's view. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *46*(4), 336–344. <https://doi.org/10.1136/jnnp.46.4.336>
- Brown, T. E., & Landgraf, J. M. (2010). Improvements in Executive Function Correlate with Enhanced Performance and Functioning and Health-Related Quality of Life: Evidence from 2 Large, Double-Blind, Randomized, Placebo-Controlled Trials in ADHD. *Postgraduate Medicine*, *122*(5), 42–51. <https://doi.org/10.3810/pgm.2010.09.2200>
- Brunswik, E. (1949). Systematic and representative design of psychological experiments. With results in physical and social perception. In J. Neyman (Ed.), *Proceedings of the Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability* (pp. 143–202). University of California Press.
- Burgess, P. W., & Shallice, T. (1996). Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, *34*(4), 263–272. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00104-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00104-2)
- Burgess, P. W., Alderman, N., Evans, J. O. N., Emslie, H., & Wilson, B. A. (1998). The ecological validity of tests of executive function. *Journal of the international neuropsychological society*, *4*(6), 547-558. <https://doi.org/10.1017/S1355617798466037>
- Buxbaum, L. J., & Coslett, H. B. (1998). Spatio-motor representations in reaching: evidence for

- subtypes of optic ataxia. *Cognitive Neuropsychology*, 15(3), 279–312. <https://doi.org/10.1080/026432998381186>
- Cahn-Weiner, D. A., Boyle, P. A., & Malloy, P. F. (2002). Tests of Executive Function Predict Instrumental Activities of Daily Living in Community-Dwelling Older Individuals. *Applied Neuropsychology*, 9(3), 187–191. https://doi.org/10.1207/S15324826AN0903_8
- Campbell, D. T. (1957). Factors relevant to the validity of experiments in social settings. *Psychological Bulletin*, 54(4), 297–312. <https://doi.org/10.1037/h0040950>
- Campos, M. (2017). *Etude des désordres cognitifs de patients atteints de traumatismes crâniens lors d'une tâche de construction type « Lego »* [Mémoire de Master Recherche en Ergonomie]. Université Paris Descartes.
- Cardebat, D., Doyon, B., Puel, M., Goulet, P., & Joanette, Y. (1990). Evocation lexicale formelle et sémantique chez des sujets normaux. Performances et dynamiques de production en fonction du sexe, de l'âge et du niveau d'étude. *Acta Neurologica Belgica*, 90(4), 207–217. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2124031>
- Carroll, L., Cassidy, J. D., Peloso, P., Borg, J., von Holst, H., Holm, L., Paniak, C., & Pépin, M. (2004). Prognosis for mild traumatic brain injury: results of the who collaborating centre task force on mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 36, 84–105. <https://doi.org/10.1080/16501960410023859>
- Carter, B. T., & Luke, S. G. (2020). Best practices in eye tracking research. *International Journal of Psychophysiology*, 155, 49–62. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.05.010>
- Cazalis, F., Azouvi, P., Sirigu, A., Agar, N., & Burnod, Y. (1998). Étude des fonctions exécutives de patients traumatisés crâniens sévères au moyen d'une épreuve de génération et de reconstitution de scripts. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 41(6), 307–308.
- Cederfeldt, M., Widell, Y., Andersson, E. E., Dahlin-Ivanoff, S., & Gosman-Hedström, G. (2011). Concurrent Validity of the Executive Function Performance Test in People with Mild Stroke. *British Journal of Occupational Therapy*, 74(9), 443–449. <https://doi.org/10.4276/030802211X13153015305673>
- Champod, A. S., & Petrides, M. (2007). Dissociable roles of the posterior parietal and the prefrontal cortex in manipulation and monitoring processes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(37), 14837–14842. <https://doi.org/10.1073/pnas.0607101104>
- Chaniaud, N. (2020). *L'évaluation ergonomique de dispositifs connectés en santé pour le domicile patient dans le cadre de la chirurgie ambulatoire : Vers un modèle de l'utilisabilité adapté à la e-santé* [Thèse de doctorat]. Université de Picardie Jules Verne.
- Chaytor, N., & Schmitter-Edgecombe, M. (2003). The Ecological Validity of Neuropsychological Tests: A Review of the Literature on Everyday Cognitive Skills. *Neuropsychology Review*, 13(4), 181–197. <https://doi.org/10.1023/B:NERV.0000009483.91468.fb>
- Cheung, Y. T., Sabin, N. D., Reddick, W. E., Bhojwani, D., Liu, W., Brinkman, T. M., Glass, J. O., Hwang, S. N., Srivastava, D., Pui, C.-H., Robison, L. L., Hudson, M. M., & Krull, K. R. (2016). Leukoencephalopathy and long-term neurobehavioural, neurocognitive, and brain imaging outcomes in survivors of childhood acute lymphoblastic leukaemia treated with chemotherapy: a longitudinal analysis. *The Lancet Haematology*, 3(10), e456–e466.

[https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(16\)30110-7](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(16)30110-7)

- Chevignard, M. P., Pillon, B., Pradat-Diehl, P., Taillefer, C., Rousseau, S., Le Bras, C., & Dubois, B. (2000). An Ecological Approach to Planning Dysfunction: Script Execution. *Cortex*, 36(5), 649–669. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70543-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70543-4)
- Chevignard, M. P., Soo, C., Galvin, J., Catroppa, C., & Eren, S. (2012). Ecological assessment of cognitive functions in children with acquired brain injury: A systematic review. *Brain Injury*, 26(9), 1033–1057. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.666366>
- Chevignard, M. P., Taillefer, C., Picq, C., Poncet, F., Noulhiane, M., & Pradat-Diehl, P. (2008). Ecological assessment of the dysexecutive syndrome using execution of a cooking task. *Neuropsychological Rehabilitation*, 18(4), 461–485. <https://doi.org/10.1080/09602010701643472>
- Chevignard, M. P., Taillefer, C., Picq, C., Poncet, F., & Pradat-Diehl, P. (2006). Évaluation du syndrome dysexécutif en vie quotidienne. In P. Pradat-Diehl & A. Peskine (Eds.), *Évaluation des troubles neuropsychologiques en vie quotidienne* (pp. 47–65). Springer.
- Chow, S. C., Shao, J., Wang, H., & Lohknygina, Y. (2017). *Sample Size Calculations in Clinical Research* (3rd ed.). Chapman and Hall/CRC.
- Christoff, K., Prabhakaran, V., Dorfman, J., Zhao, Z., Kroger, J. K., Holyoak, K. J., & Gabrieli, J. D. E. (2001). Rostrolateral Prefrontal Cortex Involvement in Relational Integration during Reasoning. *NeuroImage*, 14(5), 1136–1149. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0922>
- Cicerone, K. D., Dahlberg, C., Kalmar, K., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Bergquist, T. F., Felicetti, T., Giacino, J. T., Harley, J. P., Harrington, D. E., Herzog, J., Kneipp, S., Laatsch, L., & Morse, P. A. (2000). Evidence-based cognitive rehabilitation: Recommendations for clinical practice. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81(12), 1596–1615. <https://doi.org/10.1053/apmr.2000.19240>
- Clavel, V., & Bottari, C. (2011). Analyse Critique D'instruments de Mesure Des AVQ en Pédiatrie: Déficits Exécutifs et Indépendance. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 78(4), 220–229. <https://doi.org/10.2182/cjot.2011.78.4.3>
- Cohadon, F., Castel, J. P., Richer, E., Mazaux, J. M., & Loiseau, H. (2008). *Les traumatisés crâniens, de l'accident à la réinsertion* (3rd ed.). Arnette.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic Press.
- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E., & Van der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience*, 139(1), 209–221. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.05.035>
- Constantinidou, F., Wertheimer, J. C., Tsanadis, J., Evans, C., & Paul, D. R. (2012). Assessment of executive functioning in brain injury: Collaboration between speech-language pathology and neuropsychology for an integrative neuropsychological perspective. *Brain Injury*, 26(13–14), 1549–1563. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.698786>
- Couix, S. (2007). *Usage et construction des modèles de tâches dans la pratique de l'ergonomie : une étude exploratoire* [Mémoire de Master Recherche]. Université Paris Descartes.
- Crescioni, A. W., Ehrlinger, J., Alquist, J. L., Conlon, K. E., Baumeister, R. F., Schatschneider, C., & Dutton, G. R. (2011). High trait self-control predicts positive health behaviors and success in weight loss. *Journal of Health Psychology*, 16(5), 750–759.

<https://doi.org/10.1177/1359105310390247>

- Cripe, L. I. (1996). The ecological validity of executive function testing. In R. J. Sbordone & C. J. Long (Eds.), *Ecological validity of neuropsychological testing* (pp. 171–202). St Lucie Press.
- Cristofori, I., Cohen-Zimmerman, S., & Grafman, J. (2019). *Executive functions* (pp. 197–219). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00011-2>
- Cristofori, I., Zhong, W., Chau, A., Solomon, J., Krueger, F., & Grafman, J. (2015). White and gray matter contributions to executive function recovery after traumatic brain injury. *Neurology*, *84*(14), 1394–1401. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000001446>
- Cronbach, L. J. (1989). Construct validation after thirty years. In *Intelligence: measurement, theory, and public policy* (pp. 147–171).
- Cronbach, L. J., & Meehl, P. E. (1955). Construct validity in psychological tests. *Psychological Bulletin*, *52*(4), 281–302. <https://doi.org/10.1037/h0040957>
- Damasio, A. R. (2006). *L'erreur de Descartes: la raison des émotions*. Odile Jacob.
- Davis, J. C., Marra, C. A., Najafzadeh, M., & Liu-Ambrose, T. (2010). The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatrics*, *10*(1), 16. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-10-16>
- de Vries, H., van Houte, L. R., Lindeboom, J., van Eijk, J. T., & de Haan, M. (1992). [Paced addition. A neuropsychological test for assessment of divided attention]. *Tijdschrift Voor Gerontologie En Geriatrie*, *23*(4), 147–156. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1412618>
- DeLoire, M. S. A. (2005). Cognitive impairment as marker of diffuse brain abnormalities in early relapsing remitting multiple sclerosis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *76*(4), 519–526. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2004.045872>
- Denson, T. F., Pedersen, W. C., Friese, M., Hahm, A., & Roberts, L. (2011). Understanding Impulsive Aggression: Angry Rumination and Reduced Self-Control Capacity Are Mechanisms Underlying the Provocation-Aggression Relationship. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *37*(6), 850–862. <https://doi.org/10.1177/0146167211401420>
- Diamond, A. (2005). Attention-deficit disorder (attention-deficit/ hyperactivity disorder without hyperactivity): A neurobiologically and behaviorally distinct disorder from attention-deficit/hyperactivity disorder (with hyperactivity). *Development and Psychopathology*, *17*(03). <https://doi.org/10.1017/S0954579405050388>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, *64*(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Doolittle, N. D., Korfel, A., Lubow, M. A., Schorb, E., Schlegel, U., Rogowski, S., Fu, R., Dosa, E., Illerhaus, G., Kraemer, D. F., Muldoon, L. L., Calabrese, P., Hedrick, N., Tyson, R. M., Jahnke, K., Maron, L. M., Butler, R. W., & Neuwelt, E. A. (2013). Long-term cognitive function, neuroimaging, and quality of life in primary CNS lymphoma. *Neurology*, *81*(1), 84–92. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e318297eeba>
- Douw, L., Klein, M., Fagel, S. S., van den Heuvel, J., Taphoorn, M. J., Aaronson, N. K., Postma, T. J., Vandertop, W. P., Mooij, J. J., Boerman, R. H., Beute, G. N., Sluimer, J. D., Slotman, B. J., Reijneveld, J. C., & Heimans, J. J. (2009). Cognitive and radiological effects of radiotherapy in patients with low-grade glioma: long-term follow-up. *The Lancet*

- Neurology*, 8(9), 810–818. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(09\)70204-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(09)70204-2)
- Downing, S. M. (2003). Validity: on the meaningful interpretation of assessment data. *Medical Education*, 37(9), 830–837. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2923.2003.01594.x>
- Drewe, E. A. (1975). Go - No Go Learning After Frontal Lobe Lesions in Humans. *Cortex*, 11(1), 8–16. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(75\)80015-3](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(75)80015-3)
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye tracking methodology: theory and practice* (3rd ed.). Springer.
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A. C., Klebanov, P., Pagani, L. S., Feinstein, L., Engel, M., Brooks-Gunn, J., Sexton, H., Duckworth, K., & Japel, C. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428–1446. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.6.1428>
- Dunnette, M. D. (1992). It Was Nice to Be There: Construct Validity Then and Now. *Human Performance*, 5(1–2), 157–169. <https://doi.org/10.1080/08959285.1992.9667930>
- Durand, T., Bernier, M.-O., Léger, I., Taillia, H., Noël, G., Psimaras, D., & Ricard, D. (2015). Cognitive outcome after radiotherapy in brain tumor. *Current Opinion in Oncology*, 27(6), 510–515. <https://doi.org/10.1097/CCO.0000000000000227>
- Durand, T., Léger, I., Bompaire, F., Boone, M., Moroni, C., Delgadillo, D., Dornier, S., Psimaras, D., Noël, G., Taillia, H., & Ricard, D. (2016). Tumeurs cérébrales : neurotoxicité des traitements et évaluations cognitives. *Revue de Neuropsychologie*, 8(3), 192. <https://doi.org/10.3917/rne.083.0192>
- Durston, S., Thomas, K. M., Yang, Y., Ulug, A. M., Zimmerman, R. D., & Casey, B. J. (2002). A neural basis for the development of inhibitory control. *Developmental Science*, 5(4), F9–F16. <https://doi.org/10.1111/1467-7687.00235>
- Dutil, E., Bottari, C., & Vanier, M. (2002). *Profil des AVQ*. Emersion.
- Dutil, E., Rousseau, J., Lambert, J., Vanier, M., Auger, C., Martel, N., & Labelle, J. (1994). Reliability of an activity of daily living assessment (ADL Profile) used for traumatic brain injured persons. *Proceeding of the World Federation of Occupational Therapists 11th International Congress*.
- Dutil, E., Forget, A., Vanier, M., & Gaudreault, C. (1990). Development of the ADL Profile. *Occupational Therapy In Health Care*, 7(1), 7–22. https://doi.org/10.1080/J003v07n01_03
- Eakin, L., Minde, K., Hechtman, L., Ochs, E., Krane, E., Bouffard, R., Greenfield, B., & Looper, K. (2004). The marital and family functioning of adults with ADHD and their spouses. *Journal of Attention Disorders*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1177/108705470400800101>
- Elliott, R. (2003). Executive functions and their disorders. *British Medical Bulletin*, 65(1), 49–59. <https://doi.org/10.1093/bmb/65.1.49>
- Emre, M., Aarsland, D., Brown, R., Burn, D. J., Duyckaerts, C., Mizuno, Y., Broe, G. A., Cummings, J., Dickson, D. W., Gauthier, S., Goldman, J., Goetz, C., Korczyn, A., Lees, A., Levy, R., Litvan, I., McKeith, I., Olanow, W., Poewe, W., ... Dubois, B. (2007). Clinical diagnostic criteria for dementia associated with Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 22(12), 1689–1707. <https://doi.org/10.1002/mds.21507>
- 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(1), 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Eslinger, P. J., & Damasio, A. R. (1985). Severe disturbance of higher cognition after bilateral frontal lobe ablation: Patient EVR. *Neurology*, 35(12), 1731–1731. <https://doi.org/10.1212/WNL.35.12.1731>
- Estryn-Behar, M. (2011). *Ergonomie hospitalière* (2nd ed.). Octarès.
- Fairchild, G., van Goozen, S. H. M., Stollery, S. J., Aitken, M. R. F., Savage, J., Moore, S. C., & Goodyer, I. M. (2009). Decision Making and Executive Function in Male Adolescents with Early-Onset or Adolescence-Onset Conduct Disorder and Control Subjects. *Biological Psychiatry*, 66(2), 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.02.024>
- Falzon, P. (2004). Nature, objectifs et connaissances de l'ergonomie : éléments d'une analyse cognitive de la pratique. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 15–35). PUF.
- Fann, J. R., Burington, B., Leonetti, A., Jaffe, K., Katon, W. J., & Thompson, R. S. (2004). Psychiatric Illness Following Traumatic Brain Injury in an Adult Health Maintenance Organization Population. *Archives of General Psychiatry*, 61(1), 53. <https://doi.org/10.1001/archpsyc.61.1.53>
- Faul, M., Xu, L., Wald, M. M., & Coronado, V. (2010). *Traumatic Brain Injury In The United States: Emergency Department Visits, Hospitalizations and Deaths 2002 – 2006*. National Center for Injury Control and Prevention.
- Feigin, V. L., Theadom, A., Barker-Collo, S., Starkey, N. J., McPherson, K., Kahan, M., Dowell, A., Brown, P., Parag, V., Kydd, R., Jones, K., Jones, A., & Ameratunga, S. (2013). Incidence of traumatic brain injury in New Zealand: a population-based study. *The Lancet Neurology*, 12(1), 53–64. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(12\)70262-4](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(12)70262-4)
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering Statistics Using R*. Sage.
- Fincham, J. M., Carter, C. S., van Veen, V., Stenger, V. A., & Anderson, J. R. (2002). Neural mechanisms of planning: A computational analysis using event-related fMRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(5), 3346–3351. <https://doi.org/10.1073/pnas.052703399>
- Fisher, A. G., & Jones, B. K. (2010). *Assessment of motor and process skills: Volume 1: Development, standardization, and administration manual* (CO: Three Star Press, Ed.; 7th edition).
- Fitts, P. M., & Seeger, C. M. (1953). S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, 46(3), 199–210. <https://doi.org/10.1037/h0062827>
- Fleminger, S. (2008). Long-term psychiatric disorders after traumatic brain injury. *European Journal of Anaesthesiology*, 25, 123–130. <https://doi.org/10.1017/S0265021507003250>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state." *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Fortin, S., Godbout, L., & Braun, C. (2003). Cognitive Structure of Executive Deficits in Frontally Lesioned Head Trauma Patients Performing Activities of Daily Living. *Cortex*, 39(2), 273–291. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70109-6](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70109-6)

- Franzen, M. D., & Wilhelm, K. L. (1996). Conceptual foundations of ecological validity in neuropsychological assessment. In R. J. Sbordone & C. J. Long (Eds.), *Ecological validity of neuropsychological testing* (pp. 91–112). St Lucie Press.
- Fray, P. J., Robbins, T. W., & Sahakian, B. J. (1996). Neuropsychiatric applications of CANTAB. *International Journal of Geriatric Psychiatry, 11*(4), 329–336. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1166\(199604\)11:4<329::AID-GPS453>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1166(199604)11:4<329::AID-GPS453>3.0.CO;2-6)
- Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS : a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution, 7*(11), 1325–1330. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12584>
- Froklage, F. E., Oosterbaan, L. J., Sizoo, E. M., de Groot, M., Bosma, I., Sanchez, E., Douw, L., Heimans, J. J., Reijneveld, J. C., Lagerwaard, F. J., Buter, J., Uitdehaag, B. M. J., Klein, M., & Postma, T. J. (2014). Central neurotoxicity of standard treatment in patients with newly-diagnosed high-grade glioma: a prospective longitudinal study. *Journal of Neuro-Oncology, 116*(2), 387–394. <https://doi.org/10.1007/s11060-013-1310-4>
- Fugate, L. P., Spacek, L. A., Kresty, L. A., Levy, C. E., Johnson, J. C., & Mysiw, W. J. (1997). Measurement and treatment of agitation following traumatic brain injury: II. a survey of the brain injury special interest group of the american academy of physical medicine and rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 78*(9), 924–928. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(97\)90051-4](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(97)90051-4)
- Fuster, J. M. (1997). Network memory. *Trends in Neurosciences, 20*(10), 451–459. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(97\)01128-4](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01128-4)
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology, 18*(1), 1–16. <https://doi.org/10.1002/acp.934>
- Giovagnoli, A. R. (2012). Investigation of cognitive impairments in people with brain tumors. *Journal of Neuro-Oncology, 108*(2), 277–283. <https://doi.org/10.1007/s11060-012-0815-6>
- Gläscher, J., Tranel, D., Paul, L. K., Rudrauf, D., Rorden, C., Hornaday, A., Grabowski, T., Damasio, H., & Adolphs, R. (2009). Lesion Mapping of Cognitive Abilities Linked to Intelligence. *Neuron, 61*(5), 681–691. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.01.026>
- Godefroy, O. (2003). Frontal syndrome and disorders of executive functions. *Journal of Neurology, 250*(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s00415-003-0918-2>
- Godefroy, O. (2004). Syndromes frontaux et dysexécutifs. *Revue Neurologique, 160*(10), 899–909. [https://doi.org/10.1016/S0035-3787\(04\)71071-1](https://doi.org/10.1016/S0035-3787(04)71071-1)
- Godefroy, O., Azouvi, P., Robert, P., Roussel, M., LeGall, D., & Meulemans, T. (2010). Dysexecutive syndrome: Diagnostic criteria and validation study. *Annals of Neurology, 68*(6), 855–864. <https://doi.org/10.1002/ana.22117>
- Godefroy, O., Bakchine, S., Verny, M., Delabrousse-Mayoux, J.-P., Roussel, M., Pere, J.-J., & REFLEX study group: (2016). Characteristics of Alzheimer’s Disease Patients with Severe Executive Disorders. *Journal of Alzheimer’s Disease : JAD, 51*(3), 815–825. <https://doi.org/10.3233/JAD-150971>
- Godefroy, O., Fickl, A., Roussel, M., Auribault, C., Bugnicourt, J. M., Lamy, C., Canaple, S., &

- Petitnicolas, G. (2011). Is the Montreal Cognitive Assessment Superior to the Mini-Mental State Examination to Detect Poststroke Cognitive Impairment? *Stroke*, *42*(6), 1712–1716. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.110.606277>
- Godefroy, O., Gibbons, L., Diouf, M., Nyenhuis, D., Roussel, M., Black, S., & Bugnicourt, J. M. (2014). Validation of an integrated method for determining cognitive ability: Implications for routine assessments and clinical trials. *Cortex*, *54*, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.01.016>
- Godefroy, O., Martinaud, O., Narme, P., Joseph, P. A., Mosca, C., Lhommée, E., Meulemans, T., Czernecki, V., Bertola, C., Labauge, P., Verny, M., Bellmann, A., Azouvi, P., Bindschaedler, C., Bretault, E., Boutoleau-Bretonniere, C., Robert, P., Lenoir, H., Krier, M., & Roussel, M. (2018). Dysexecutive disorders and their diagnosis: A position paper. In *Cortex* (Vol. 109, pp. 322–335). Masson SpA. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.09.026>
- Godefroy Olivier. (2008). *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques: évaluation en pratique clinique* (O. Godefroy (ed.)). de Boeck.
- Goel, V. (1997). A study of the performance of patients with frontal lobe lesions in a financial planning task. *Brain*, *120*(10), 1805–1822. <https://doi.org/10.1093/brain/120.10.1805>
- Goel, V., Vartanian, O., Bartolo, A., Hakim, L., Maria Ferraro, A., Isella, V., Appollonio, I., Drei, S., & Nichelli, P. (2013). Lesions to right prefrontal cortex impair real-world planning through premature commitments. *Neuropsychologia*, *51*(4), 713–724. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.029>
- Goldsby, R. E., Liu, Q., Nathan, P. C., Bowers, D. C., Yeaton-Massey, A., Raber, S. H., Hill, D., Armstrong, G. T., Yasui, Y., Zeltzer, L., Robison, L. L., & Packer, R. J. (2010). Late-Occurring Neurologic Sequelae in Adult Survivors of Childhood Acute Lymphoblastic Leukemia: A Report From the Childhood Cancer Survivor Study. *Journal of Clinical Oncology*, *28*(2), 324–331. <https://doi.org/10.1200/JCO.2009.22.5060>
- Goldstein, L. H., Bernard, S., Fenwick, P. B., Burgess, P. W., & McNeil, J. (1993). Unilateral frontal lobectomy can produce strategy application disorder. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *56*(3), 274–276. <https://doi.org/10.1136/jnnp.56.3.274>
- Gottesman, R. F., Komotar, R., & Hillis, A. E. (2003). Neurologic aspects of traumatic brain injury. *International Review of Psychiatry*, *15*(4), 302–309. <https://doi.org/10.1080/09540260310001606683>
- Gouveia, P. A. R., Brucki, S. M. D., Malheiros, S. M. F., & Bueno, O. F. A. (2007). Disorders in planning and strategy application in frontal lobe lesion patients. *Brain and Cognition*, *63*(3), 240–246. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.09.001>
- Grafman, J. (2002). The Structured Event Complex and the Human Prefrontal Cortex. In *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 292–310). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0019>
- Grauwmeijer, E., Heijenbrok-Kal, M. H., & Ribbers, G. M. (2014). Health-Related Quality of Life 3 Years After Moderate to Severe Traumatic Brain Injury: A Prospective Cohort Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *95*(7), 1268–1276. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.02.002>

- Grober, E., & Buschke, H. (1987). Genuine memory deficits in dementia. *Developmental Neuropsychology*, 3(1), 13–36. <https://doi.org/10.1080/87565648709540361>
- Gronwall, D. M. A. (1977). Paced Auditory Serial-Addition Task: A Measure of Recovery from Concussion. *Perceptual and Motor Skills*, 44(2), 367–373. <https://doi.org/10.2466/pms.1977.44.2.367>
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Durrafourg, J., & Kerguelen, A. (1991). *Comprendre le travail pour le transformer : la pratique de l'ergonomie*. ANACT.
- Guilford, J. P. (1946). New standards for test evaluation. *Educational and Psychological Measurement*, 6, 427–438.
- Guion, R. M. (1980). On Trinitarian doctrines of validity. *Professional Psychology*, 11(3), 385–398. <https://doi.org/10.1037/0735-7028.11.3.385>
- Habets, E. J. J., Kloet, A., Walchenbach, R., Vecht, C. J., Klein, M., & Taphoorn, M. J. B. (2014). Tumour and surgery effects on cognitive functioning in high-grade glioma patients. *Acta Neurochirurgica*, 156(8), 1451–1459. <https://doi.org/10.1007/s00701-014-2115-8>
- Harlow, J. M. (1848). Passage of an Iron Rod Through the Head. *Boston Medical and Surgical Journal*, 39(20). <https://doi.org/10.1176/jnp.11.2.281>
- Hart, T., Giovannetti, T., Montgomery, M. W., & Schwartz, M. F. (1998). Awareness of Errors in Naturalistic Action after Traumatic Brain Injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 13(5), 16–28. <https://doi.org/10.1097/00001199-199810000-00004>
- HCERES. (2022). *Rapport d'évaluation - Centre Giovanni Borelli*.
- Hoc, J. M. (1988). L'aide aux activités de planification dans la conception de programmes. *Le Travail Humain*, 51(4), 321–333.
- Hoc, J. M. (2001). Towards ecological validity of research in cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 2(3), 278–288. <https://doi.org/10.1080/14639220110104970>
- Hoge, C. W., McGurk, D., Thomas, J. L., Cox, A. L., Engel, C. C., & Castro, C. A. (2008). Mild Traumatic Brain Injury in U.S. Soldiers Returning from Iraq. *New England Journal of Medicine*, 358(5), 453–463. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa072972>
- Holterbach, L., Baumann, C., Andreani, B., Desré, D., & Auxéméry, Y. (2015). État de stress post-traumatique et consommation de soins sur l'année écoulée : étude menée auprès de 340 militaires français de cinq unités combattantes de l'armée de terre. *L'Encéphale*, 41(5), 444–453. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2015.05.001>
- Hommel, B. (2011). The Simon effect as tool and heuristic. *Acta Psychologica*, 136(2), 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.04.011>
- Hottinger, A. F., Yoon, H., DeAngelis, L. M., & Abrey, L. E. (2009). Neurological outcome of long-term glioblastoma survivors. *Journal of Neuro-Oncology*, 95(3), 301–305. <https://doi.org/10.1007/s11060-009-9946-9>
- Hulley, S. B., Cummings, S. R., Browner, W. S., Grady, D. G., & Newman, T. B. (2007). *Designing clinical research* (3rd ed.). Wolters Kluwer.
- ISO. (2019). *Norme 9241 : Ergonomie de l'interaction homme-système — Partie 210: Conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs*.

- Jastrowitz, M. (1888). Beiträge zur Localisation im Grosshirn und über deren praktische Verwerthung. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 14(5), 81–83.
- Jehl , E., Honnart, D., Grasleguen, C., Bouget, J., Dejoux, C., Lestavel, P., Santias, C., & Carpentier, F. (2012). Traumatisme crânien léger (score de Glasgow de 13 à 15) : triage, évaluation, examens complémentaires et prise en charge précoce chez le nouveau-n , l'enfant et l'adulte. *Annales Françaises de Médecine d'urgence*, 2(3), 199–214. <https://doi.org/10.1007/s13341-012-0202-4>
- Jongbloed, L., Brighton, C., & Stacey, S. (1988). Factors Associated with Independent Meal Preparation, Self-Care and Mobility in CVA Clients. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 55(5), 259–263. <https://doi.org/10.1177/000841748805500509>
- Joyce, E. M., Collinson, S. L., & Crichton, P. (1996). Verbal fluency in schizophrenia: relationship with executive function, semantic memory and clinical alogia. *Psychological Medicine*, 26(1), 39–49. <https://doi.org/10.1017/S0033291700033705>
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, 8, 441–480.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Prentice Hall.
- Kane, M. T. (2001). Current concerns in validity theory. *Journal of Educational Measurement*, 38(4), 319–342. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3984.2001.tb01130.x>
- Kant, R., Smith-Seemiller, L., & Duffy, J. D. (1996). Obsessive-compulsive disorder after closed head injury: review of literature and report of four cases. *Brain Injury*, 10(1), 55–64. <https://doi.org/10.1080/026990596124728>
- Karwowski, W., & Zhang, W. (2021). The discipline of human factors and ergonomics. In G. Salvendy & W. Karwowski (Eds.), *Handbook of human factors and ergonomics* (5th ed., pp. 3–37). Wiley.
- Karzmark, P., Llanes, S., Tan, S., Deutsch, G., & Zeifert, P. (2012). Comparison of the Frontal Systems Behavior Scale and Neuropsychological Tests of Executive Functioning in Predicting Instrumental Activities of Daily Living. *Applied Neuropsychology: Adult*, 19(2), 81–85. <https://doi.org/10.1080/09084282.2011.643942>
- Kelley, T. L. (1927). *Interpretation of educational measurements*. McMillan.
- Kempa, N., Netter Jouguet, E., Campos, M., Buffat, S., Ricard, D., Bompaire, F., Baruteau, M., de Laage, M., & Nelson, J. (2021). Apports de l'oculométrie dans l'analyse d'une tâche procédurale. In G. Chillet, G. Rouquet, & C. Hogrel (Eds.), *Actes du congr s Ergo'IA 2021*.
- Kennedy, M. R. T., Coelho, C., Turkstra, L., Ylvisaker, M., Moore Sohlberg, M., Yorkston, K., Chiou, H.-H., & Kan, P.-F. (2008). Intervention for executive functions after traumatic brain injury: A systematic review, meta-analysis and clinical recommendations. *Neuropsychological Rehabilitation*, 18(3), 257–299. <https://doi.org/10.1080/09602010701748644>
- Kerguelen, A. (2008). "Actogram/Kronos" : un outil d'aide à l'analyse de l'activité. In Hiroko Norimatsu & N. Pigem (Eds.), *Les techniques d'observation en sciences humaines*. Armand Colin.
- Kihlstrom, J. F. (2021). Ecological Validity and "Ecological Validity." *Perspectives on Psychological Science*, 16(2), 466–471. <https://doi.org/10.1177/1745691620966791>

- Kirtley, C. (2020). Eye-tracking as a method of visual research. In L. Pauwels & D. Mannay (Eds.), *The Sage handbook of visual research methods* (2nd ed., pp. 143–153). Sage.
- Kirwan, B. (1998). Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems—Part 1: review and evaluation of techniques. *Applied Ergonomics*, *29*(3), 157–177. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00010-6](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00010-6)
- Koechlin, E., & Summerfield, C. (2007). An information theoretical approach to prefrontal executive function. *Trends in Cognitive Sciences*, *11*(6), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.04.005>
- Landy, F. J. (1986). Stamp collecting versus science: Validation as hypothesis testing. *American Psychologist*, *41*(11), 1183–1192. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.41.11.1183>
- Lees, R., Selvarajah, J., Fenton, C., Pendlebury, S. T., Langhorne, P., Stott, D. J., & Quinn, T. J. (2014). Test Accuracy of Cognitive Screening Tests for Diagnosis of Dementia and Multidomain Cognitive Impairment in Stroke. *Stroke*, *45*(10), 3008–3018. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.114.005842>
- Lennon, R. T. (1956). Assumptions underlying the use of content validity. *Educational and Psychological Measurement*, *16*(3), 294–304. <https://doi.org/10.1177/001316445601600303>
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*. Armand Colin.
- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail : contribution à la psychologie ergonomique*. PUF.
- Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie: aperçu sur son évolution, ses modèles et ses méthodes*. Octarès.
- Leplat, J. (2008). La notion de régulation dans l'analyse de l'activité. In *Repères pour l'analyse de l'activité en ergonomie* (pp. 13–50). PUF.
- Leplat, J. (2011). L'erreur comme défaut et moyen de contrôle de l'activité en situation de travail. In *Mélanges ergonomiques : activité, compétence, erreur*. Octarès.
- Leplat, J., & de Montmollin, M. (2004). Les voisinages disciplinaires de l'ergonomie. In P. Falzon (Ed.), *Ergonomie* (pp. 51–65). PUF.
- Leplat, J., & Hoc, J. M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, *3*(1), 49–63.
- Lezak, M. D. (1982). The Problem of Assessing Executive Functions. *International Journal of Psychology*, *17*(1–4), 281–297. <https://doi.org/10.1080/00207598208247445>
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment* (5th ed.). Oxford University Press.
- Lie, C.-H., Specht, K., Marshall, J. C., & Fink, G. R. (2006). Using fMRI to decompose the neural processes underlying the Wisconsin Card Sorting Test. *NeuroImage*, *30*(3), 1038–1049. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.10.031>
- Loevinger, J. (1957). Objective tests as instruments of psychological theory. *Psychological Reports*, *3*(3), 635–694. <https://doi.org/10.2466/pr0.1957.3.3.635>
- Logan, G. D. (1994). On the ability to inhibit thought and action: A users' guide to the stop

- signal paradigm. In D. Dagenbach & T. H. Carr (Eds.), *Inhibitory processes in attention, memory, and language* (pp. 189–239). Academic Press.
- Lui, M., & Tannock, R. (2007). Working memory and inattentive behaviour in a community sample of children. *Behavioral and Brain Functions*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-3-12>
- Luna, B. (2009). Developmental Changes in Cognitive Control through Adolescence. *Advances in Child Development and Behavior*, 37, 233–278. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(09\)03706-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(09)03706-9)
- Luria, A. R. (1966). *High cortical functions in Man*. Basic Books.
- Luria, A. R., & Tsvetkova, L. S. (1967). *Les troubles de la résolution de problèmes*. Gauthier Villars.
- Mabbott, D. J., Penkman, L., Witol, A., Strother, D., & Bouffet, E. (2008). Core neurocognitive functions in children treated for posterior fossa tumors. *Neuropsychology*, 22(2), 159–168. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.2.159>
- Mandigout, S., Perrochon, A., Fernandez, L., Rezzoug, N., Encelle, B., Kanellos, I., Ricard, D., Bouet, M., Shneider, M., & Buffat, S. (2020). A Multidimensional Data Acquisition as a Preliminary Step to the Secondary Prevention of the Loss of Autonomy for Patients with Traumatic Injury and Stroke: An AMISIA Pilot Study. *IRBM*, 41(6), 316–320. <https://doi.org/10.1016/j.irbm.2020.06.010>
- Masson, F., Thicoipe, M., Aye, P., Mokni, T., Senjean, P., Schmitt, V., Dessalles, P.-H., Cazaugade, M., & Labadens, P. (2001). Epidemiology of Severe Brain Injuries: A Prospective Population-Based Study. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 51(3), 481–489. <https://doi.org/10.1097/00005373-200109000-00010>
- Mattis, S. (1976). Mental status examination for organic mental syndrome in the elderly patients. In L. Bellack & T. B. Karusu (Eds.), *Geriatric Psychiatry* (pp. 77–121). Grune & Stratton.
- Messick, S. (1989). Validity. In R. Linn (Ed.), *Educational measurement* (3rd ed., pp. 13–100). American Council on Education.
- Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 10(4), 309–325. <https://doi.org/10.1002/ana.410100402>
- Mesulam, M. M. (1986). Frontal cortex and behavior. *Annals of Neurology*, 19(4), 320–325.
- Meulemans, T. (2008). L'évaluation des fonctions exécutives. In O. Godefroy (Ed.), *Fonctions exécutives et pathologies neurologiques et psychiatriques: évaluation en pratique clinique* (pp. 179–229). de Boeck.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miller, H. (2011). Self-control and Health Outcomes in a Nationally Representative Sample. *American Journal of Health Behavior*, 35(1). <https://doi.org/10.5993/AJHB.35.1.2>
- Milner, B. (1963). Effects of Different Brain Lesions on Card Sorting. *Archives of Neurology*, 9(1), 90. <https://doi.org/10.1001/archneur.1963.00460070100010>

- Milner, B. (1964). Some effects of frontal lobectomy in man. In J. M. Warren & K. Akert (Eds.), *The Frontal Granular Cortex and Behavior* (pp. 313–334). McGraw-Hill.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in Man. *British Medical Bulletin*, 27(3), 272–277. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a070866>
- Mirsky, A. F. (1989). The neuropsychology of attention: Elements of a complex behavior. In E. Perecman (Ed.), *Integrating theory and practice in clinical neuropsychology* (pp. 75–91). Lawrence Erlbaum Associates.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Mollo, V., & Falzon, P. (2004). Auto- and allo-confrontation as tools for reflective activities. *Applied Ergonomics*, 35(6), 531–540. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2004.06.003>
- Monje, M. L., Vogel, H., Masek, M., Ligon, K. L., Fisher, P. G., & Palmer, T. D. (2007). Impaired human hippocampal neurogenesis after treatment for central nervous system malignancies. *Annals of Neurology*, 62(5), 515–520. <https://doi.org/10.1002/ana.21214>
- Montmollin, M. de. (1997). *Vocabulaire de l'ergonomie* (2nd ed.). Octarès.
- Moreira, H. S., Lima, C. F., & Vicente, S. G. (2014). Examining Executive Dysfunction with the Institute of Cognitive Neurology (INECO) Frontal Screening (IFS): Normative Values from a Healthy Sample and Clinical Utility in Alzheimer’s Disease. *Journal of Alzheimer’s Disease*, 42(1), 261–273. <https://doi.org/10.3233/JAD-132348>
- Morrison, F. J., Ponitz, C. C., & McClelland, M. M. (2010). Self-regulation and academic achievement in the transition to school. In *Child development at the intersection of emotion and cognition*. (pp. 203–224). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/12059-011>
- Mulin, E., Leone, E., Dujardin, K., Delliaux, M., Leentjens, A., Nobili, F., Dessi, B., Tible, O., Agüera-Ortiz, L., Osorio, R. S., Yessavage, J., Dachevsky, D., Verhey, F. R., Jentoft, A. J. C., Blanc, O., Llorca, P. ., & Robert, P. H. (2011). Diagnostic criteria for apathy in clinical practice. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 26(2), 158–165. <https://doi.org/10.1002/gps.2508>
- 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(4), 321–342. <https://doi.org/10.1080/09297040802348028>
- Munoz, D. P., & Everling, S. (2004). Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(3), 218–228. <https://doi.org/10.1038/nrn1345>
- Murray, W. S., Fischer, M. H., & Tatler, B. W. (2013). Serial and parallel processes in eye movement control: Current controversies and future directions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(3), 417–428. <https://doi.org/10.1080/17470218.2012.759979>

- Nagel, B. J., Delis, D. C., Palmer, S. L., Reeves, C., Gajjar, A., & Mulhern, R. K. (2006). Early patterns of verbal memory impairment in children treated for medulloblastoma. *Neuropsychology, 20*(1), 105–112. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.20.1.105>
- Nasreddine, Z. S., Phillips, N. A., Bédirian, V., Charbonneau, S., Whitehead, V., Collin, I., Cummings, J. L., & Chertkow, H. (2005). The Montreal Cognitive Assessment, MoCA: A Brief Screening Tool For Mild Cognitive Impairment. *Journal of the American Geriatrics Society, 53*(4), 695–699. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53221.x>
- Newton, P. E. (2012). Clarifying the consensus definition of validity. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective, 10*(1–2), 1–29. <https://doi.org/10.1080/15366367.2012.669666>
- Newton, P. E., & Shaw, S. (2014). *Validity in educational and psychological assessment*. Sage.
- Nicoletti, R., Anzola, G. P., Luppino, G., Rizzolatti, G., & Umiltà, C. (1982). Spatial compatibility effects on the same side of the body midline. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 8*(5), 664–673. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.8.5.664>
- Nielsen, J., & Pernice, K. (2009). *Eyetracking web usability*. New Riders Press.
- Noldus, L. P. J. J. (1991). The Observer: A software system for collection and analysis of observational data. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 23*(3), 415–429. <https://doi.org/10.3758/BF03203406>
- Norimatsu, H., & Pigem, N. (2008). Historique, différentes méthodes, et étapes de l'observation. In *Les techniques d'observation en sciences humaines* (pp. 5–18). Armand Colin.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to Action: Willed and Automatic Control of Behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and Self-Regulation* (pp. 1–18). Springer.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia, 9*(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- Olesen, J., Gustavsson, A., Svensson, M., Wittchen, H.-U., & Jönsson, B. (2012). The economic cost of brain disorders in Europe. *European Journal of Neurology, 19*(1), 155–162. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.2011.03590.x>
- Oppenheim, H. (1890). Zur pathologie der Grosshirngeschwülste. *Archiv Für Psychiatrie Und Nervenkrankheiten, 21*(3), 705–745.
- Orne, M. (1962). On the ecological validity of the psychological experiment, with particular reference to demand characteristics and their implications. *American Psychologist, 17*, 776–783.
- Osterreith, P. A. (1944). Le test de copie d'une figure complexe; contribution à l'étude de la perception et de la mémoire. *Archives de Psychologie, 30*, 206–356.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., & Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping, 25*(1), 46–59. <https://doi.org/10.1002/hbm.20131>
- Padovani, L., André, N., Constine, L. S., & Muracciole, X. (2012). Neurocognitive function after radiotherapy for paediatric brain tumours. *Nature Reviews Neurology, 8*(10), 578–588.

<https://doi.org/10.1038/nrneuro.2012.182>

- Parasuraman, R. (2003). Neuroergonomics: Research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1–2), 5–20. <https://doi.org/10.1080/14639220210199753>
- Pelayo, S., Marcilly, R., & Bellandi, T. (2021). Human factors engineering for medical devices: European regulation and current issues. *International Journal for Quality in Health Care*, 33(Supplement_1), 31–36. <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzaa103>
- Penadés, R., Catalán, R., Rubia, K., Andrés, S., Salamero, M., & Gastó, C. (2007). Impaired response inhibition in obsessive compulsive disorder. *European Psychiatry*, 22(6), 404–410. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2006.05.001>
- Petit, J., Querelle, L., & Daniellou, F. (2007). Quelles données pour la recherche sur la pratique de l'ergonome ? *Le Travail Humain*, 70(4), 391–411.
- Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., & Evans, A. C. (1993). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(3), 878–882. <https://doi.org/10.1073/pnas.90.3.878>
- Petrides, M., & Milner, B. (1982). Deficits on subject-ordered tasks after frontal- and temporal-lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 20(3), 249–262. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(82\)90100-2](https://doi.org/10.1016/0028-3932(82)90100-2)
- Poncet, F. (2014). *Exploration des effets d'un programme de réadaptation visant l'amélioration des activités et la participation des personnes cérébrolésées : application à l'activité cuisine* [Thèse de doctorat]. Université Pierre et Marie Curie et Université de Montréal.
- Poncet, F., Swaine, B., Dutil, E., Chevignard, M., & Pradat-Diehl, P. (2017). How do assessments of activities of daily living address executive functions: A scoping review. *Neuropsychological Rehabilitation*, 27(5), 618–666. <https://doi.org/10.1080/09602011.2016.1268171>
- Poncet, F., Swaine, B., Taillefer, C., Lamoureux, J., Pradat-Diehl, P., & Chevignard, M. (2015). Reliability of the Cooking Task in adults with acquired brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 25(2), 298–317. <https://doi.org/10.1080/09602011.2014.971819>
- Poncet, F., Taillefer, C., Chevignard, M., Picq, C., & Pradat-Diehl, P. (2009). Évaluations écologiques du syndrome dysexécutif: un défi de taille pour l'ergothérapie. *La Lettre de Médecine Physique et de Réadaptation*, 25(2), 88–98. <https://doi.org/10.1007/s11659-009-0138-y>
- Rabardel, P., Carlin, N., Chesnais, M., Lang, N., Le Joliff, G., & Pascal, M. (1998). *Ergonomie : concepts et méthodes*. Octarès.
- Rafal, R. D., & Posner, M. I. (1987). Deficits in human visual spatial attention following thalamic lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(20), 7349–7353. <https://doi.org/10.1073/pnas.84.20.7349>
- Rao, S. M., Aubin-Faubert, P. St., & Leo, G. J. (1989). Information processing speed in patients with multiple sclerosis. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11(4), 471–477. <https://doi.org/10.1080/01688638908400907>
- Rao, S. M., Leo, G. J., Bernardin, L., & Unverzagt, F. (1991). Cognitive dysfunction in multiple

- sclerosis.: I. Frequency, patterns, and prediction. *Neurology*, 41(5), 685–691. <https://doi.org/10.1212/WNL.41.5.685>
- Rasmussen, J. (1993). Analysis of tasks, activities, and work in the field and in laboratories. *Le Travail Humain*, 56(2–3), 133–155.
- Ratinaud, P. (2009). *Iramuteq : Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*. <https://doi.org/http://www.iramuteq.org/>
- Reason, J. (1993). *L'erreur humaine*. PUF.
- Reddick, W. E., White, H. A., Glass, J. O., Wheeler, G. C., Thompson, S. J., Gajjar, A., Leigh, L., & Mulhern, R. K. (2003). Developmental model relating white matter volume to neurocognitive deficits in pediatric brain tumor survivors. *Cancer*, 97(10), 2512–2519. <https://doi.org/10.1002/cncr.11355>
- Reinert, M. (1993). Les «mondes lexicaux» et leur «logique» à travers l'analyse statistique d'un corpus de récits de cauchemars. *Langage et Société*, 66, 5–39. <https://doi.org/10.3406/lisoc.1993.2632>
- Riggs, N. R., Spruijt-Metz, D., Sakuma, K.-L., Chou, C.-P., & Pentz, M. A. (2010). Executive Cognitive Function and Food Intake in Children. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 42(6), 398–403. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2009.11.003>
- Robbins, T. W., James, M., Owen, A. M., Sahakian, B. J., McInnes, L., & Rabbitt, P. (1994). Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery (CANTAB): A Factor Analytic Study of a Large Sample of Normal Elderly Volunteers. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 5(5), 266–281. <https://doi.org/10.1159/000106735>
- Robert, P., Onyike, C. U., Leentjens, A. F. G., Dujardin, K., Aalten, P., Starkstein, S., Verhey, F. R. J., Yessavage, J., Clement, J. P., Drapier, D., Bayle, F., Benoit, M., Boyer, P., Lorca, P. M., Thibaut, F., Gauthier, S., Grossberg, G., Vellas, B., & Byrne, J. (2009). Proposed diagnostic criteria for apathy in Alzheimer's disease and other neuropsychiatric disorders. *European Psychiatry*, 24(2), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2008.09.001>
- Roberts, R. J., Hager, L. D., & Heron, C. (1994). Prefrontal cognitive processes: Working memory and inhibition in the antisaccade task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(4), 374–393. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.123.4.374>
- Rogalski, J., & Marquié, J. C. (2004). Évolution des compétences et des performances. In J. M. Hoc & F. Darses (Eds.), *Psychologie ergonomique : tendances actuelles* (pp. 141–173). PUF.
- Romano Begstrom, J., & Schall, A. J. (2014). *Eye tracking in user experience design*. Morgan Kaufmann.
- Roussel, M., Martinaud, O., Hénon, H., Vercelletto, M., Bindschadler, C., Joseph, P.-A., Robert, P., Labauge, P., & Godefroy, O. (2016). The Behavioral and Cognitive Executive Disorders of Stroke: The GREFEX Study. *PLOS ONE*, 11(1), e0147602. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147602>
- Rueckriegel, S. M., Baron, M., Domschke, K., Neuderth, S., Kunze, E., Kessler, A. F., Nickl, R., Westermaier, T., & Ernestus, R.-I. (2015). Trauma- and distress-associated mental illness symptoms in close relatives of patients with severe traumatic brain injury and high-grade subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochirurgica*, 157(8), 1329–1336.

<https://doi.org/10.1007/s00701-015-2470-0>

- Ruet, A., Deloire, M. S., Charré-Morin, J., Hamel, D., & Brochet, B. (2013). A new computerised cognitive test for the detection of information processing speed impairment in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal*, *19*(12), 1665–1672. <https://doi.org/10.1177/1352458513480251>
- Saad, S., & Wang, T. J. C. (2015). Neurocognitive Deficits After Radiation Therapy for Brain Malignancies. *American Journal of Clinical Oncology*, *38*(6), 634–640. <https://doi.org/10.1097/COC.000000000000158>
- Safer, D. J. (2009). Irritable mood and the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, *3*(1), 35. <https://doi.org/10.1186/1753-2000-3-35>
- Saint-Vincent, M., Vézina, N., Bellemare, M., Denys, D., Ledoux, E., & Imbeau, D. (2011). *L'intervention en ergonomie*. Multimondes.
- Sandel, M. E., & Mysiw, W. J. (1996). The agitated brain injured patient. Part 1: definitions, differential diagnosis, and assessment. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *77*(6), 617–623. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(96\)90306-8](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(96)90306-8)
- Sands, S. A., Zhou, T., O'Neil, S. H., Patel, S. K., Allen, J., McGuire Cullen, P., Kaleita, T. A., Noll, R., Sklar, C., & Finlay, J. L. (2012). Long-Term Follow-Up of Children Treated for High-Grade Gliomas: Children's Oncology Group L991 Final Study Report. *Journal of Clinical Oncology*, *30*(9), 943–949. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.35.7533>
- Sbordone, R. J. (1996). Ecological validity: Some critical issues for the neuropsychologist. In R. J. Sbordone & C. J. Long (Eds.), *Ecological validity of neuropsychological testing* (pp. 15–41). St Lucie Press.
- Sbordone, R. J. (2008). Ecological validity of neuropsychological testing: critical issues. In A. M. Horton & D. Wedding (Eds.), *The neuropsychology handbook* (pp. 367–394). Springer.
- Sbordone, R. J. (2014). The Hazards of Strict Reliance on Neuropsychological Tests. *Applied Neuropsychology: Adult*, *21*(2), 98–107. <https://doi.org/10.1080/09084282.2012.762630>
- Schatz, J., Kramer, J. H., Ablin, A., & Matthey, K. K. (2000). Processing speed, working memory, and IQ: A developmental model of cognitive deficits following cranial radiation therapy. *Neuropsychology*, *14*(2), 189–200. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.14.2.189>
- Schmidt, R., Freidl, W., Fazekas, F., Reinhart, B., Grieshofer, P., Koch, M., Eber, B., Schumacher, M., Polmin, K., & Lechner, H. (1994). The Mattis Dementia Rating Scale: Normative data from 1,001 healthy volunteers. *Neurology*, *44*(5), 964–964. <https://doi.org/10.1212/WNL.44.5.964>
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, *84*(1), 1–66. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.1.1>
- Schoenbaum, G., Roesch, M. R., Stalnaker, T. A., & Takahashi, Y. K. (2009). A new perspective on the role of the orbitofrontal cortex in adaptive behaviour. *Nature Reviews Neuroscience*, *10*(12), 885–892. <https://doi.org/10.1038/nrn2753>
- Schwartz, M. F., Buxbaum, L. J., Veramonti, T., Ferraro, M., & Segal, M. (2001). *Instruction manual for the naturalistic action test*.

- Schwartz, M. F., Montgomery, M. W., Buxbaum, L. J., Lee, S. S., Carew, T. G., Coslett, H. B., Ferraro, M., Fitzpatrick-DeSalme, E., Hart, T., & Mayer, N. (1998). Naturalistic action impairment in closed head injury. *Neuropsychology*, *12*(1), 13–28. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.12.1.13>
- Shallice T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, *298*(1089), 199–209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Shallice, T., & Burgess, P. W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, *114*(2), 727–741. <https://doi.org/10.1093/brain/114.2.727>
- Shepard, L. A. (1993). Evaluating test validity. *Review of Research in Education*, *19*(1), 405–450. <https://doi.org/10.3102/0091732X019001405>
- Shiroma, E. J., Ferguson, P. L., & Pickelsimer, E. E. (2010). Prevalence of Traumatic Brain Injury in an Offender Population: A Meta-Analysis. *Journal of Correctional Health Care*, *16*(2), 147–159. <https://doi.org/10.1177/1078345809356538>
- Sireci, S. G. (2009). Packing and unpacking sources of validity evidence: History repeats itself again. In R. W. Lissitz (Ed.), *The concept of validity: revisions, new directions and applications* (pp. 19–38). Information Age Publishing.
- Smith, A. (1982). *Symbol Digit Modalities Test (SDMT). Manual (revised)*. Western Psychological Services.
- Smith, G. T. (2005). On Construct Validity: Issues of Method and Measurement. *Psychological Assessment*, *17*(4), 396–408. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.17.4.396>
- Snyder, H. R., Miyake, A., & Hankin, B. L. (2015). Advancing understanding of executive function impairments and psychopathology: bridging the gap between clinical and cognitive approaches. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00328>
- Soberg, H., Roe, C., Anke, A., Arango-Lasprilla, J., Skandsen, T., Sveen, U., Steinbüchel, N., & Andelic, N. (2013). Health-related Quality of Life 12 months after severe traumatic brain injury: A prospective nationwide cohort study. *Journal of Rehabilitation Medicine*, *45*(8), 785–791. <https://doi.org/10.2340/16501977-1158>
- Sorenson, S. B., & Kraus, J. F. (1991). Occurrence, severity, and outcomes of brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, *6*(2), 1–10. <https://doi.org/10.1097/00001199-199106000-00003>
- Soussain, C., Ricard, D., Fike, J. R., Mazeron, J.-J., Psimaras, D., & Delattre, J.-Y. (2009). CNS complications of radiotherapy and chemotherapy. *The Lancet*, *374*(9701), 1639–1651. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61299-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61299-X)
- Sperandio, J. C. (2021). Mode opératoire. In E. Brangier & G. Valléry (Eds.), *Ergonomie : 150 notions clés* (pp. 366–368). Dunod.
- Stanton, N. A., Baber, C., & Young, M. S. (2004). Observation. In N. A. Stanton, A. Hedge, K. Brookhuis, E. Salas, & H. Hendrick (Eds.), *Handbook of human factors and ergonomics methods*. CRC Press.
- Stéfan, A., & Mathé, J.-F. (2016). What are the disruptive symptoms of behavioral disorders after traumatic brain injury? A systematic review leading to recommendations for good

- practices. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 59(1), 5–17. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2015.11.002>
- Steindorf, L., & Rummel, J. (2020). Do your eyes give you away? A validation study of eye-movement measures used as indicators for mindless reading. *Behavior Research Methods*, 52(1), 162–176. <https://doi.org/10.3758/s13428-019-01214-4>
- Sternberg, S. (1966). High-Speed Scanning in Human Memory. *Science*, 153(3736), 652–654. <https://doi.org/10.1126/science.153.3736.652>
- Stiell, I. G., Wells, G. A., Vandemheen, K., Clement, C., Lesiuk, H., Laupacis, A., McKnight, R. D., Verbeek, R., Brison, R., Cass, D., Eisenhauer, M. A., Greenberg, G. H., & Worthington, J. (2001). The Canadian CT Head Rule for patients with minor head injury. *The Lancet*, 357(9266), 1391–1396. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)04561-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)04561-X)
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h0054651>
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. Raven Press.
- Stuss, D. T., Levine, B., Alexander, M. P., Hong, J., Palumbo, C., Hamer, L., Murphy, K. J., & Izukawa, 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. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00093-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00093-7)
- Swain, A. D. (1976). *Sandia human factors program for weapon development*. Sandia Labs.
- Taphoorn, M. J., & Klein, M. (2004). Cognitive deficits in adult patients with brain tumours. *The Lancet Neurology*, 3(3), 159–168. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(04\)00680-5](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(04)00680-5)
- Taylor Tavares, J. V., Clark, L., Cannon, D. M., Erickson, K., Drevets, W. C., & Sahakian, B. J. (2007). Distinct Profiles of Neurocognitive Function in Unmedicated Unipolar Depression and Bipolar II Depression. *Biological Psychiatry*, 62(8), 917–924. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2007.05.034>
- Teasdale, G., & Jennett, B. (1974). Assessment of coma and impaired consciousness. *The Lancet*, 304(7872), 81–84. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(74\)91639-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(74)91639-0)
- Terresac, G. de, & Soubie, J. L. (1988). Des experts aux systèmes experts. *Le Travail Humain*, 51(2), 113–124.
- Teuber, H. L. (1972). Unity and diversity of frontal lobe functions. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 32(2), 615–656.
- The Lancet Neurology. (2010). Traumatic brain injury: time to end the silence. *The Lancet Neurology*, 9(4), 331. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(10\)70069-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(10)70069-7)
- Thurman, D. J., Kraus, J. F., & Romer, C. J. (Eds.). (1995). *Standards for surveillance of neurotrauma*. World Health Organization.
- Tiret, L., Hausherr, E., Thicoipe, M., Garros, B., Maurette, P., Castel, J. P., & Hatton, F. (1990). The Epidemiology of Head Trauma in Aquitaine (France), 1986: A Community-Based Study of Hospital Admissions and Deaths. *International Journal of Epidemiology*, 19(1), 133–140. <https://doi.org/10.1093/ije/19.1.133>
- Trifiletti, D. M., Lee, C.-C., Schlesinger, D., Larner, J. M., Xu, Z., & Sheehan, J. P. (2015).

- Leukoencephalopathy After Stereotactic Radiosurgery for Brain Metastases. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*, 93(4), 870–878. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2015.07.2280>
- Tupper, D. E., & Cicerone, K. D. (1990). Introduction to the neuropsychology of everyday life. In D. E. Tupper & K. D. Cicerone (Eds.), *The neuropsychology of everyday life: assessment and basic competencies* (pp. 3–18). Kluwer Academic.
- Urbanski, M., Bréchemier, M.-L., Garcin, B., Bendetowicz, D., Thiebaut de Schotten, M., Foulon, C., Rosso, C., Clarençon, F., Dupont, S., Pradat-Diehl, P., Labeyrie, M.-A., Levy, R., & Volle, E. (2016). Reasoning by analogy requires the left frontal pole: lesion-deficit mapping and clinical implications. *Brain*, 139(6), 1783–1799. <https://doi.org/10.1093/brain/aww072>
- van Loon, E. M. P., Heijenbrok-Kal, M. H., van Loon, W. S., van der Bent, M. J., Vincent, A. J. P., de Koning, I., & Ribbers, G. (2015). Assessment methods and prevalence of cognitive dysfunction in patients with low-grade glioma: A systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 47(6), 481–488. <https://doi.org/10.2340/16501977-1975>
- van Reekum, R., Bolago, I., Finlayson, M. A. J., Garner, S., & Links, P. S. (1996). Psychiatric disorders after traumatic brain injury. *Brain Injury*, 10(5), 319–328. <https://doi.org/10.1080/026990596124340>
- van Reekum, R., Cohen, T., & Wong, J. (2000). Can Traumatic Brain Injury Cause Psychiatric Disorders? *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 12(3), 316–327. <https://doi.org/10.1176/jnp.12.3.316>
- van Zomeren, A. H., & Brouwer, W. H. (1987). Head injury and concepts of attention. In H. S. Levin, J. Grafman, & H. M. Eisenberg (Eds.), *Neurobehavioral recovery from head injury* (pp. 398–416). Oxford University Press.
- 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: General*, 137(4), 649–672. <https://doi.org/10.1037/a0013170>
- Verdecchia, A., Baili, P., Quaglia, A., Kunkler, I., Ciampichini, R., Berrino, F., & Micheli, A. (2008). Patient survival for all cancers combined as indicator of cancer control in Europe. *The European Journal of Public Health*, 18(5), 527–532. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckn022>
- 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 Section A*, 58(1), 134–154. <https://doi.org/10.1080/02724980443000241>
- Wagensonner, M., & Zimmermann, P. (1991). Die Fähigkeit zur länger anhaltenden Aufmerksamkeitszuwendung nach cerebraler Schädigung. *Zeitschrift Für Neuropsychologie*, 2, 41–50.
- Wallisch, A., Little, L. M., Dean, E., & Dunn, W. (2018). Executive Function Measures for Children: A Scoping Review of Ecological Validity. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, 38(1), 6–14. <https://doi.org/10.1177/1539449217727118>
- Wefel, J. S., Vardy, J., Ahles, T., & Schagen, S. B. (2011). International Cognition and Cancer Task Force recommendations to harmonise studies of cognitive function in patients with

- cancer. *The Lancet Oncology*, 12(7), 703–708. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(10\)70294-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(10)70294-1)
- Welt, L. (1888). Über charakterveränderungen des menschen infolge von läsionen des stirnhins. *Deutsche Archiv Für Klinische Medizin*, 42, 339–390.
- Whiting, S., & Lincoln, N. (1980). An A.D.L. Assessment for Stroke Patients. *British Journal of Occupational Therapy*, 43(2), 44–46. <https://doi.org/10.1177/030802268004300207>
- Wickens, C. D., Helton, W. S., Hollands, J. G., & Banbury, S. (2021). *Engineering psychology and human performance* (5th ed.). Routledge.
- Wilcox, R. (2012). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing* (3rd ed.). Elsevier.
- Williams, J. M. (1996). A practical model of everyday assessment. In R. J. Sbordone & C. J. Long (Eds.), *Ecological validity of neuropsychological testing* (pp. 129–145). St Lucie Press.
- Williams, R. G., Johnston, M., Willis, L. A., & Bennett, A. E. (1976). Disability: a model and measurement technique. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 30(2), 71–78. <https://doi.org/10.1136/jech.30.2.71>
- Wilson, B. A., Alderman, N., Burgess, P. W., Emslie, H., & Evans, J. J. (1996). *BADS: Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome*. (Pearson).
- Wolff, M. (2020). Compréhension de l'activité et des besoins : l'incontournable recours aux entretiens, aux questionnaires et à leur analyse. In M. Wolff & R. Mollard (Eds.), *Pratiques de l'ergonomie : de la méthode aux applications* (pp. 16–44). Octarès.
- Wolff, M., & Després, S. (2003). Raisonnement à partir de cas : modélisation et formalisation de l'activité cognitive de l'expertise des accidents. In J. C. Sperandio & M. Wolff (Eds.), *Formalismes de modélisation pour l'analyse du travail et l'ergonomie* (pp. 171–194). PUF.
- Wood, R. L. (2004). Understanding the 'miserable minority': a diathesis-stress paradigm for post-concussional syndrome. *Brain Injury*, 18(11), 1135–1153. <https://doi.org/10.1080/02699050410001675906>
- Wood, R. L., & Worthington, A. (2017). Neurobehavioral Abnormalities Associated with Executive Dysfunction after Traumatic Brain Injury. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00195>
- Yan, W. (2021). Augmented reality instructions for construction toys enabled by accurate model registration and realistic object/hand occlusions. *Virtual Reality*. <https://doi.org/10.1007/s10055-021-00582-7>
- Yang, C.-C., Hua, M.-S., Lin, W.-C., Tsai, Y.-H., & Huang, S.-J. (2012). Irritability following traumatic brain injury: Divergent manifestations of annoyance and verbal aggression. *Brain Injury*, 26(10), 1185–1191. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.666374>
- Zanini, S., Rumiati, R. I., & Shallice, T. (2002). Action Sequencing Deficit Following Frontal Lobe Lesion. *Neurocase*, 8(1–2), 88–99. <https://doi.org/10.1093/neucas/8.1.88>
- Zimmermann, P., & Fimm, B. (2002). A test battery for attentional performance. In P. Leclercq & P. Zimmermann (Eds.), *Applied Neuropsychology of Attention* (pp. 110–151). Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9780203307014-12>

Annexes

Annexe 1 : Modèle en trois dimensions du modèle Lego® de l'Arc de Triomphe

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/68CmHgPCyw5jnKG>

QR Code :



Annexe 2 : Notice de montage du modèle de Lego® utilisé durant l'ATCT

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/6dDki2Em9Bzpfjt>

QR Code :



L'ARC DE TRIOMPHE

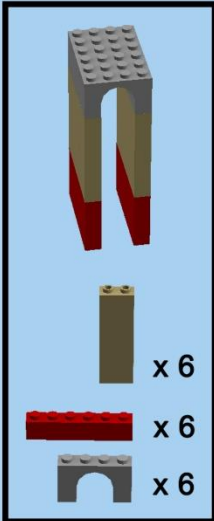


1



Pièces fournies pour ce modèle

	x 41		x 1
	x 144		x 4
			x 48
	x 2		x 16
	x 40		x 1
	x 6		x 1
	x 2		x 4
	x 12		x 8
	x 4		x 17
	x 66		x 2
	x 78		
	x 8		
	x 12		
	x 16		
	x 17		
	x 2		

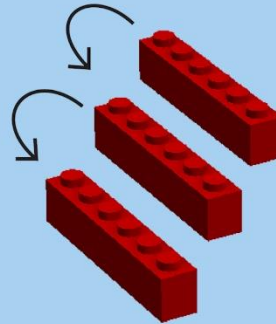


Cet encadré vous montre ce que vous allez construire et les pièces nécessaires pour y arriver

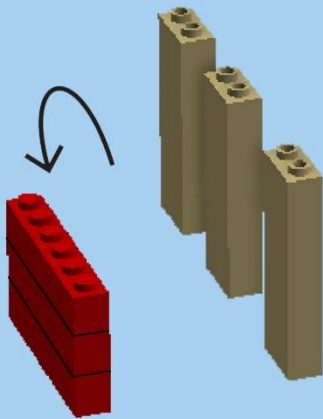
Pylône gauche

Cet encadré indique ce que vous êtes en train de construire dans le modèle

Les flèches indiquent l'empilement des pièces



1
Ce chiffre indique l'ordre de lecture des images de la notice



2

Le «X 2» indique que vous devez faire le montage de la page deux fois

X 2

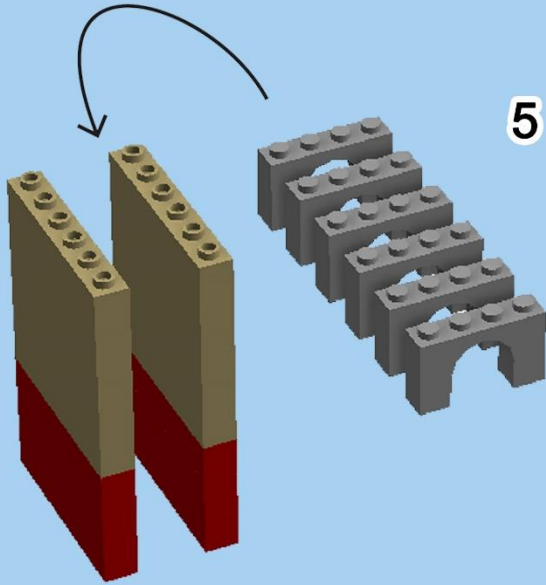
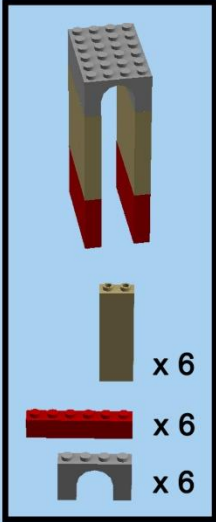


3



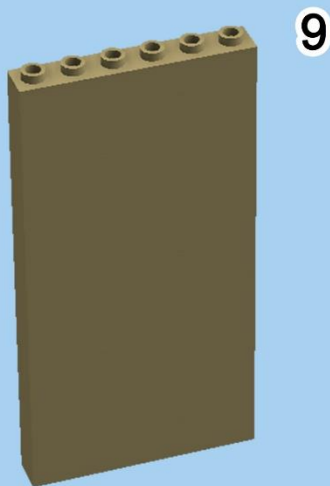
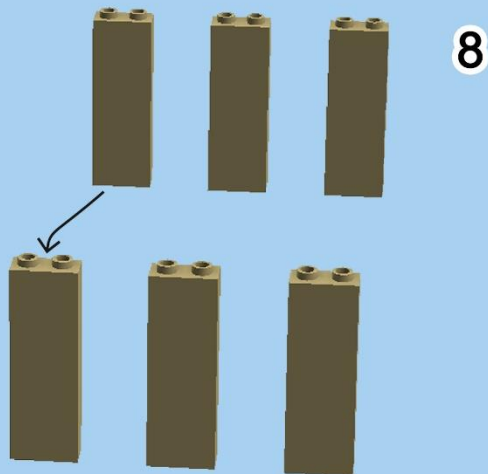
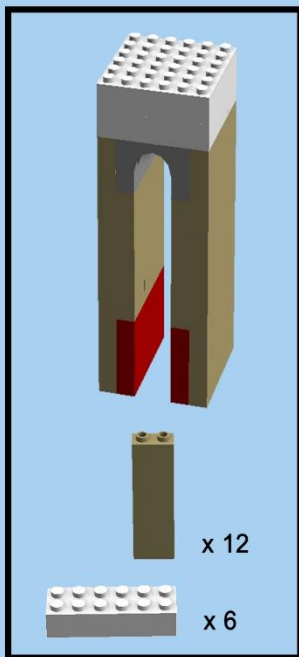
4

Pylône gauche

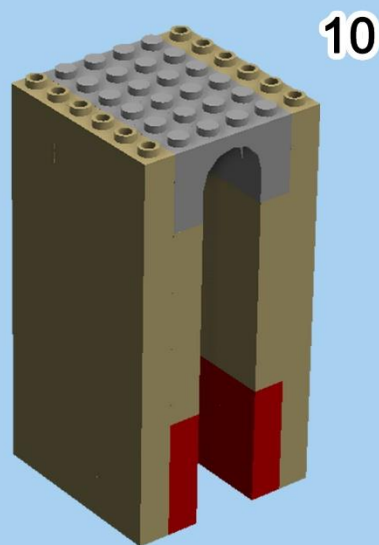


4

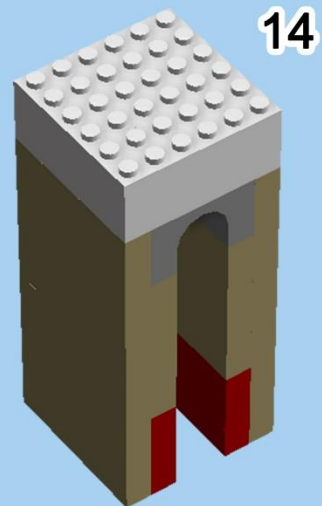
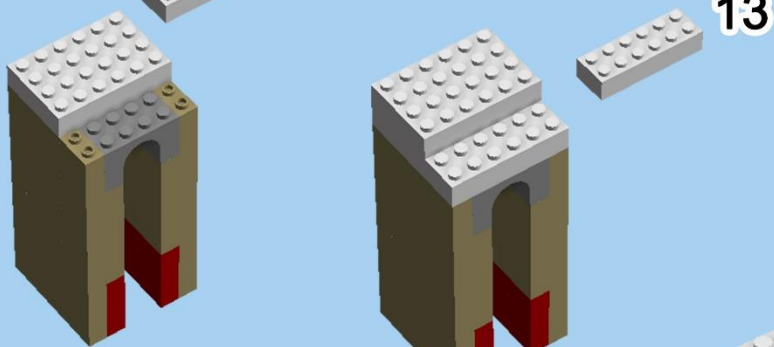
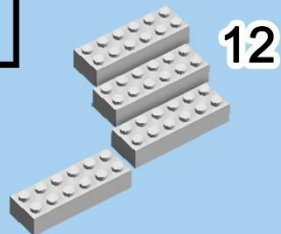
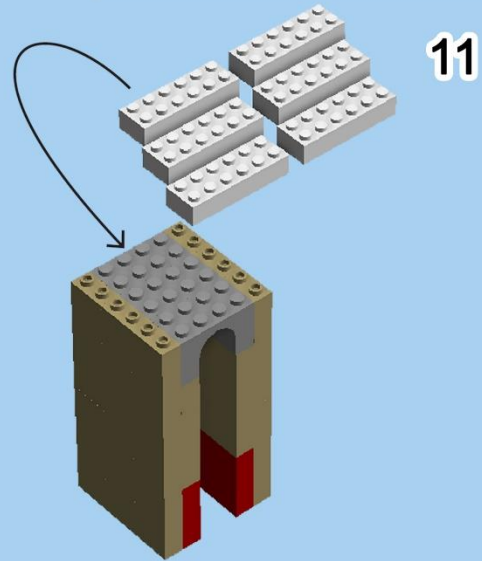
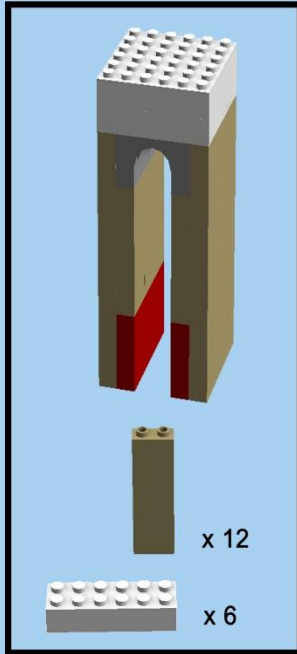
Pylône gauche



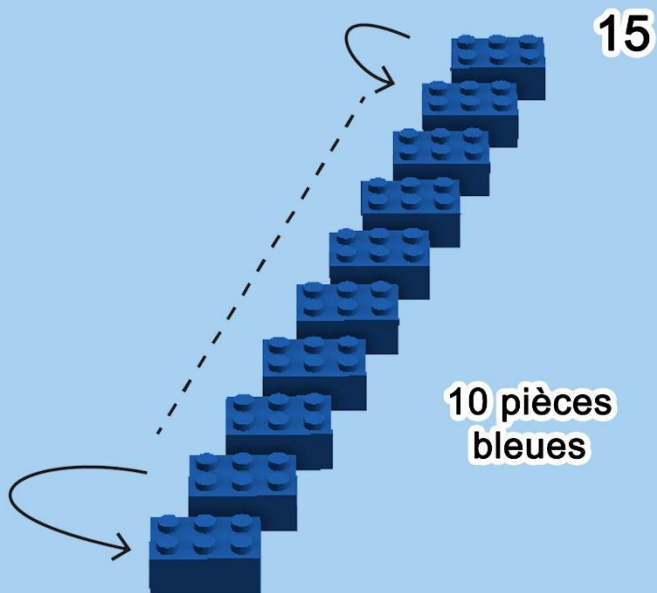
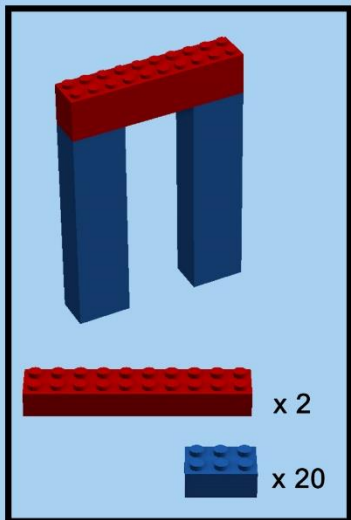
X 2



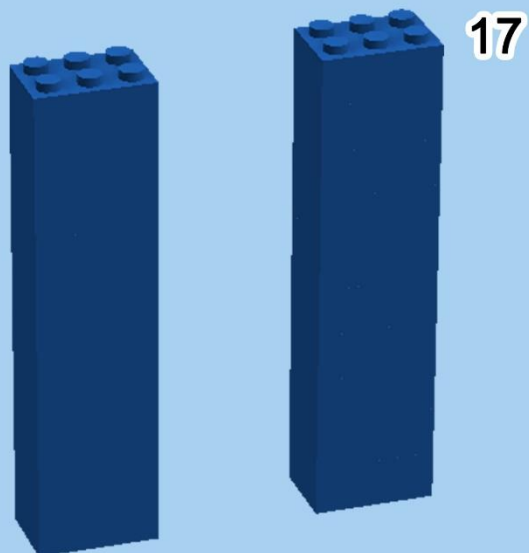
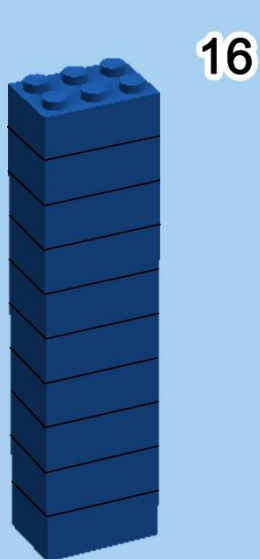
Pylône gauche



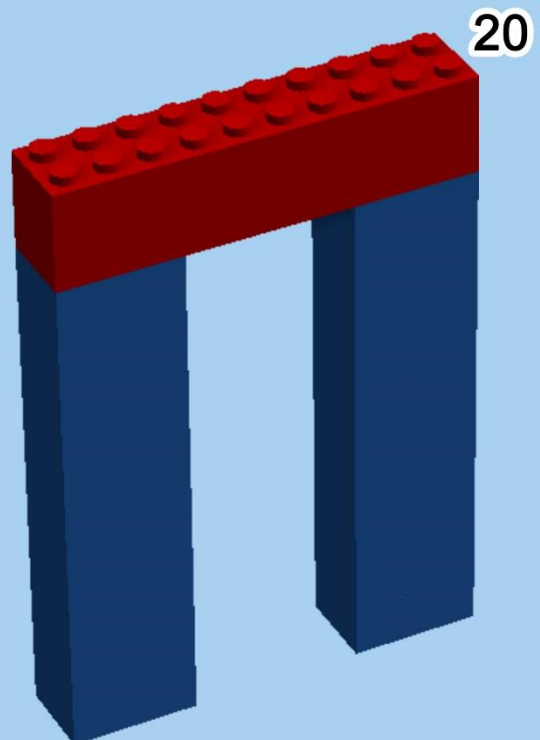
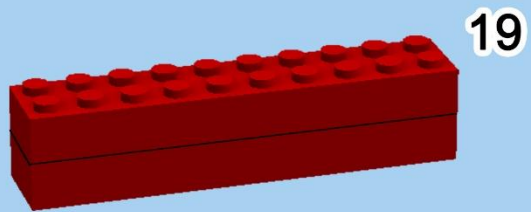
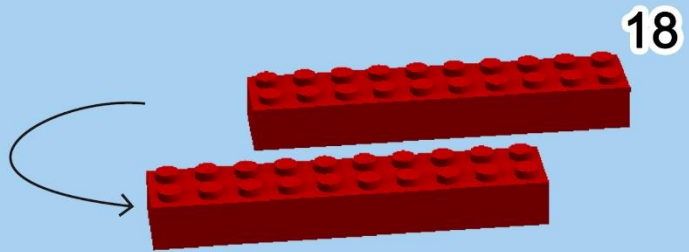
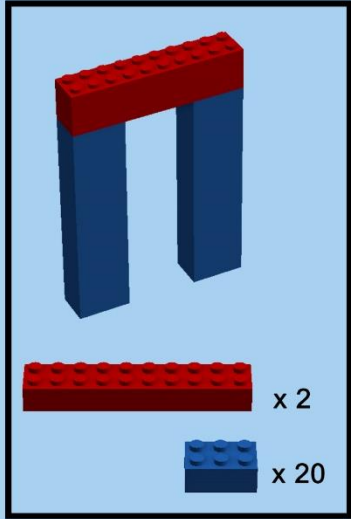
Pylône gauche



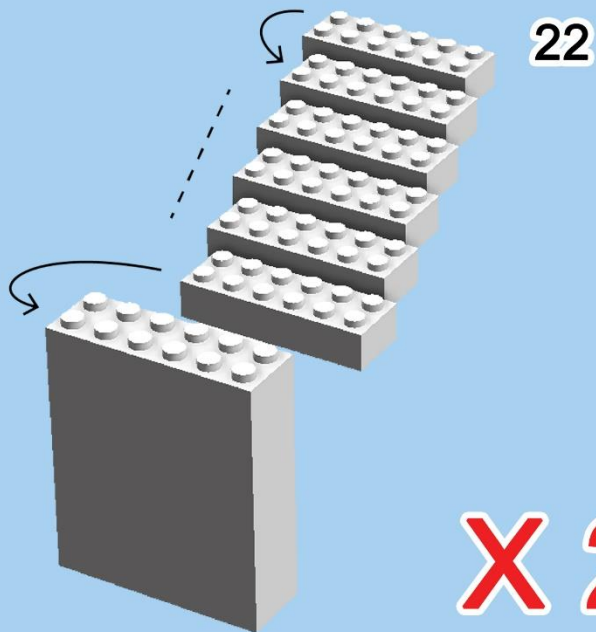
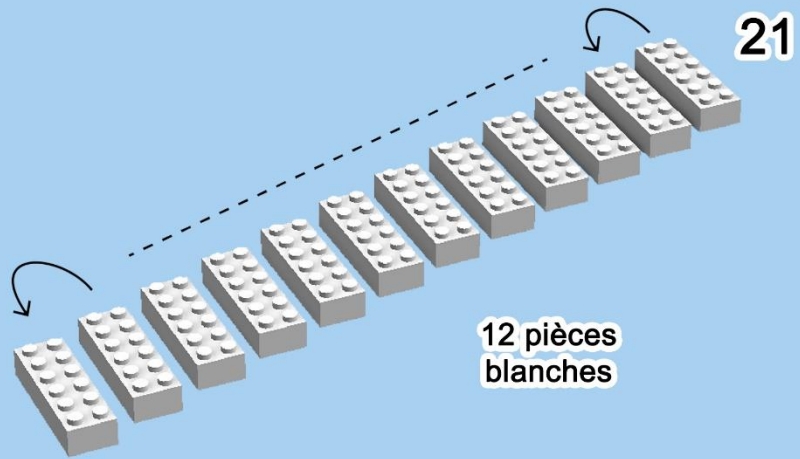
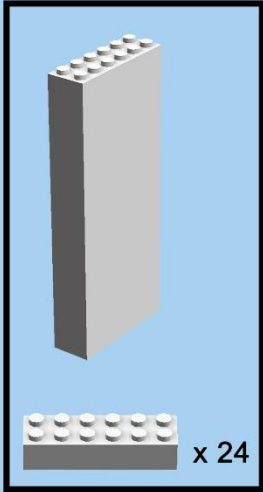
X 2



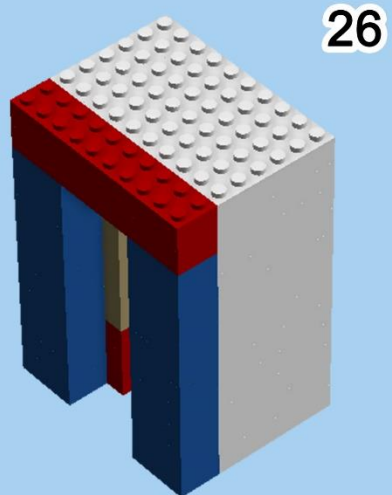
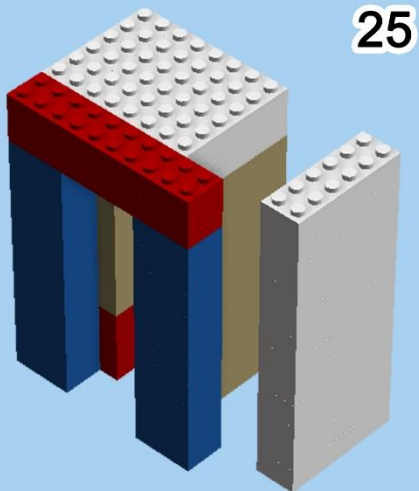
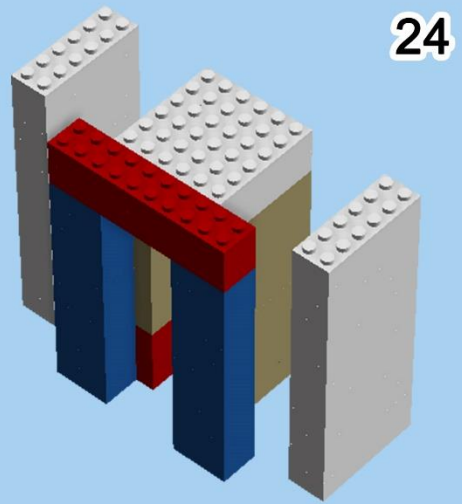
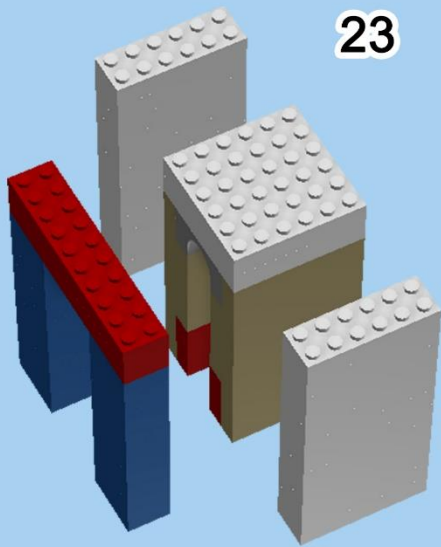
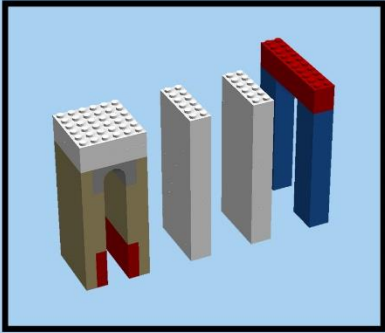
Pylône gauche



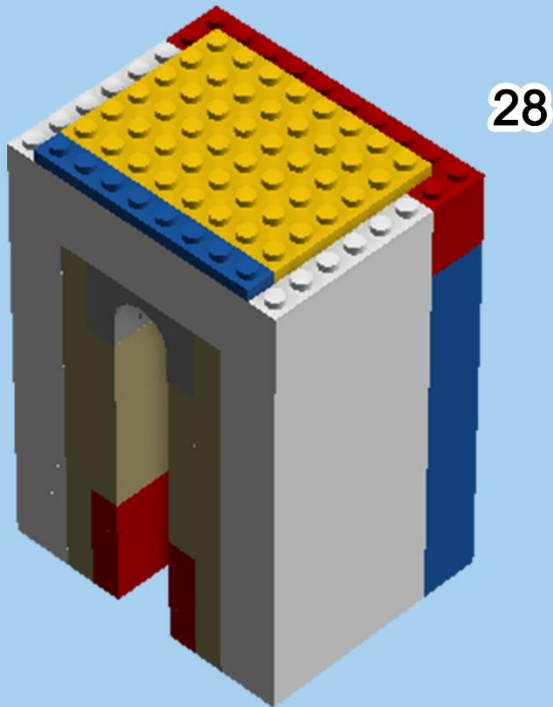
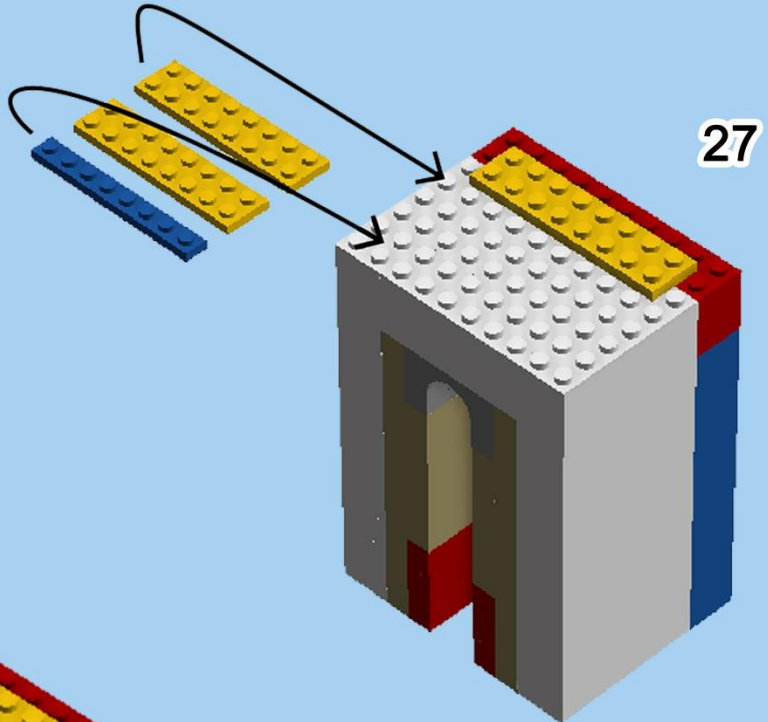
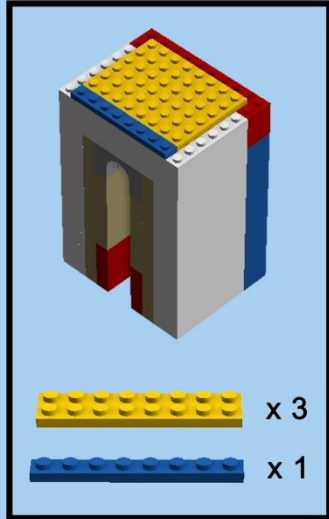
Pylône gauche



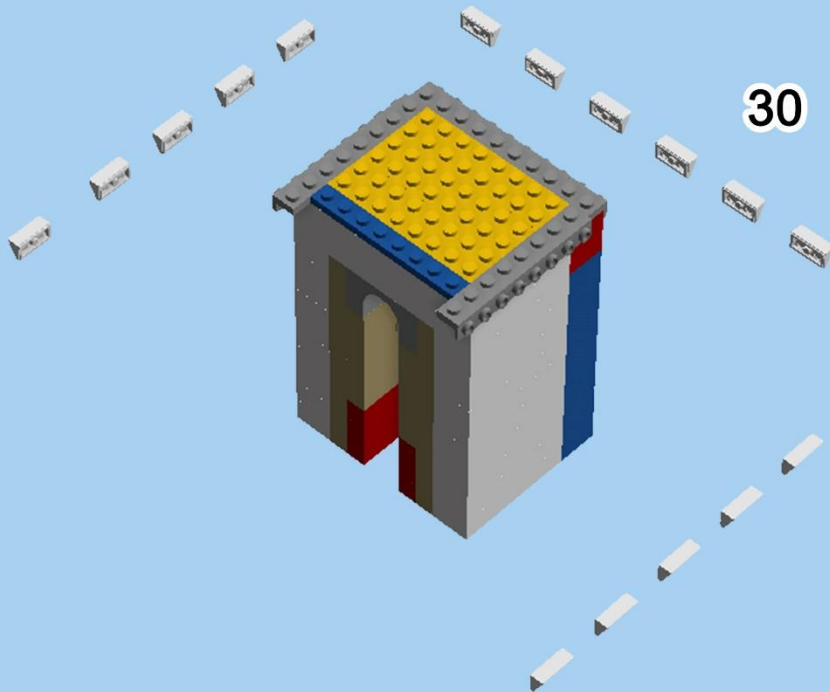
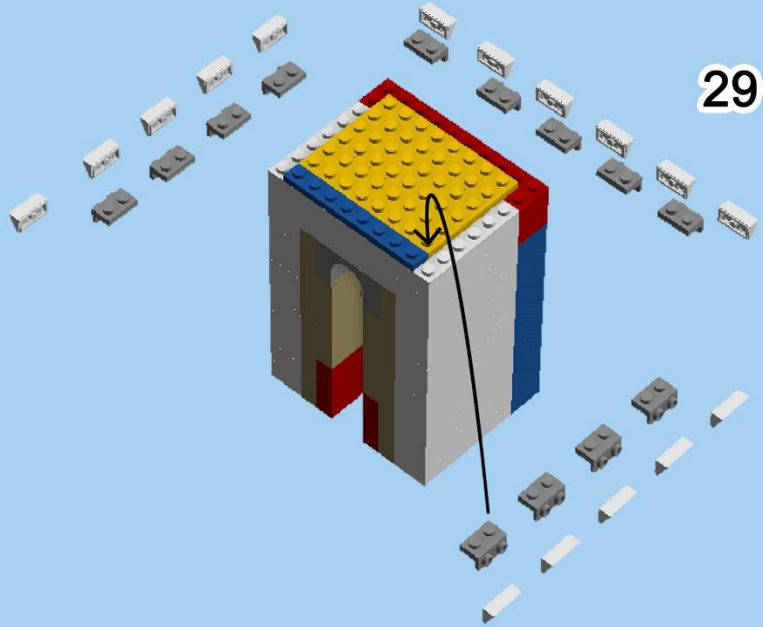
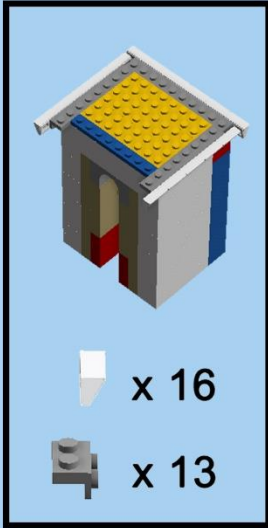
Pylône gauche



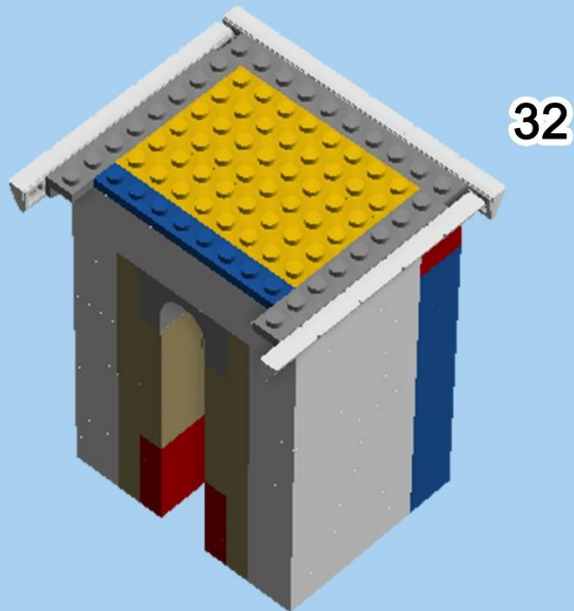
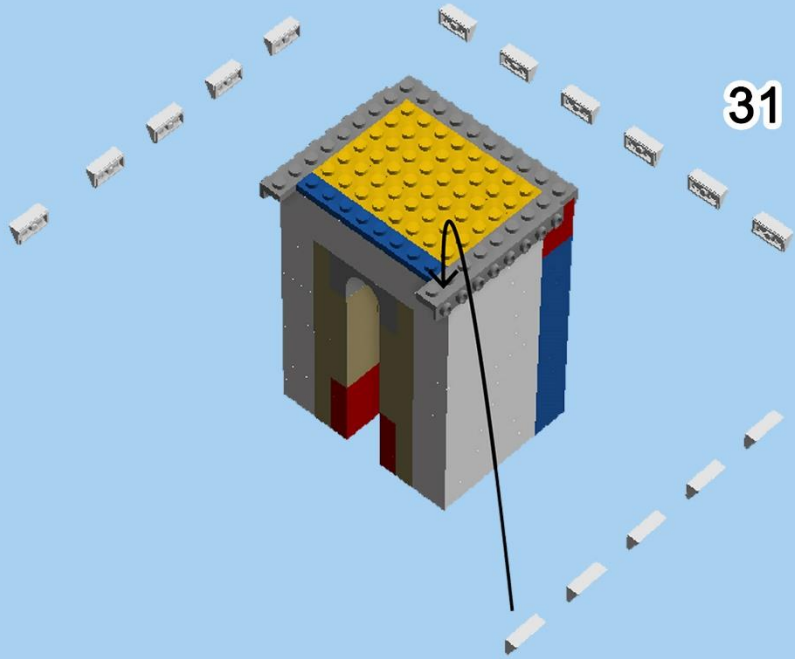
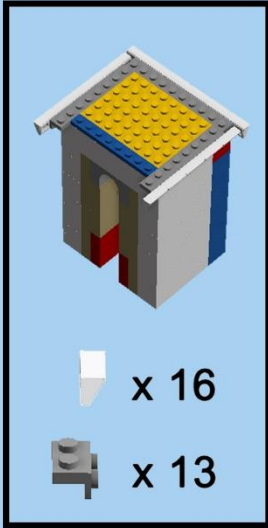
Pylône gauche



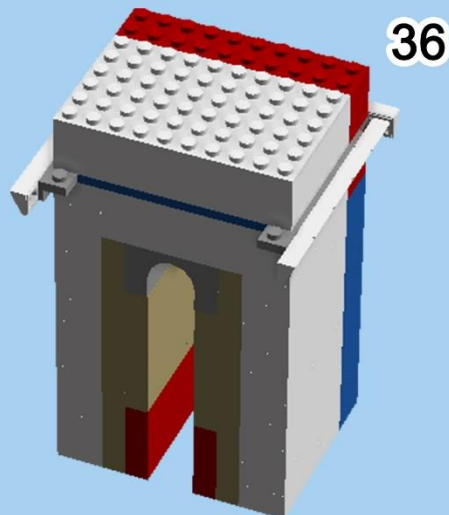
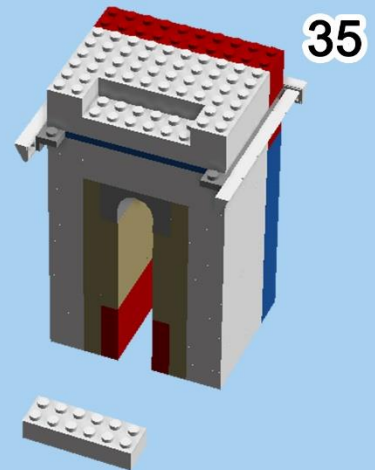
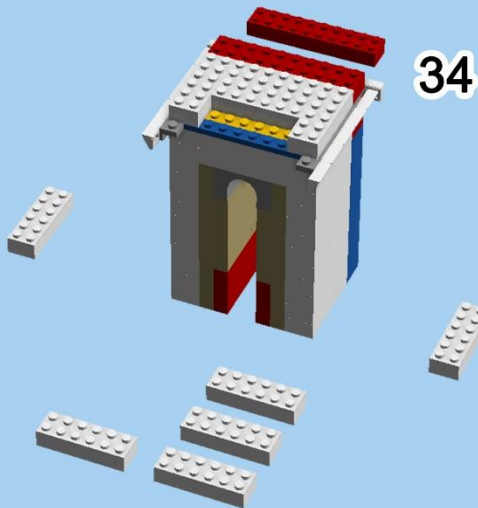
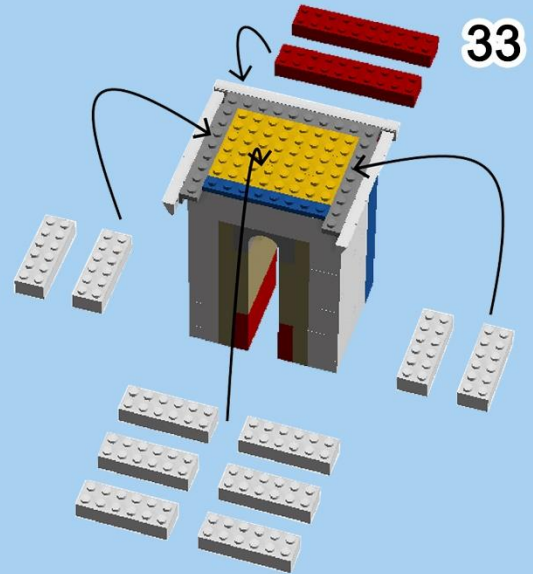
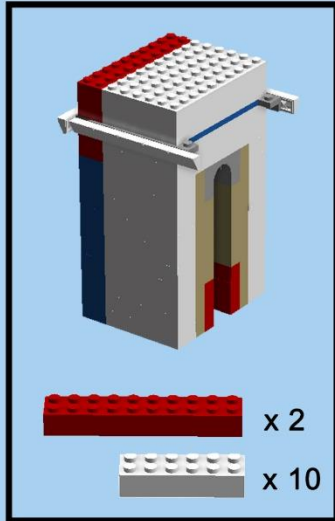
Pylône gauche



Pylône gauche



Pylône gauche



**Vous avez fini le
pilier gauche,
continuez la
notice pour faire
l'arc central**

Arc central

A list of parts for the assembly, enclosed in a black box. It shows a yellow 1x16 Technic brick with a purple 1x4 Technic brick attached to its bottom. Below this, it lists "x 16" next to a yellow 1x4 Technic brick and "x 4" next to a purple 1x4 Technic brick.

Diagram for step 37. It shows four yellow 1x4 Technic bricks arranged in a 2x2 grid. A purple 1x4 Technic brick is shown below them with a curved arrow pointing to the bottom-left corner of the grid, indicating where to attach it.

Diagram for step 38. It shows two yellow 1x4 Technic bricks on top of a purple 1x4 Technic brick. A second purple 1x4 Technic brick is shown below, with a curved arrow pointing to the bottom-left corner of the purple brick, indicating where to attach it.

Diagram for step 39. It shows a yellow 1x16 Technic brick with a purple 1x4 Technic brick at the bottom. A yellow 1x4 Technic brick is being attached to the side of the main brick, with a curved arrow indicating the placement.

Diagram for step 40. It shows a completed yellow 1x16 Technic brick with a purple 1x4 Technic brick at the bottom. A large red "X 4" is placed to the right of the brick, indicating that four of these units are required.

Arc central

Inset box showing assembly details for the central arc:

- 1 dark brown 1x10 Technic beam with a white 1x10 Technic beam on top.
- 2 dark brown 1x5 Technic beams.
- 10 white 1x1 Technic pins.
- 8 grey 1x2 Technic pins.

41

Assembly step 41: A dark brown 1x10 Technic beam is shown with four grey 1x2 Technic pins being attached to its top surface.

42

Assembly step 42: The assembly from step 41 is shown with four more grey 1x2 Technic pins being attached to the top surface.

43

Assembly step 43: The central arc is completed, showing a dark brown 1x10 Technic beam with eight grey 1x2 Technic pins attached to its top surface.

44

Assembly step 44: The central arc is shown with five white 1x2 Technic wedges being attached to its bottom surface.

45

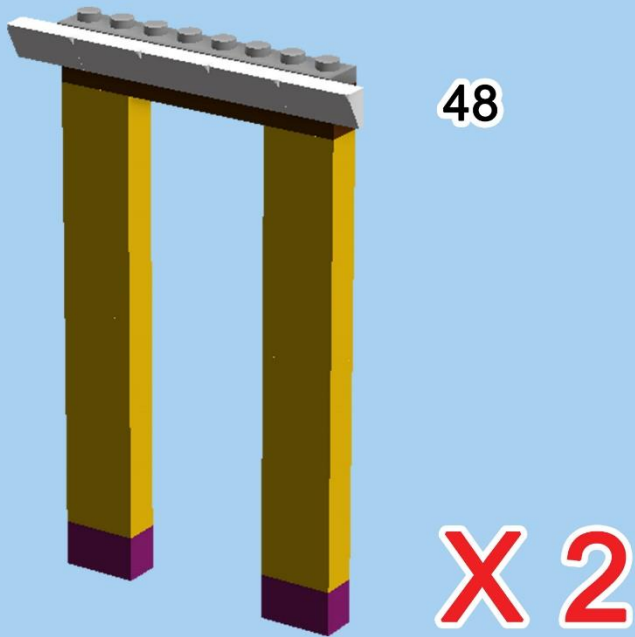
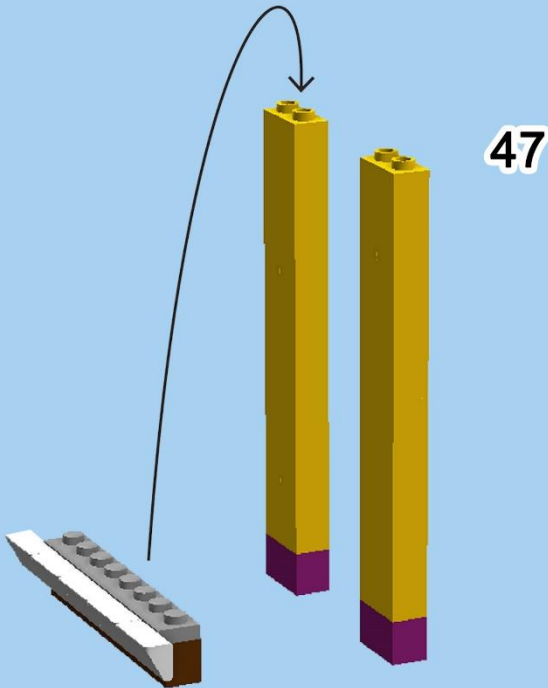
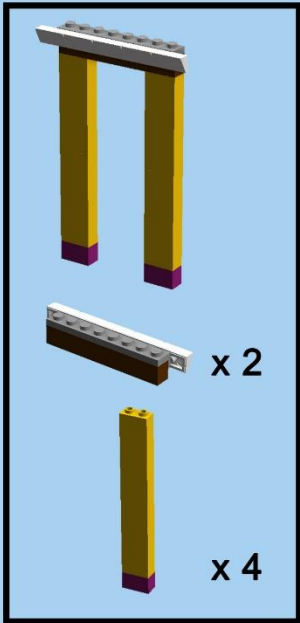
Assembly step 45: The central arc is shown with four more white 1x2 Technic wedges being attached to its bottom surface.

46

Assembly step 46: The final assembly of the central arc is shown, featuring a white 1x10 Technic beam on top of the dark brown 1x10 Technic beam.

X 2

Arc central



Arc central

x 2
x 8

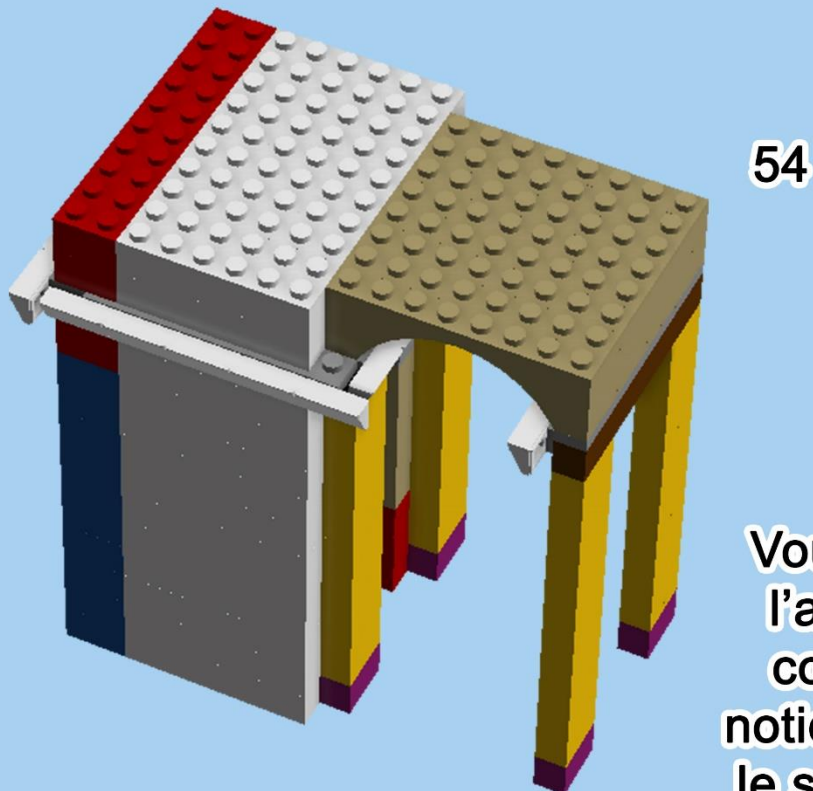
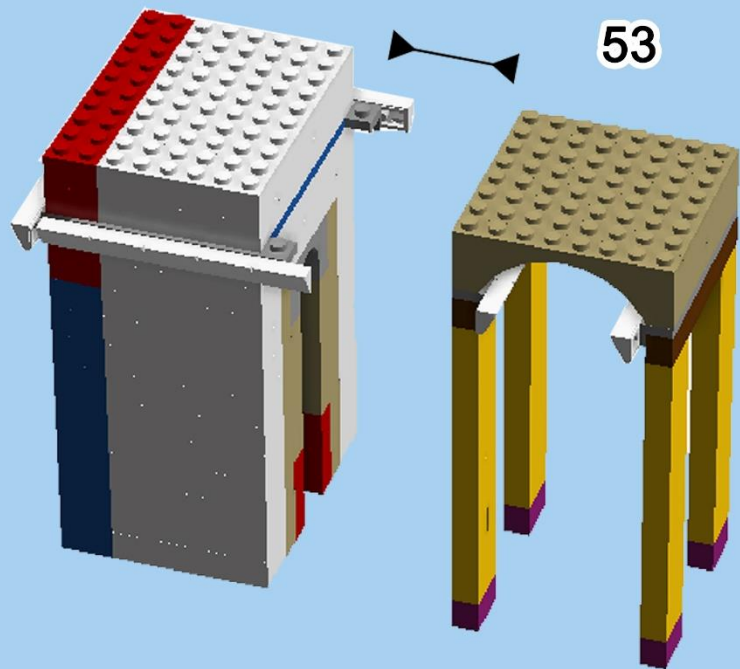
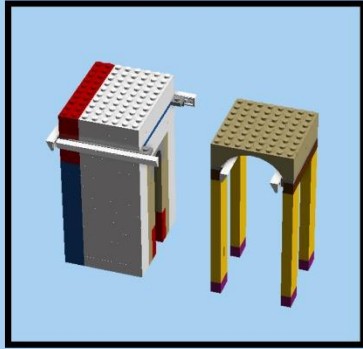
49

50

51

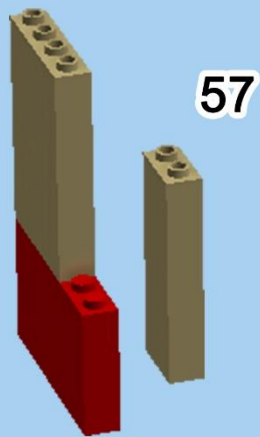
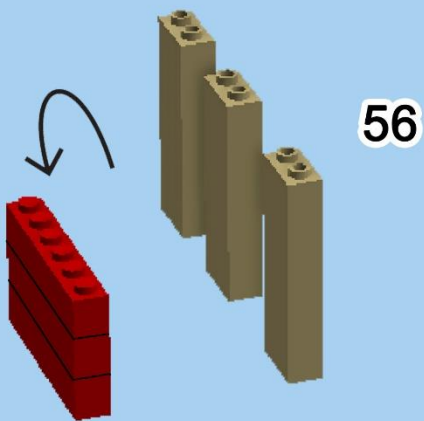
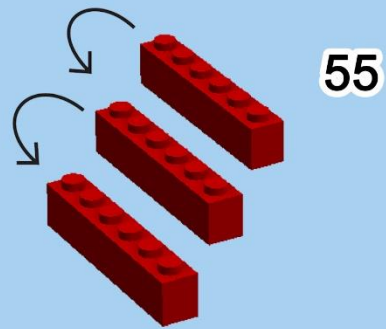
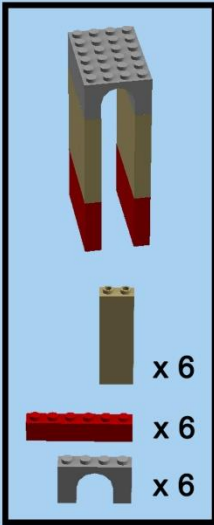
52

Arc central

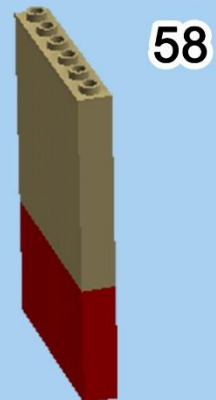


**Vous avez fini
l'arc central,
continuez la
notice pour faire
le second pilier**

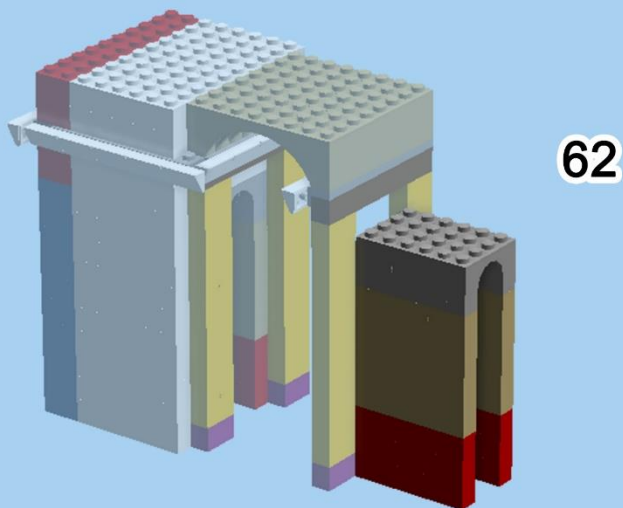
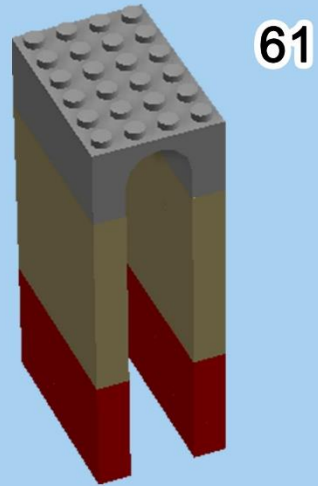
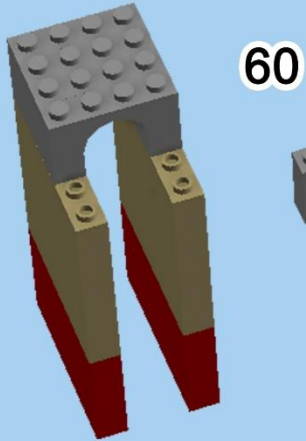
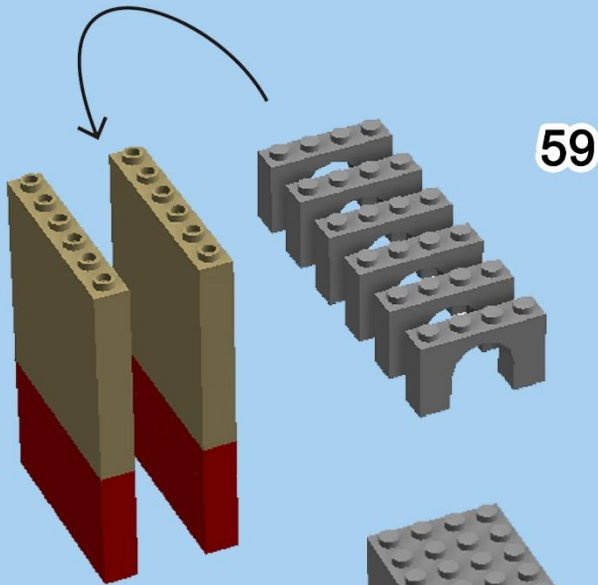
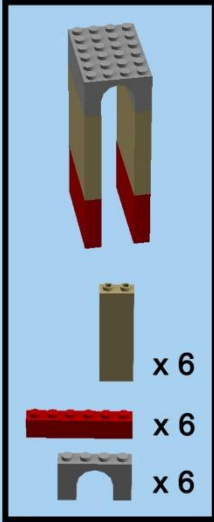
Pylône droit



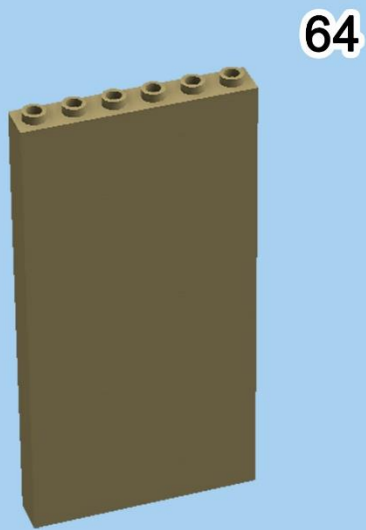
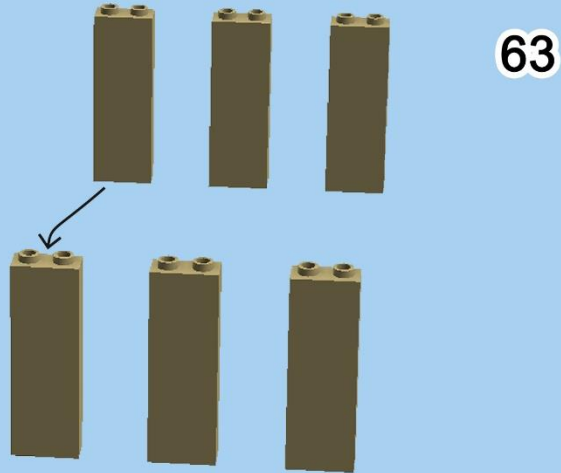
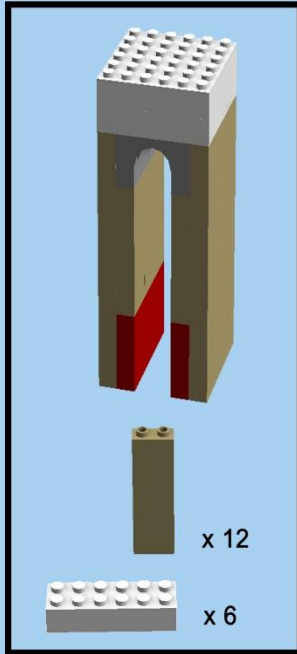
X 2



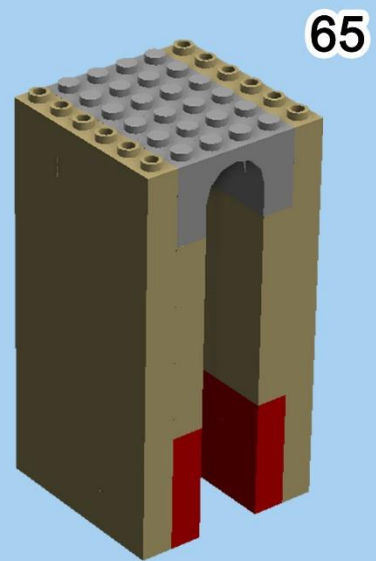
Pylône droit



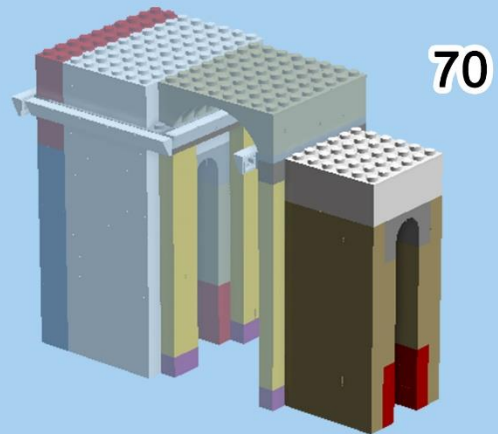
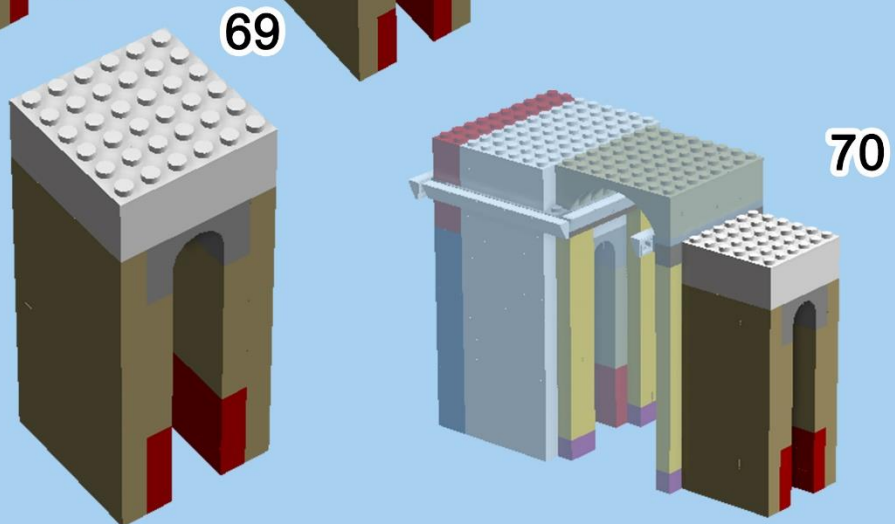
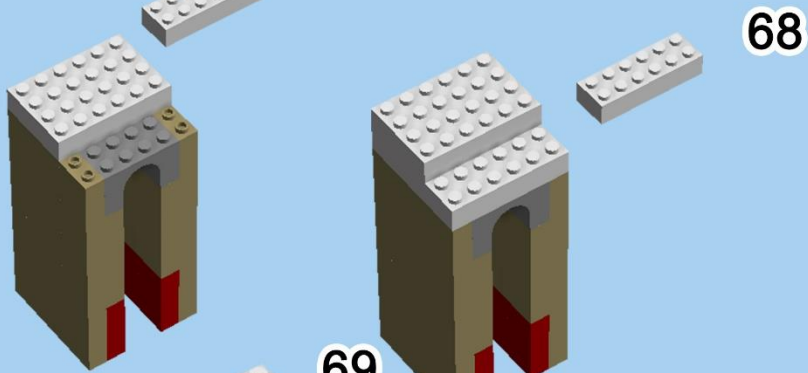
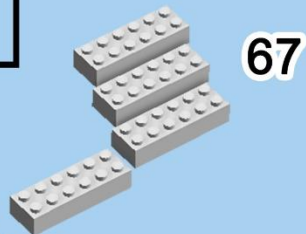
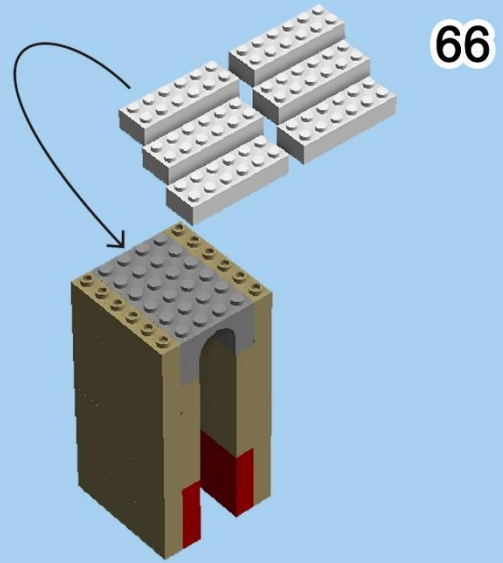
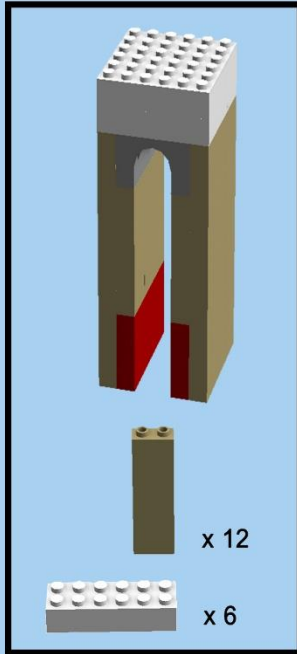
Pylône droit



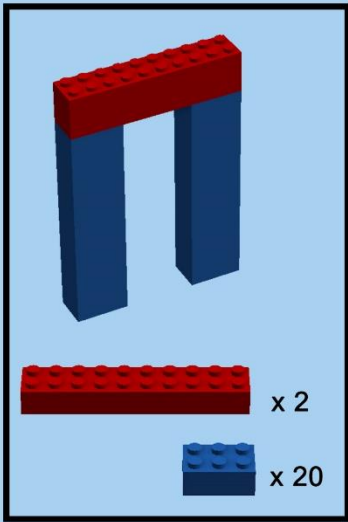
X 2



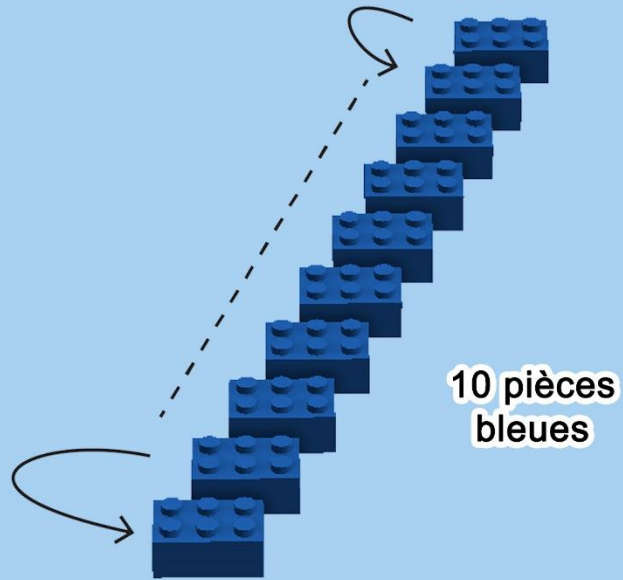
Pylône droit



Pylône droit

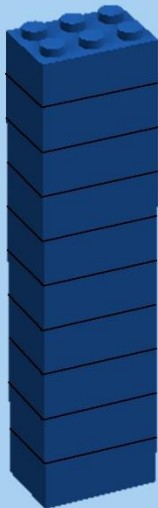


71

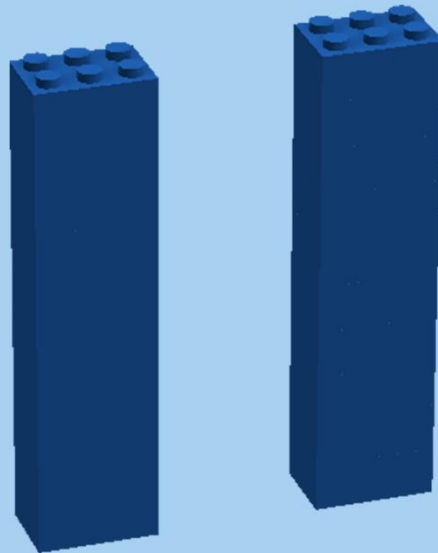


X 2

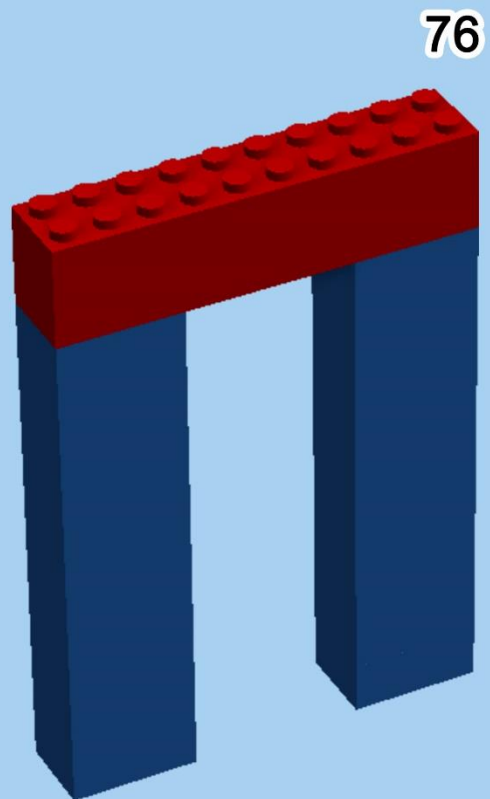
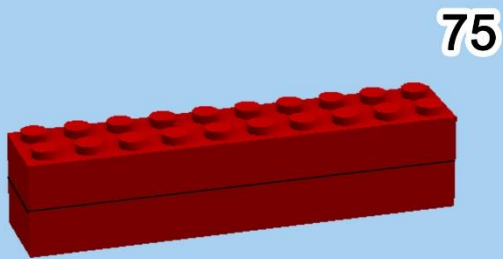
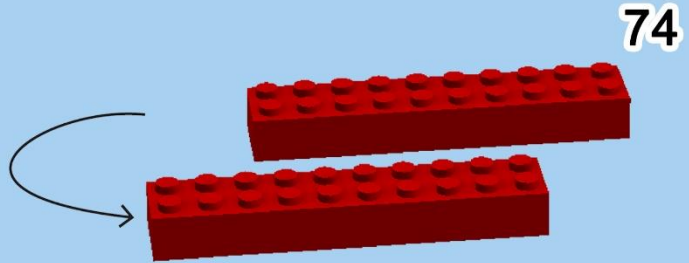
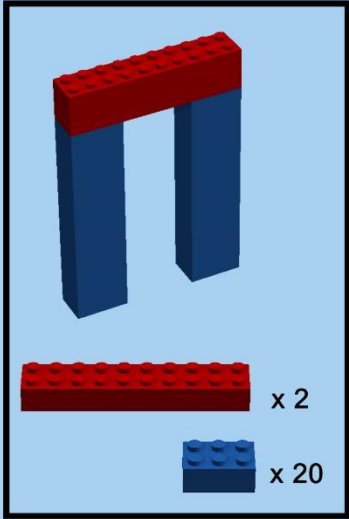
72



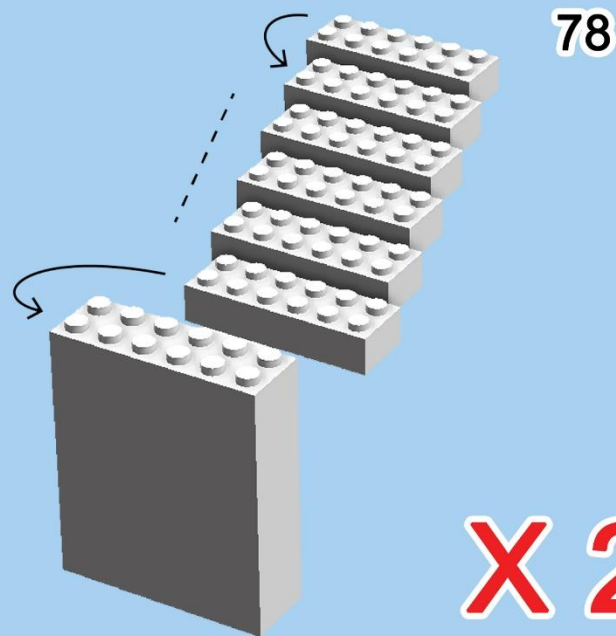
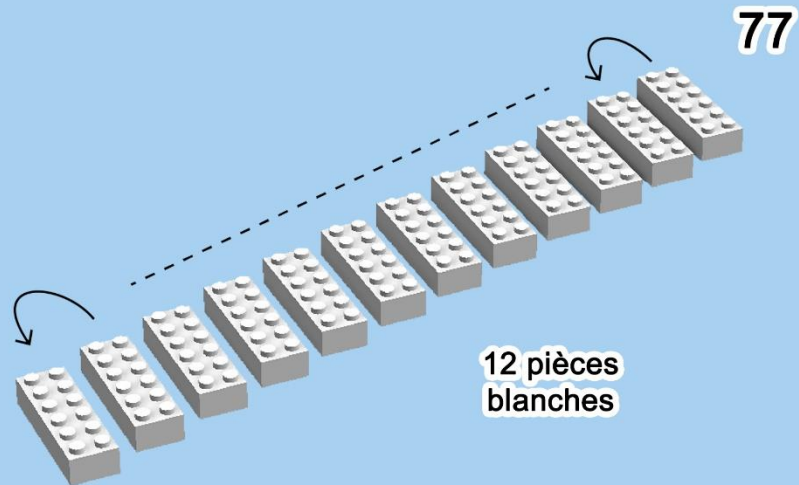
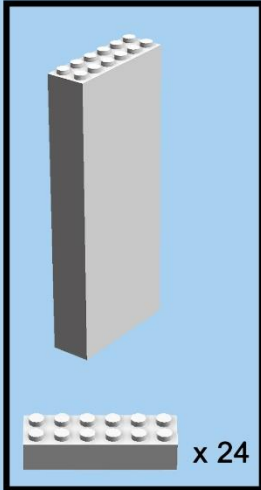
73



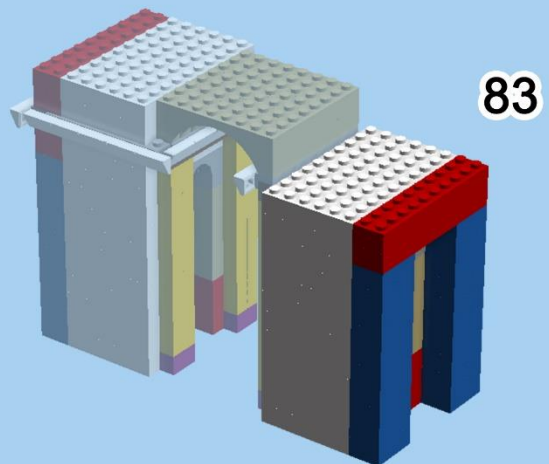
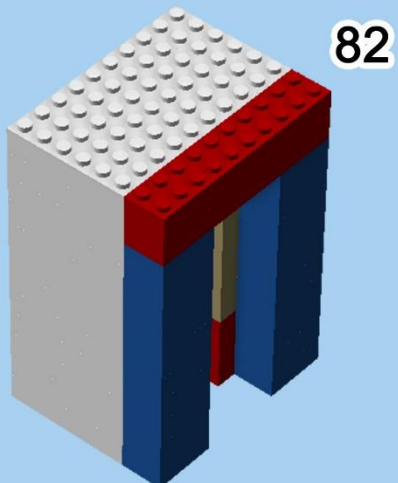
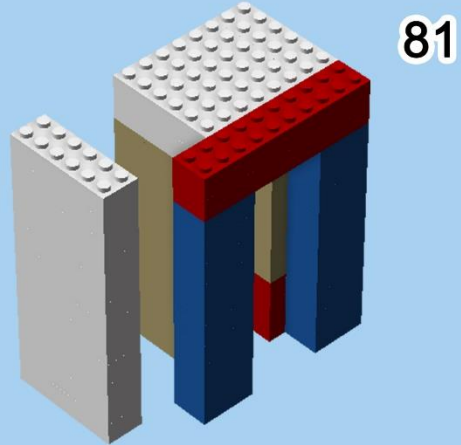
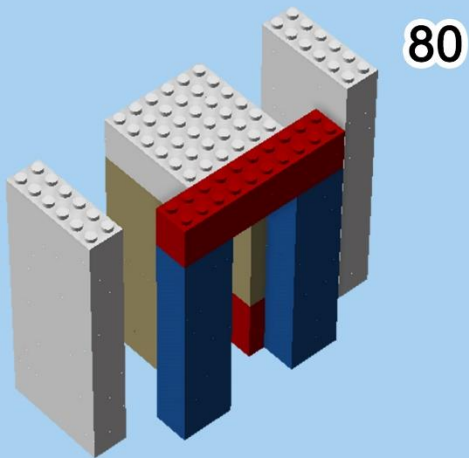
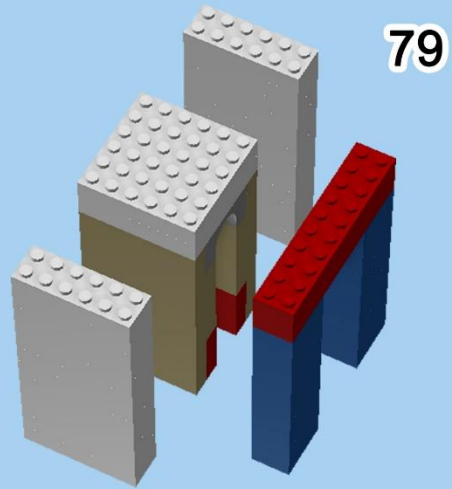
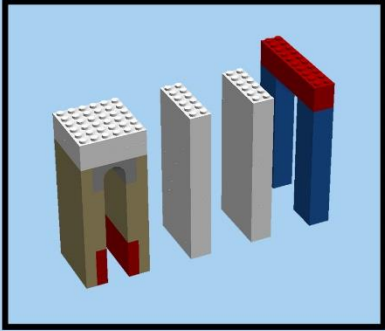
Pylône droit



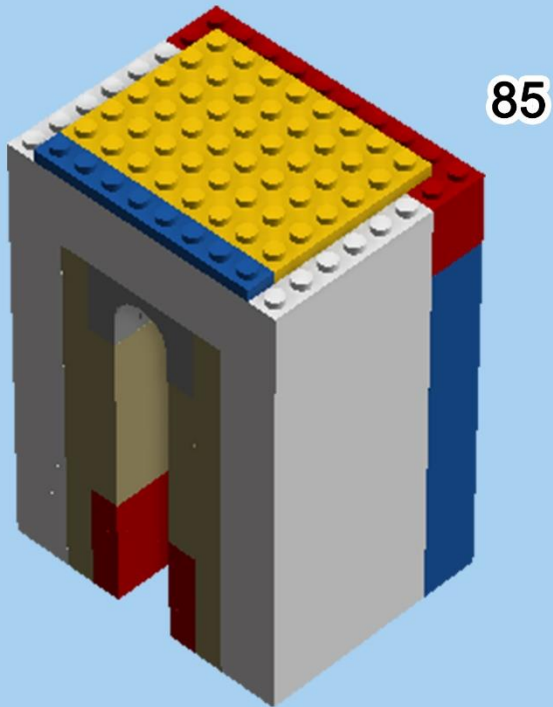
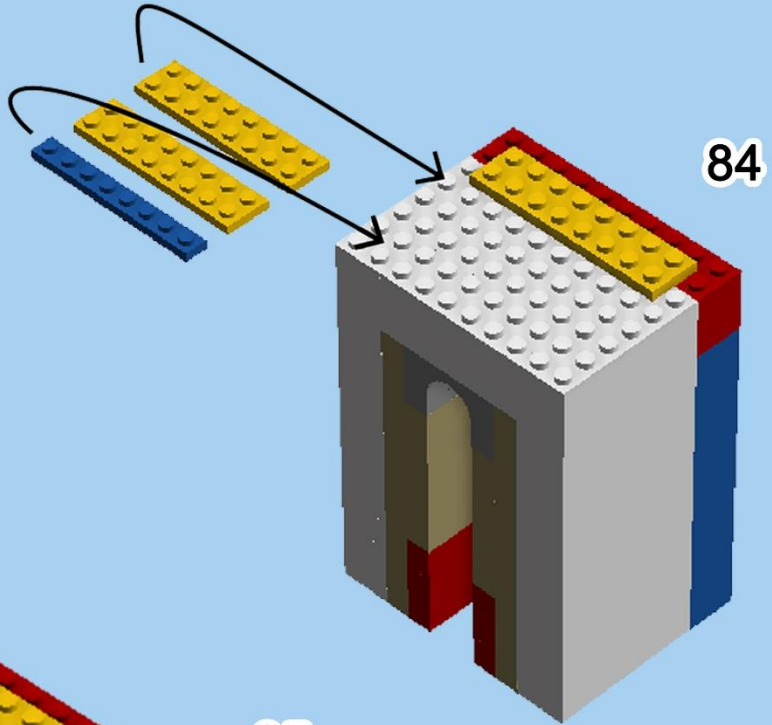
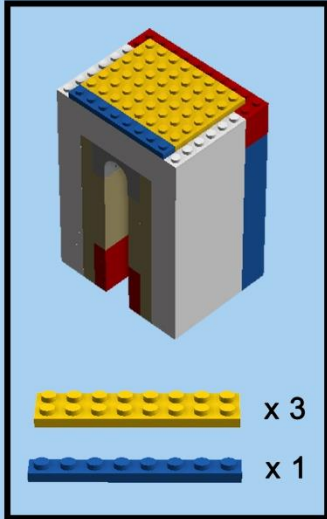
Pylône droit



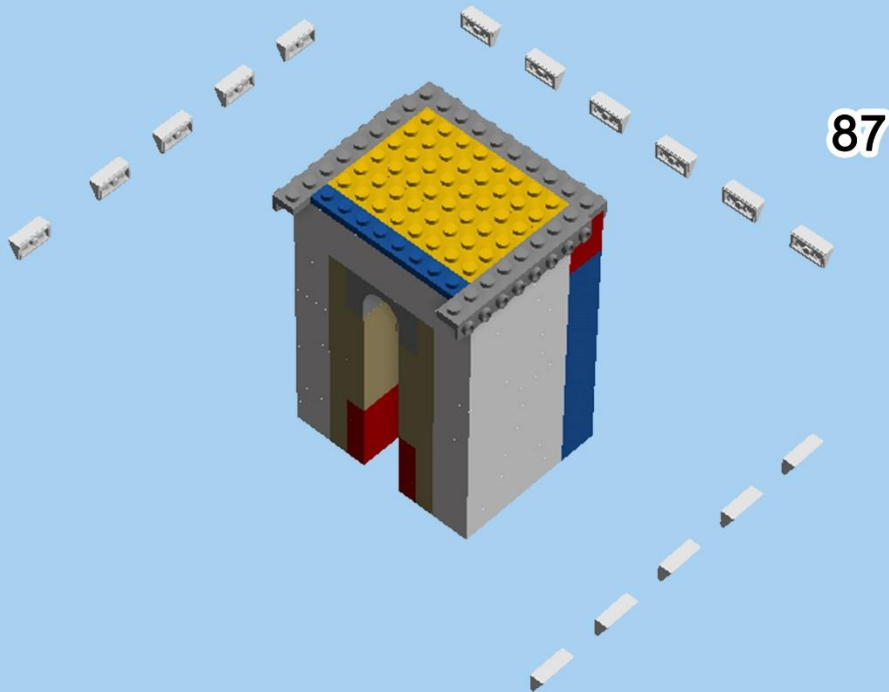
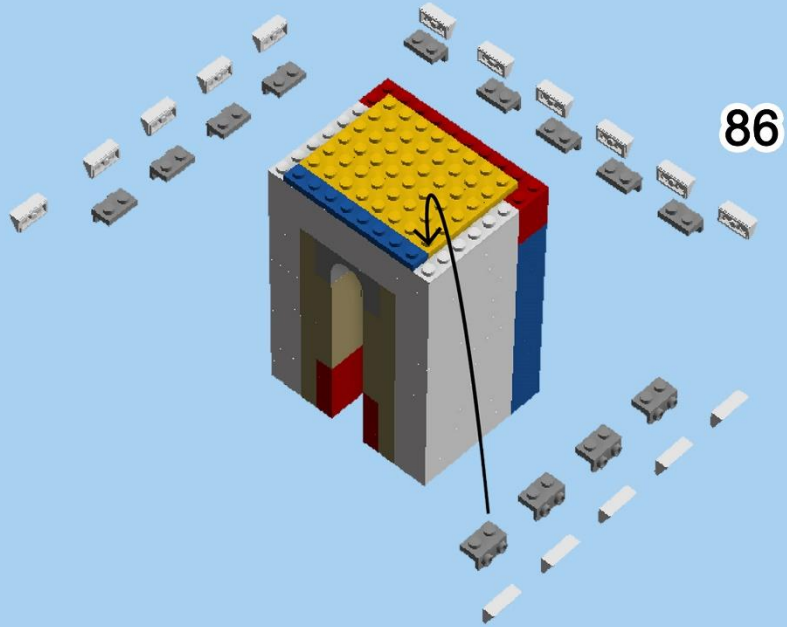
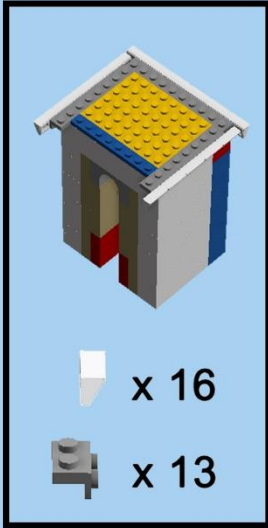
Pylône droit



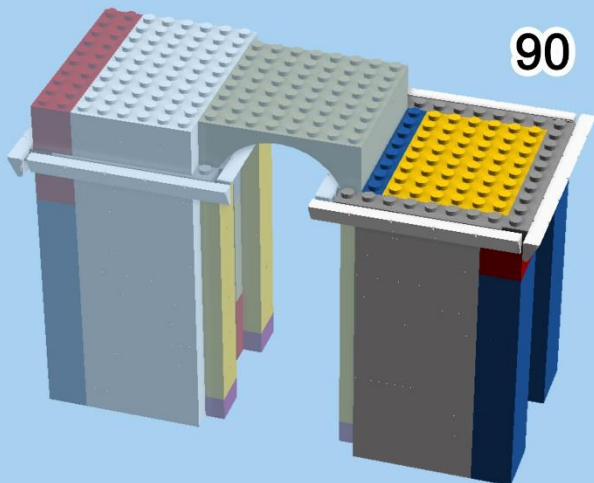
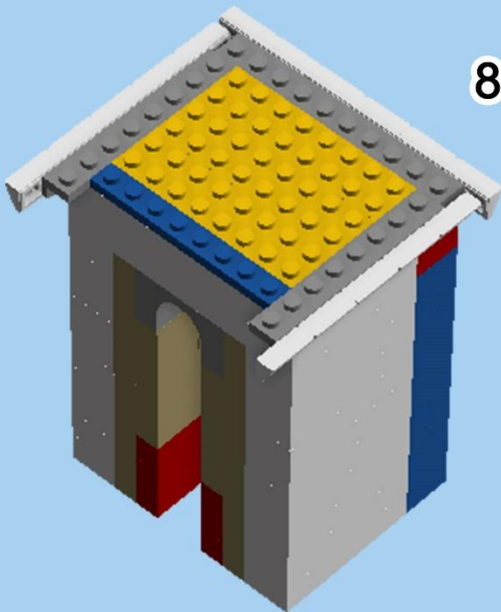
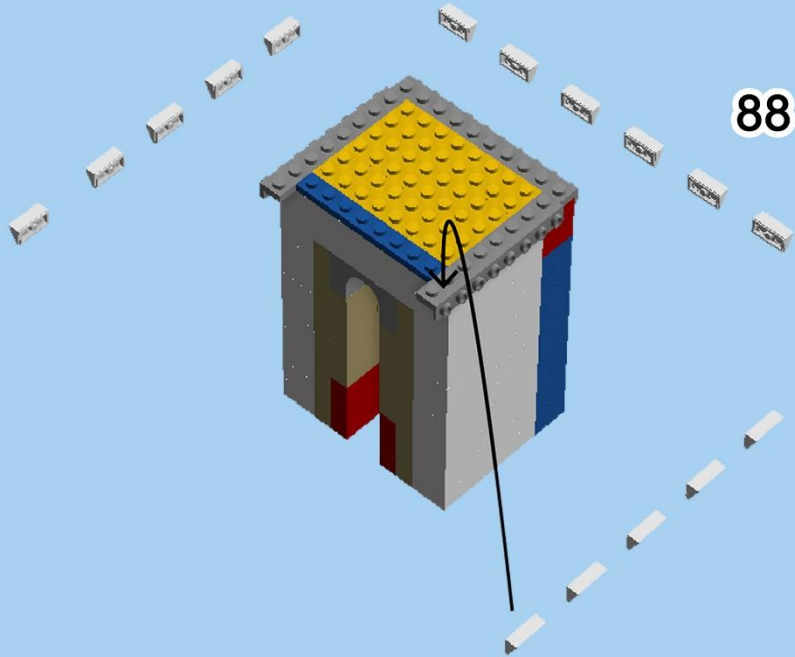
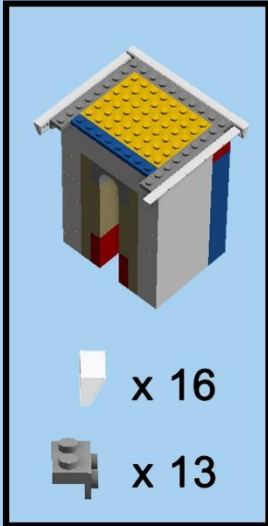
Pylône droit



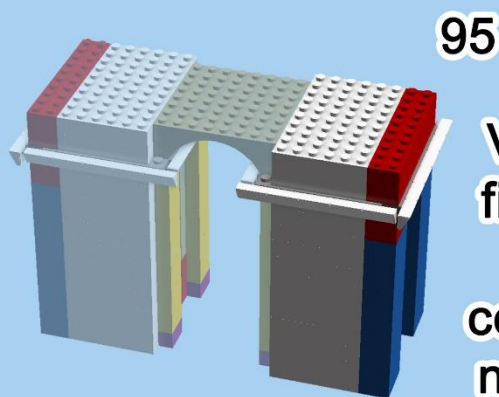
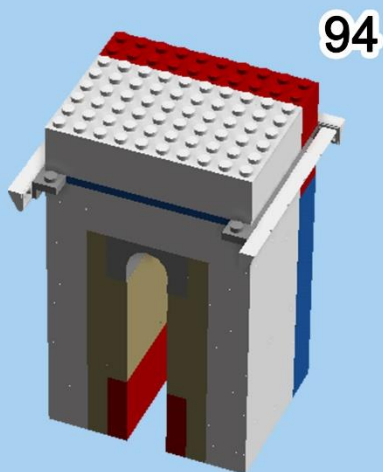
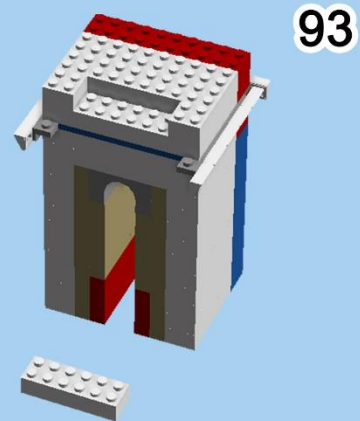
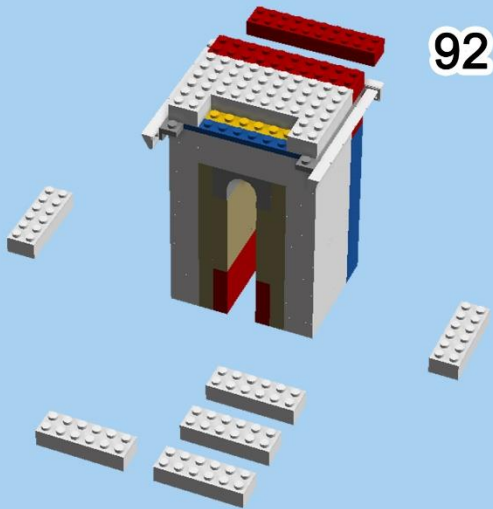
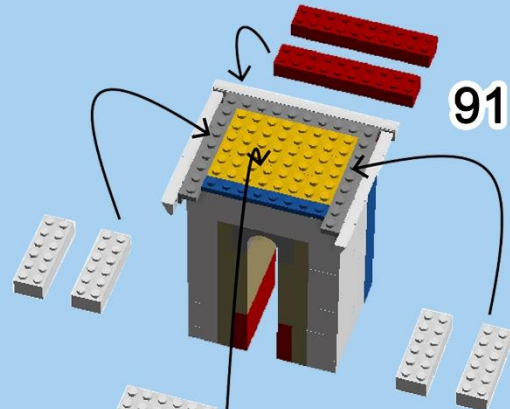
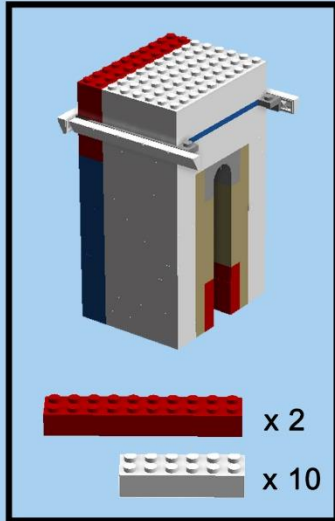
Pylône droit



Pylône droit

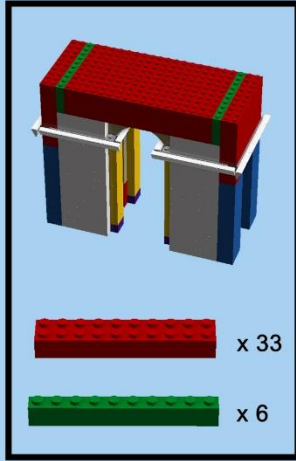


Pylône droit

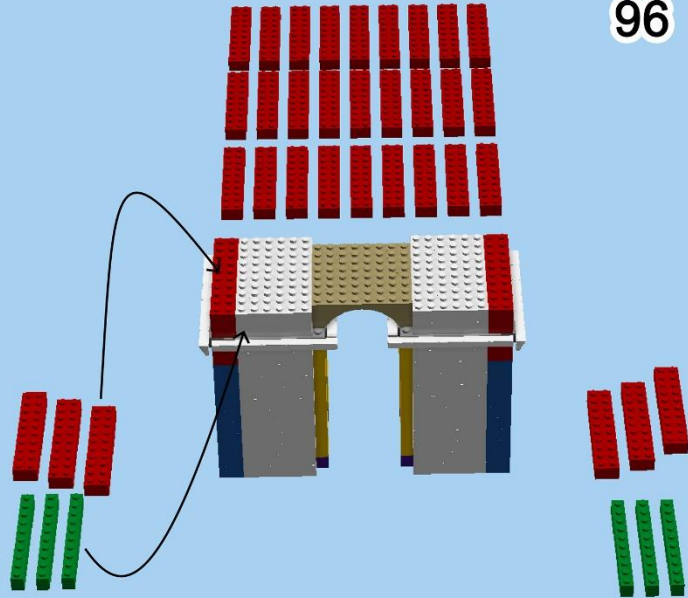


Vous avez fini la base de l'arc, continuez la notice pour faire l'attique

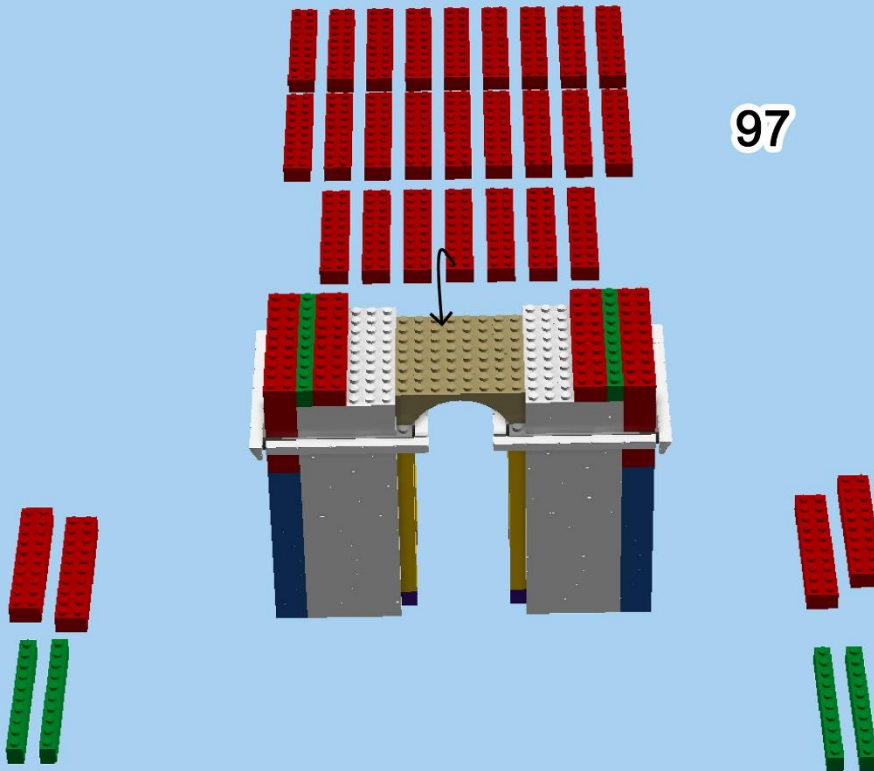
Attique



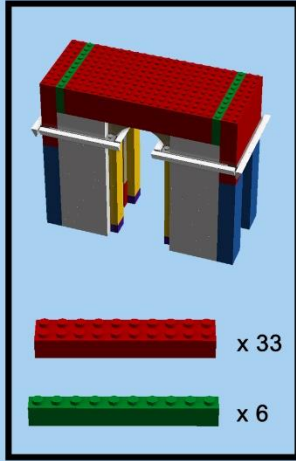
96



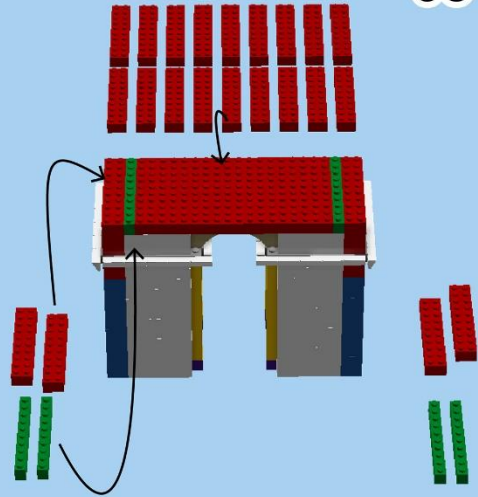
97



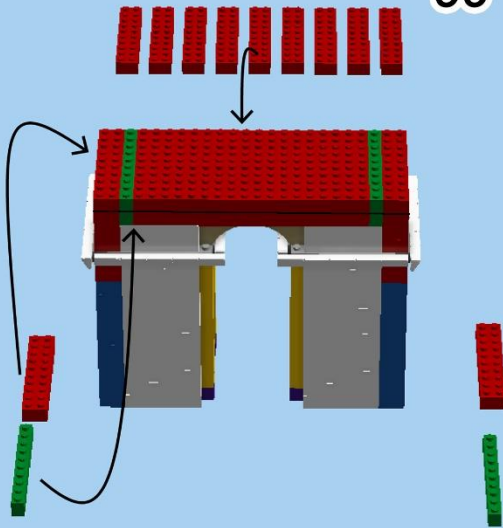
Attique



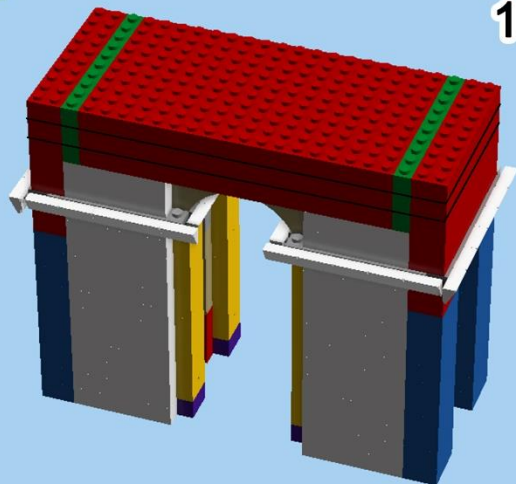
98



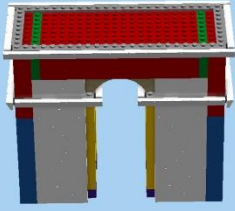
99




100



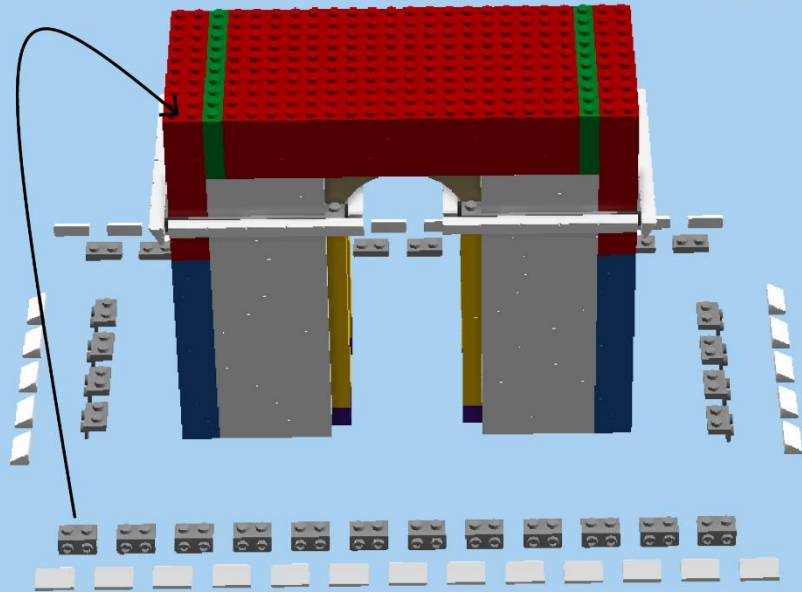
Attique



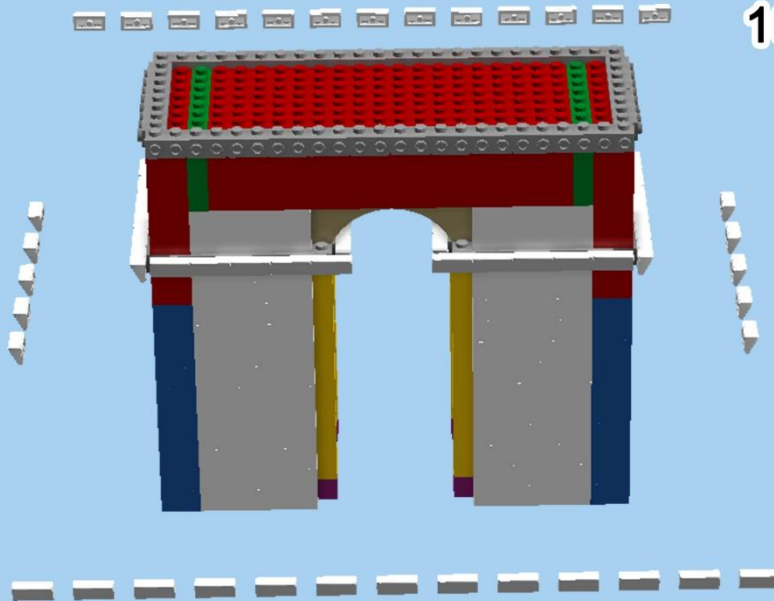
 x 36

 x 32

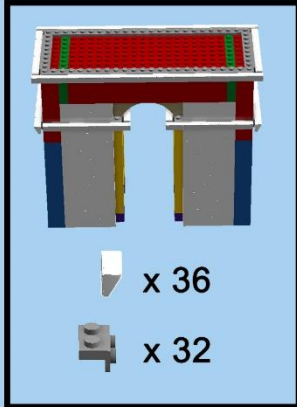
101



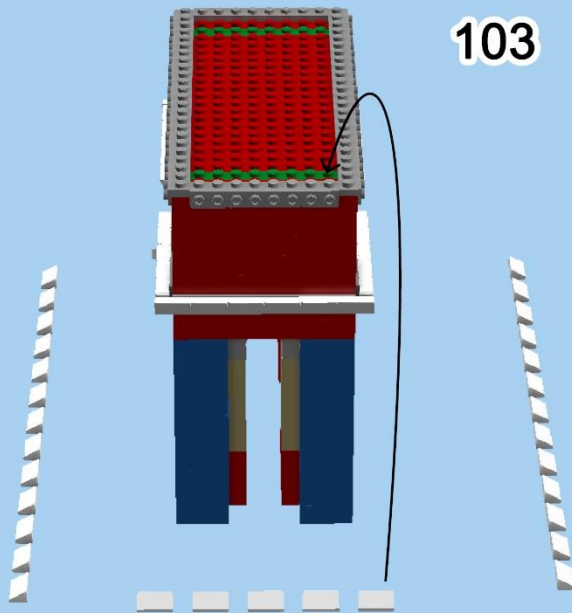
102



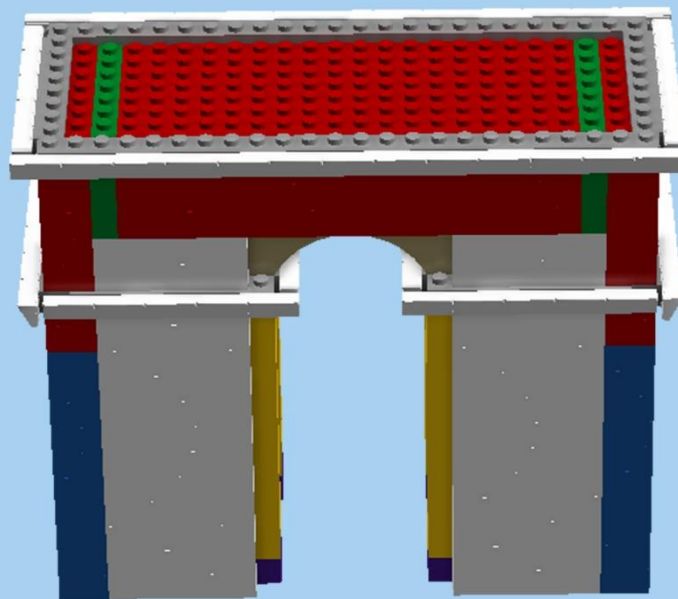
Attique



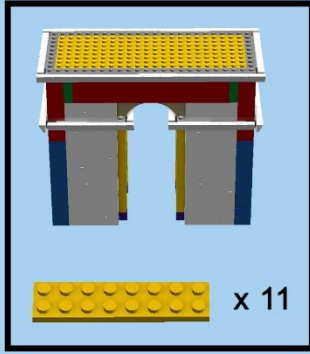
103



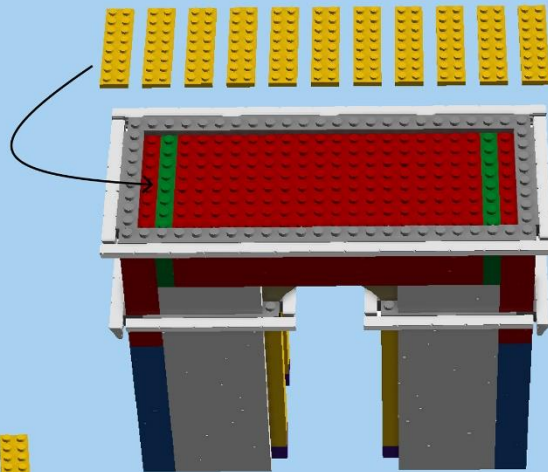
104



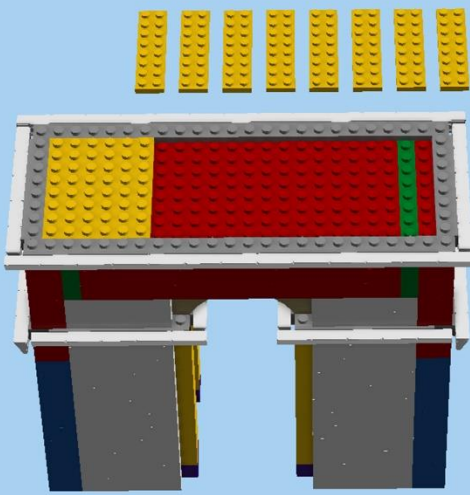
Attique



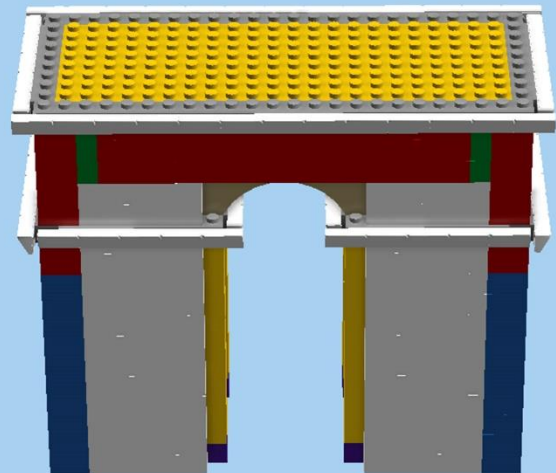
105



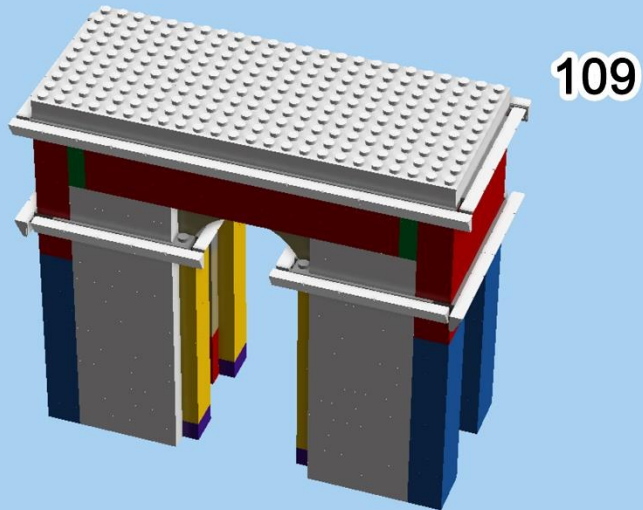
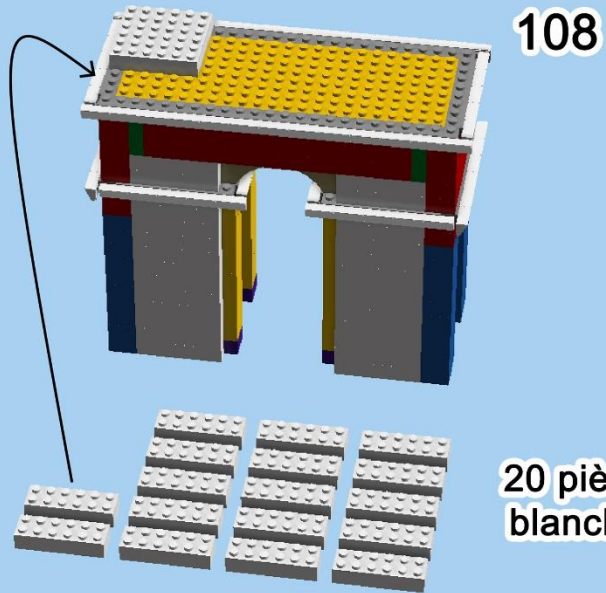
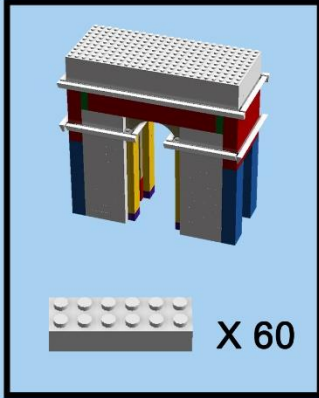
106



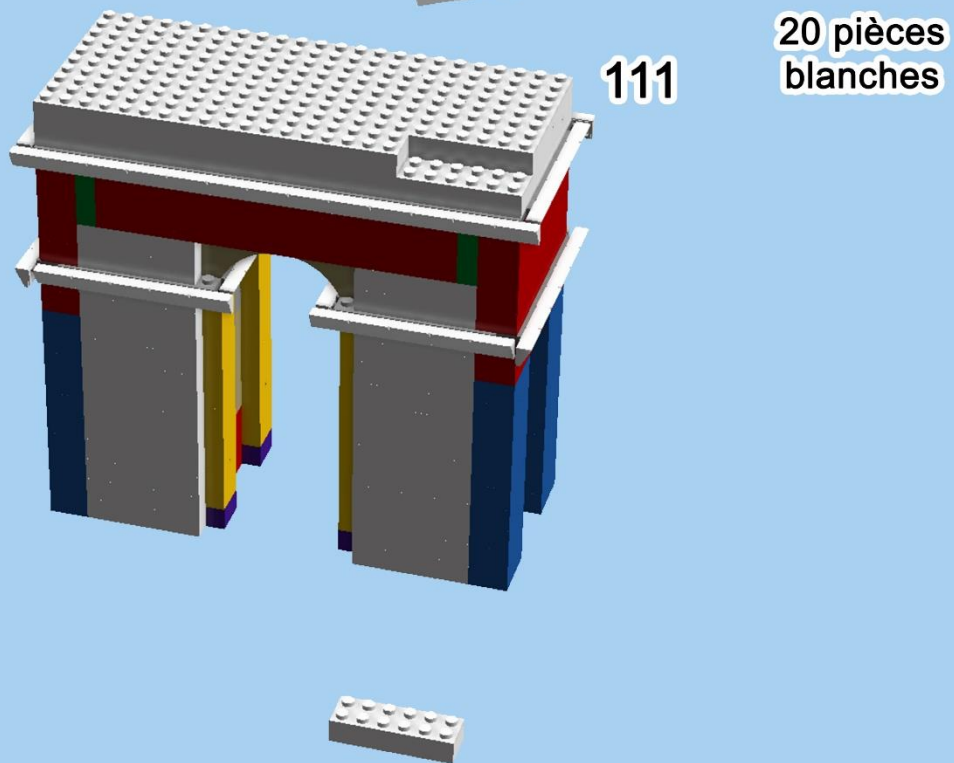
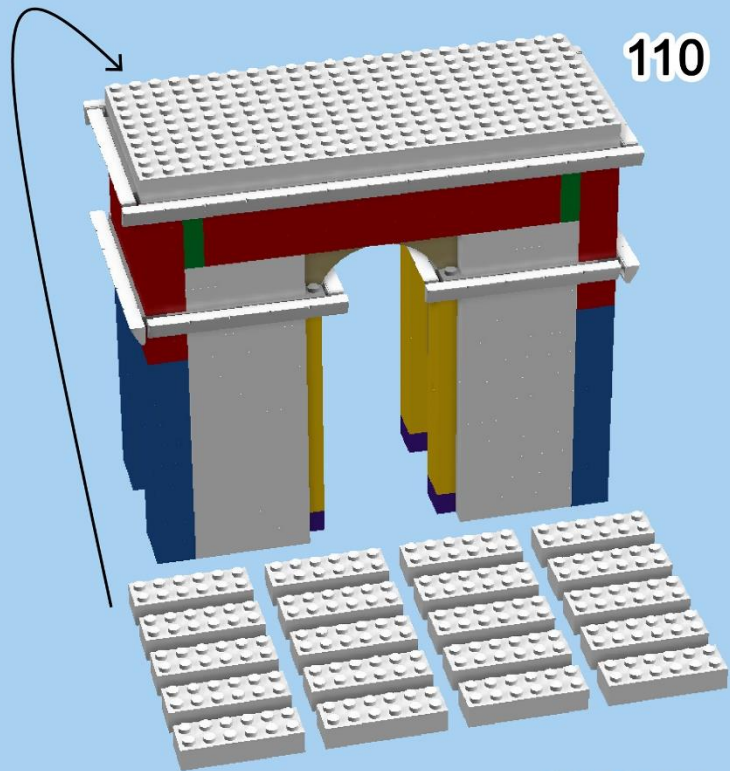
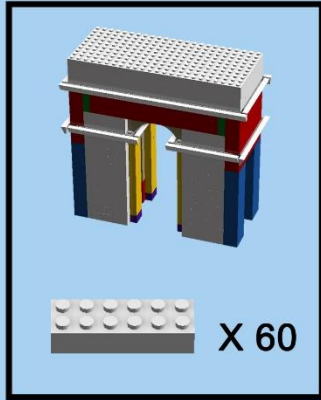
107

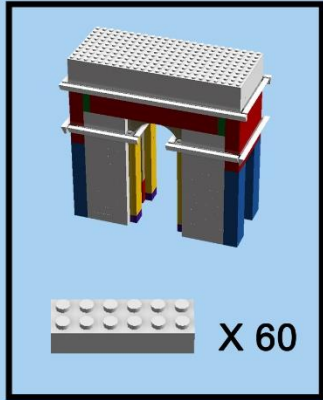


Attique

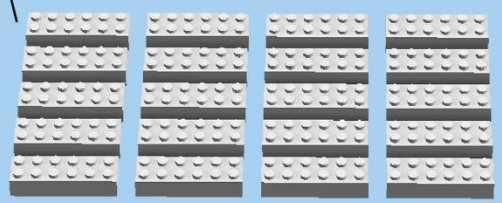
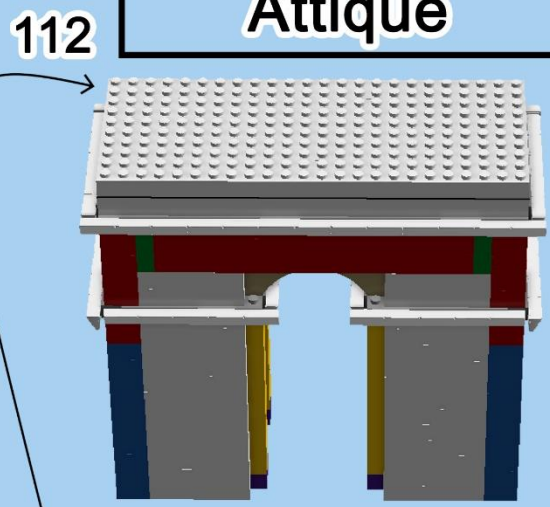


Attique



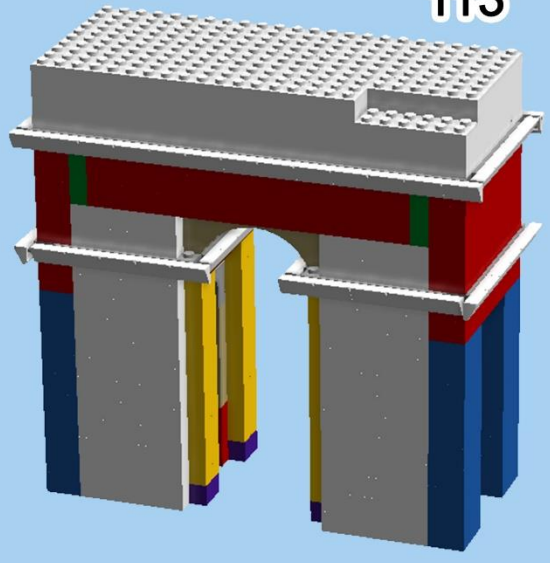


Attique

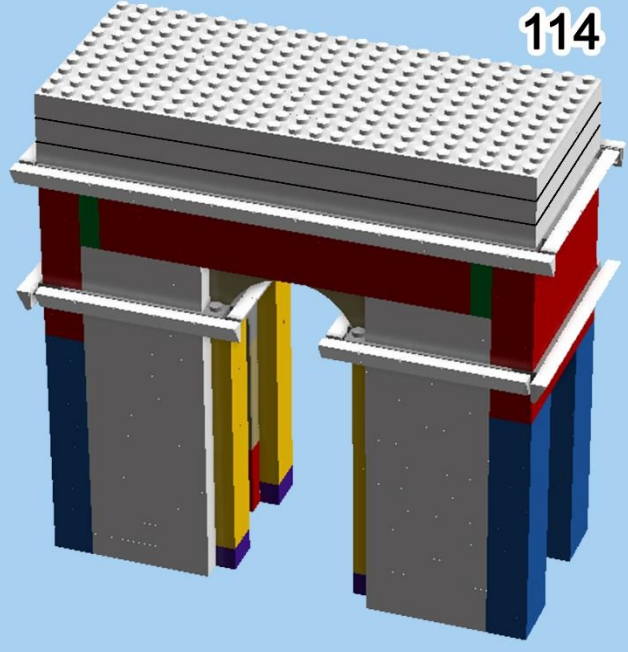


20 pièces
blanches

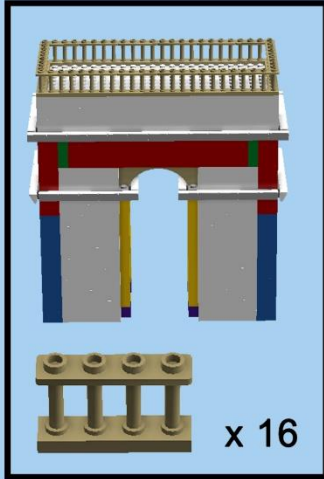
113



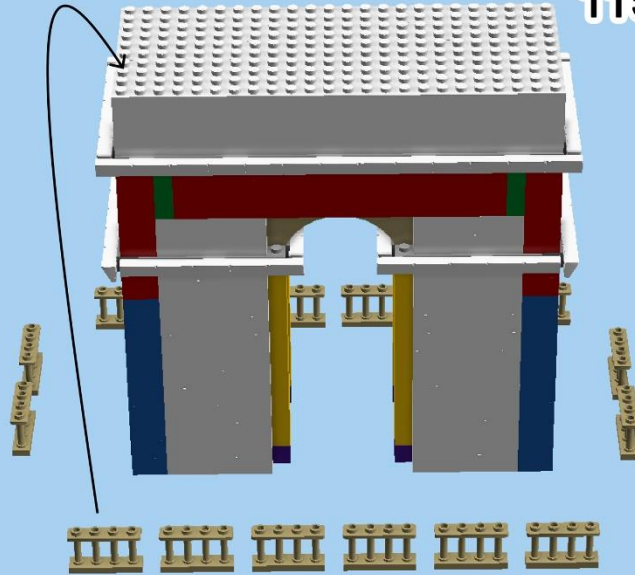
114



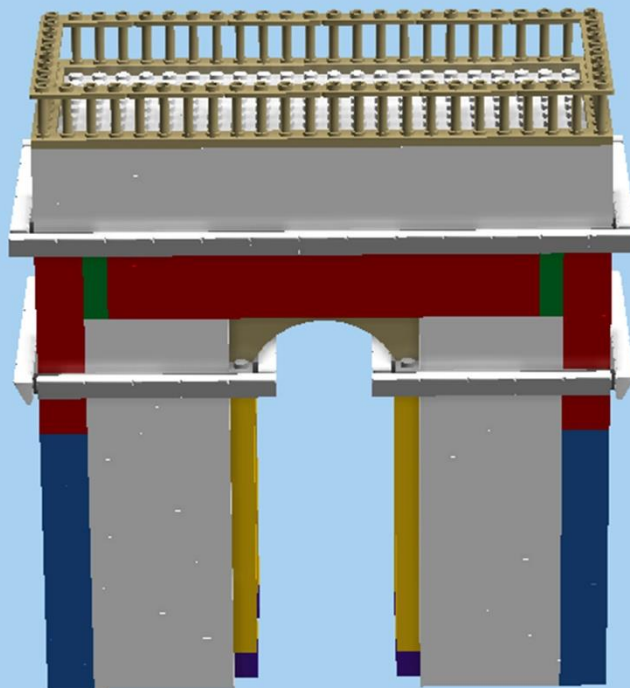
Attique



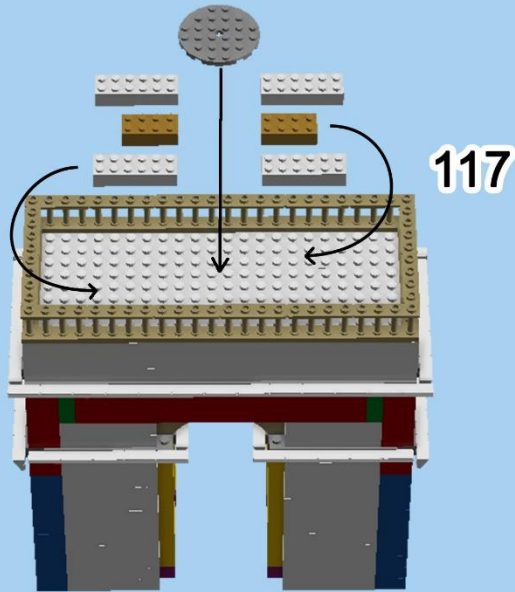
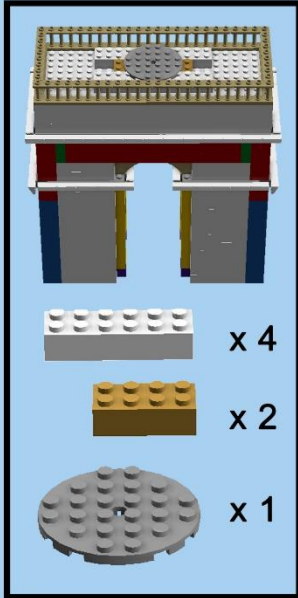
115



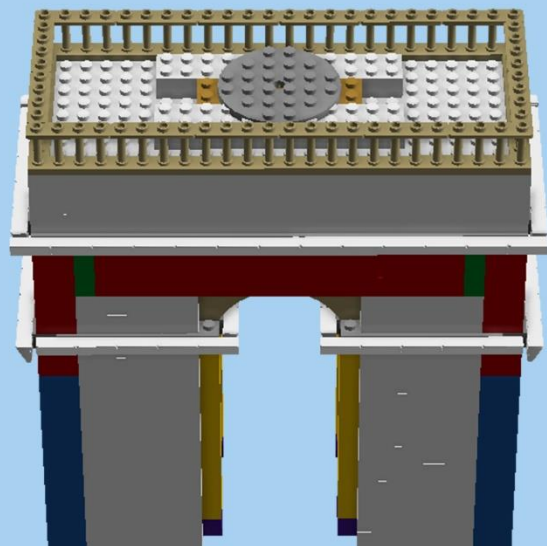
116



Attique

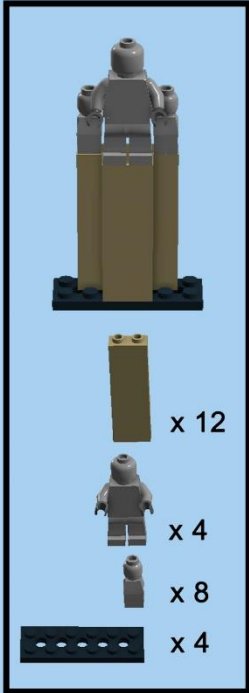


118



119

Finitions

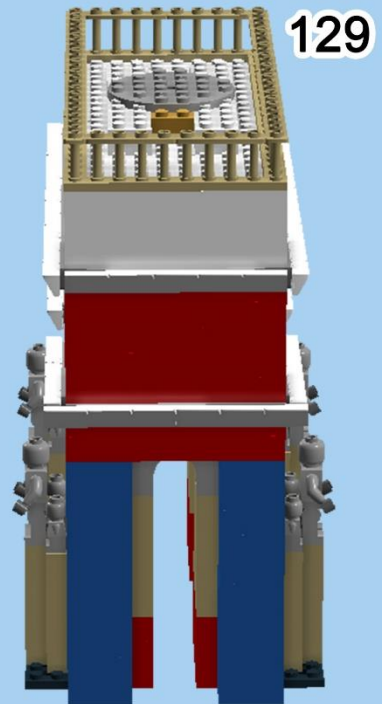
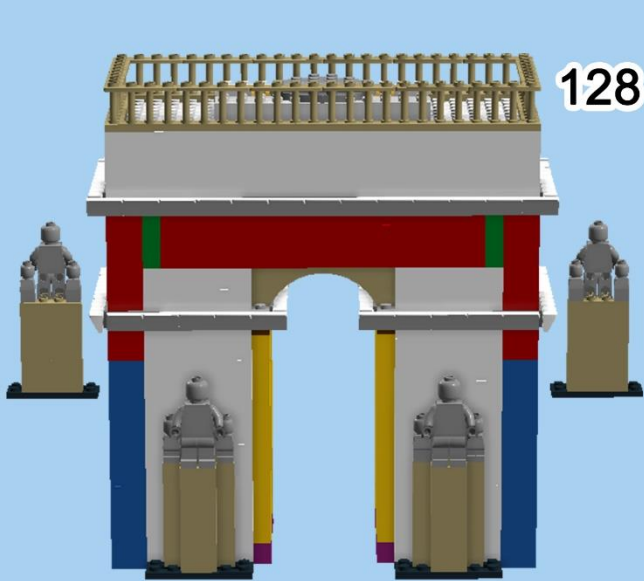
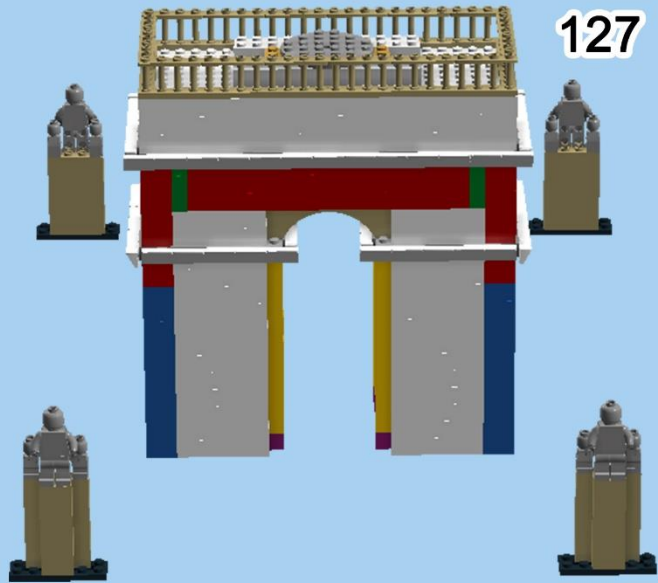


X 4

Finitions



Finitions



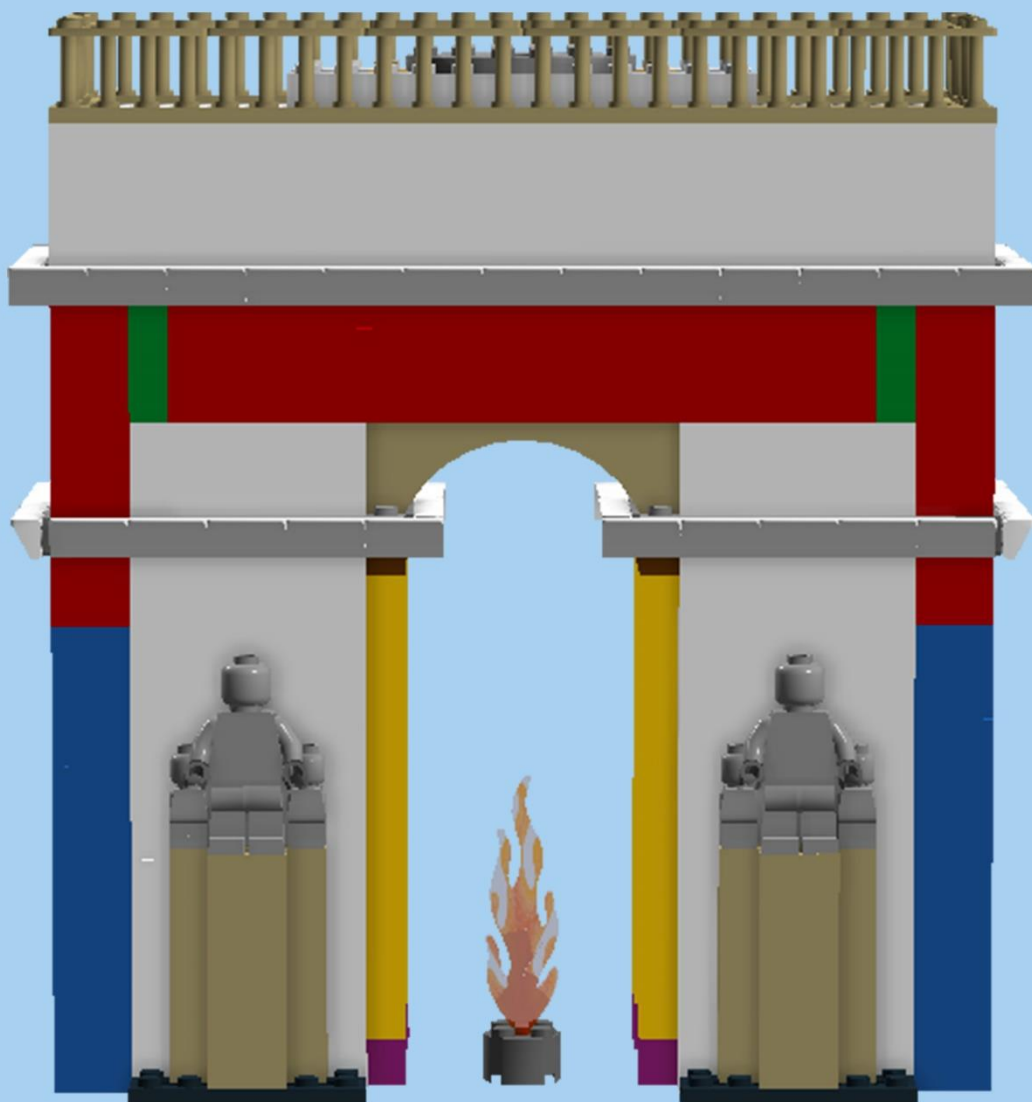
Finitions



130



131



FIN



Annexe 3 : Projet BORIS paramétré pour l'analyse des tests écologiques

Annexe 3.1 : Projet BORIS utilisé lors du Cooking Task Test

Annexe 3.2 : Projet BORIS utilisé lors de l'ATCT

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/Z2nP27XFXciHm92>

QR Code :



Annexe 4 : Protocole de passation de test de l'ATCT

Matériel :

Le matériel nécessaire à la réalisation du test est le suivant :

- 1 ensemble de pièces Lego pour construire un modèle de l'arc de triomphe
- La notice associée au modèle
- 1 plaque de montage Lego grise (48*48 tenons, ou 38*38 cm)
- Un examinateur prenant des notes sur le comportement du patient dans la pièce du test et si possible un examinateur qui contrôle l'enregistrement du Tobii.
- Différents ensembles de pièces de Lego servant de distracteur
 - Des pièces servant au montage mais en quantité plus importante que nécessaire à la construction
 - Des pièces non nécessaires au montage du modèle, cachées parmi celles qui le sont de forme et de couleur comparable
 - Un ensemble de pièces n'appartenant pas au modèle, regroupées dans un sac à part, différents de celles utilisés par leurs formes et couleur.
- Un chronomètre/Horloge
- Une paire de lunettes Tobii Pro Glasses 2® avec leurs logiciels d'exploitation
- Trois GoPro Hero 5 Black®

Les GoPro sont placées au mur dans la configuration suivante :

- La GoPro® 01 proche du plafond, derrière le patient afin de filmer l'ensemble de l'activité en plan large de l'espace de test (SmartFlat).
- La GoPro® 02 face au patient afin de pouvoir filmer son visage et l'activité de construction en gros plan.
- La GoPro® 03 à gauche du patient afin de filmer l'activité de construction de Lego en gros plan.

Les lunettes Tobii servent à étudier la direction du regard du participant, et à la restituer dans la scène enregistrée grâce à la caméra frontale. Une fois calibrées, elles permettent également d'afficher la direction du regard grâce à la présence d'une mire présente sur le logiciel propriétaire de visualisation de l'enregistrement des lunettes.

Si la participant porte des lunettes, les conditions d'emploi ne sont pas idéales, notamment en termes de calibration. Dans ce cas de figure, les lunettes Tobii sont tout de même utilisées afin d'avoir accès à la direction du regard. Toutefois, il ne pourra être fait d'analyse oculométrique fine.

Les pièces de lego sont toujours réparties dans des sacs transparents qui sont disposés sur l'espace de travail du patient selon l'ordre suivant (de gauche à droite) :

- Un sac de pièces blanches 2x6x1 (164 dont 144 sont nécessaires au montage)
- Un sac de pièces rouges 2x10x1 (52 dont 41 nécessaires au montage)
- Un sac de pièces plates beiges 2x1x5 (51 dont 48 sont nécessaires au montage) et de pièces plates grises 2x1x2 (4 supplémentaires)
- Un sac de pièces bleues 2x3x1 (40)
- Un sac d'arches grises 1x4x2 (12) et d'arches beiges 1x8x2 (8)
- Un sac de pièces jaunes et oranges non nécessaires au montage (plusieurs types différents)
- Un sac de corniches grises (66)
- Un sac de corniches blanches (78)
- Un sac de barrières beiges 1x4x2 (17 dont 16 sont nécessaires au montage), de barrière blanche 1x4x2 (1 supplémentaire) et de pièces beige 2x4x1 (2)
- Un sac de grands personnages blanc et or (5 dont 4 sont nécessaires au montage), de petits personnages gris (10 dont 8 sont nécessaires au montage), de flamme (1) et une brique grise ronde 2x2x1 (1)
- Un sac de pièces plates jaunes 1x1x5 (16) et de brique roses 1x2x1 (4)
- Un sac de pièces rouges 1x6x1 (12), de pièces marrons 1x8x1 (2) et de pièces vertes 1x10x1 (8 dont 6 sont nécessaires au montage)

- Un sac de plaques jaunes 2x8 (17), de plaques bleues 1x8 (2), de plaque ronde grise 6x6 (1) et de plaques noires (5 dont 4 sont nécessaires au montage)

La notice est posée sur la plaque de construction devant la chaise du patient (Annexe 4 - Figure 1)



Annexe 4 - Figure 1 : Disposition des éléments sur la table au début du test.

Méthode :

Avant d'installer le patient dans le SmartFlat, il faut le prévenir qu'il a une heure pour faire la construction. Il faut également préciser que l'important est de bien réaliser chaque étape plutôt que de terminer le montage afin de laisser le patient se comporter le plus naturellement possible. Une fois que le patient est installé devant le plan de travail, la consigne du test lui est donnée à l'oral.

Consignes orales donnée avant de commencer la construction

Ouvrir la notice à la page 1.

- Vous allez devoir construire le modèle de Lego suivant, l'arc de triomphe.

Passer à la page 2, avec la liste des pièces.

- Vous avez donc devant vous au moins toutes les pièces nécessaires pour faire le modèle.

Passer à la page 3, avec les explications de la notice.

Je vais vous expliquer comment la notice fonctionne :

Montrer l'encadré en haut à droite de la page.

- En haut à droite, vous avez un encadré qui vous indique la partie du montage que vous êtes en train de faire. Il y a donc le pylône gauche, l'arc central, le pylône droit, l'attique et les finitions.

Montrer le chiffre 1 en noir et blanc (puis, à mesure de l'explication, montrer les autres chiffres présents sur la page au fur et à mesure).

- Les chiffres en noir et blanc indiquent l'ordre de lecture des images sur la notice, car elle ne commence pas toujours en haut à gauche pour finir en bas à droite.

Montrer les flèches noires sur la notice.

- Les flèches noires indiquent qu'il faut empiler les pièces les unes sur les autres.

Montrer les lignes noires sur l'image suivante (2).

- Normalement, il devrait y avoir ensuite des lignes noires présentes sur la figure suivante afin de montrer l'empilement des pièces.

Montrer le X2 en rouge.

- Lorsqu'il y a un grand « fois un nombre », c'est que vous devez répéter ce que montrait les étapes de la page de la notice jusqu'à ce « nombre de fois »

Tourner les pages de la notice jusqu'à la page 7 et montrer le « 10 pièces bleues ».

- Lorsque vous voyez un nombre de pièces identiques indiqué sur une image, cela correspond au nombre de ces pièces présentes sur la figure et nécessaire à la construction.

Revenir à la page 3 de la notice et montrer l'encadré en haut à gauche de la page.

- Dans l'encadré en haut à gauche, vous avez représenté en miniature ce que vous devez construire et toutes les pièces qui sont nécessaires à cette construction.

- Je vais faire le premier module représenté sur la page. Ensuite, ce sera à votre tour de continuer tout seul.

Faire le montage du premier module (image 1 à 4 de la page 3) et expliquer en même temps.

- Comme vous pouvez le voir, ce sont des Lego tout ce qu'il y a de plus classique, ils s'empilent les uns sur les autres.

Poser le premier module sur la plaque devant le patient.

- Le but du test étant que vous le fassiez le plus en autonomie possible, que vous fassiez comme si je n'étais pas là, néanmoins, si vous avez des questions, j'y répondrai. De plus, si jamais je constatais qu'il y a un problème de compréhension de la notice, j'interviendrai pour vous aider ou vous corriger.

- Avez-vous des questions ? *(Si oui, y répondre le plus simplement possible)*

- Une fois que vous prendrez une pièce, je lance le chronomètre et vous avez une heure.

Déclencher le chronomètre à partir du moment où le patient prend une pièce

Une fois que le patient a commencé, il ne faut pas hésiter à lui préciser que la notice est très détaillée et qu'il ne faut pas hésiter à tourner les pages.

De plus, à l'étape 37, il faut préciser au patient que les pièces sont très instables et donc donner comme conseil qu'il serait plus simple de faire le montage à l'horizontal.

S'il y a des aides manuelles qui sont prodiguées lors des étapes de construction de l'arc central, il ne faut pas les compter comme « aide au patient » dans le relevé d'erreur.

Lorsque le patient arrive jusqu'à l'étape 117, il faut préciser que les 6 pièces représentant l'accès à la terrasse de l'Arc sont centrées au sommet de la construction selon l'axe de X et des Y.

Relevé des erreurs pendant le test

Le relevé des erreurs ne peut se faire qu'en fonction des actions prescrites par la notice, tout ce qui n'y est pas explicitement précisé ne peut donc pas être considéré comme une erreur.

Ainsi, par exemple, le fait de préparer ou pas toutes les pièces en avance n'est pas une erreur.

Tout comme le placement exact des pièces de lego, en effet, si le patient obtient la même chose que sur l'image finale, le montage est considéré sans erreur car cela peut faire partie des habitudes de construction de lego (par exemple, croiser ou non les pièces lors des étapes 11 à 14 / 33 à 36 / 66 à 70 / 91 à 95 / 108 à 114).

Les erreurs sont relevées une première fois lorsque la ou les erreurs sont constatées et que le patient continue son action sans correction spontanée ou qu'il passe à l'étape suivante.

Si, à la suite de la correction donnée par l'opérateur, le patient ne se corrige pas, la ou les erreurs sont à comptabiliser une seconde fois.

Lors du relevé des erreurs, la distinction entre les erreurs de type addition et omission et de type erreur d'estimation doit se faire sur la qualité et le nombre d'action effectuée :

- Si l'action est faite mais avec le mauvais nombre de pièce, l'erreur doit être comptabilisée comme une « erreur d'estimation »
- Si l'action correspond à un assemblage excédentaire, l'erreur doit être comptabilisée comme une « addition »
- Si l'action correspond à un assemblage manquant complet, l'erreur doit être comptabilisée comme une « omission »

L'addition et l'omission sont donc prioritaire sur l'erreur d'estimation car elles l'impliquent forcément. Donc, hormis le cas où une action comporte clairement une erreur de chaque type, une seule erreur doit être prise en compte.

La différenciation entre erreurs doit être fait en prenant en compte le contexte des étapes précédentes et suivantes. Cette mise en perspective doit notamment être faite pour différencier les « omissions » des « substitutions ».

Lors du relevé des commentaires et questions du patient, seul la prise de parole initiale est à comptabiliser dans l'erreur, la suite de l'échange entre le patient et l'opérateur est à comptabiliser comme une intervention de l'opérateur. Mais si le patient pose une question ou fait un commentaire dans un nouvel univers de référence, un nouvel ensemble de « commentaire et question – intervention de l'opérateur » doit être comptabilisé.

Correction de l'opérateur : les corrections de l'opérateur doivent s'adapter au patient et ne peuvent donc pas être parfaitement standardisées.

Le premier facteur à prendre en compte est l'aisance et la rapidité d'exécution du patient face à la tâche, plus le patient est rapide, moins la réponse doit être précipitée car le patient est susceptible de se rendre compte de ses erreurs par lui-même lorsqu'il arrive à la fin de l'étape.

Le second facteur à prendre en compte est la volonté du patient sur les corrections, si le patient semble accepter les corrections facilement, les corrections peuvent être faites plus rapidement. Si à l'inverse, le patient ne les accepte pas facilement, les corrections ne doivent être faites que si le montage global serait impacté.

Lorsqu'une erreur est observée par l'opérateur, il ne faut pas la corriger directement, mais poser au patient la question suivante :

« Etes-vous sûr de vous ? »

En effet, cela permet de qualifier les erreurs de vérification et d'absence de prise en compte du contexte. Si le patient, après la question, se corrige, c'est qu'il n'avait pas eu une stratégie de vérification efficace mais, si le patient, après la question dit qu'il est sûr et continu, c'est qu'il y a non-respect du contexte et des consignes.

Si après ce premier signalement non spécifique, le patient ne se corrige pas, l'opérateur peut donc expliciter l'erreur exacte au patient.

La cotation des erreurs reprend celle décrite par Chevignard (2008) :

Erreurs « Descriptives »

Addition : toute action (ou séquence d'actions) additionnelle par rapport au nombre minimum d'actions nécessaires pour mener à bien la tâche telles que décrites par la notice (il est à noter que si le patient reproduit le placement des pièces autour de la construction, comme montré sur la notice, lors de la prise de pièces pour l'assemblage, l'action n'est pas à compter comme une addition).

Est notamment considéré comme une addition :

- Le rangement des pièces nécessaire à la suite de la construction lorsqu'elles ont été sorties correctement au préalable.
- L'assemblage ou la manipulation de pièces non nécessaire au module en construction.
- L'action de démonter un module de pièces correctement assemblées au préalable.
- L'action de déplacer un module de pièces correctement positionné au préalable.
- L'action de dupliquer l'ensemble des images de la notice plutôt que d'assembler les pièces.
- L'action de manipuler les sacs de pièces, ou les pièces sorties, sans but apparent.
- La persévérance d'une action pendant la correction de l'opérateur.
- Le fait de retirer les capteurs portés par le patient pendant le test

Omission : toute action (ou séquence d'actions) normalement requise par la tâche, qui est soit totalement omise, soit inachevée avant de passer à l'étape suivante.

Est notamment considéré comme une omission :

- La non-initiation de la tâche (que ça soit le début d'une étape, le fait de passer à l'étape suivante ou le fait d'initier la construction après la fin de l'explication des consignes) au bout d'une minute, sans interaction avec l'opérateur (de type commentaire ou question ou une intervention spontanée de l'opérateur), ou nécessitant une relance de l'opérateur pour initier l'action.
- Le non-achèvement ou l'abandon de la tâche ou d'un assemblage.
- La délégation de l'action à l'opérateur

Commentaires et questions : toutes les questions, les demandes d'aide et les commentaires à l'initiative des sujets adressés directement à l'examineur dans la pièce ou à une personne à l'extérieure, dans la salle de contrôle par exemple (il est à noter que toutes les verbalisations spontanées qui sont faites par le patient pour lui-même ne sont pas à prendre en compte).

Cependant, lors des verbalisations spontanées, si le patient énonce une erreur descriptive, elle est à relever et prendre en compte.

Est également considéré comme un commentaire ou une question :

- Les demandes de validation verbale et/ou non verbale de l'action

Ne sont pas à prendre en compte les échanges à l'initiation de l'opérateur.

Substitution et inversion : Toute action (ou séquence d'actions) réalisée en dehors du cadre temporel où elle est censée se dérouler (il est à noter que certaines actions pourraient être comptabilisée dans cette catégorie mais reflètent en fait de l'anticipation – exemple le placement de l'arche bleue et rouge (entre l'étape 76 et 77 car la construction est symétrique entre les 2 pylônes – ce qui n'est pas à comptabiliser comme une erreur)).

Est notamment considéré comme une substitution :

- Le montage du second pilier en parallèle du premier.
- Le montage de pièces sur un module dont une partie aurait dû être montée avant le montage en cours.

Erreur d'estimation : mauvaise estimation des quantités de pièces, du type de pièces, du lieu d'assemblage.

Les erreurs d'estimation du nombre de pièces sont à prendre en compte de la manière suivante pour la construction du modèle de lego® :

- Le patient prends les pièces qu'il juge nécessaire. Il a alors toute latitude pour changer les pièces choisies sans que cela soit considéré comme une erreur.
- A partir du moment où le patient commence à utiliser les pièces choisies, s'il y a une erreur du type pièces, elle doit être comptabilisée.
- Une fois que le patient a fini d'utiliser les pièces choisies et passe à l'étape suivante, s'il y a une erreur de quantité de pièces, elle doit être comptabilisée.

Est notamment considéré comme une erreur d'estimation :

- La persistance de la manipulation des pièces lorsqu'elles ne sont pas dans le bon sens ou que l'assemblage est impossible.
- Le mauvais placement des pièces sur le montage
- L'usage d'un nombre de pièces erroné
- L'usage d'un type de pièces non adapté ou différent de la consigne

Le placement initial du module de lego après l'étape 7 sur la plaque de construction n'est pas a considéré comme une erreur (de même que l'intervention de l'opérateur pour lui indiquer la « meilleure » façon de faire en fonction de l'endroit où le patient l'a placé au départ).

Lors de la construction des finitions, si les pièces excédentaires ne sont pas rangées immédiatement, mais à la fin du test, il n'y a pas d'erreurs d'estimation à comptabiliser.

Points saillants : lors de la construction du modèle, il y a plusieurs étapes présentant des points saillants qui sont indicateurs de l'attention portée aux détails et pour lesquelles il faut noter s'il y a bien eu prise d'information visuelle par le système tobii lors de l'analyse. Elles sont dispersées tout au long de l'épreuve pour mesurer une baisse attentionnelle ou un effet d'entraînement au cours du test :

- Lors des étapes 29 à 32
 - Sur la figure 30 : le dépassement des corniches grises
 - Sur la figure 32 : le dépassement des corniches blanches
- Lors des étapes 41 à 46 :
 - Sur la figure 46 : le dépassement des corniches blanches
- Lors des étapes 49 à 52 :
 - Le placement des corniches blanches à l'intérieur des arches beiges
- Lors des étapes 86 à 89
 - Sur la figure 87 : le dépassement des corniches grises
 - Sur la figure 89 : le dépassement des corniches blanches

- Lors des étapes 101 à 104
 - Sur les figures 102 et 103 : le placement des corniches grises
 - Sur la figure 104 : le placement des corniches blanches

Il y a donc, à chacune de ces étapes, un marqueur à relever.

Si le patient se trompe au niveau de ces marqueurs, l'erreur à comptabiliser comme une erreur d'estimation.

Erreurs « Neuropsychologiques »

Les erreurs « neuropsychologiques » correspondent à une interprétation a posteriori des erreurs descriptives lorsque cela est faisable. Ainsi, une action doit être catégorisée premièrement en erreur « descriptive » puis, si c'est nécessaire et possible, en erreur « neuropsychologique ».

Erreur de vérification : vérification inefficace de la qualité des actions effectuées, à l'extrême, cela peut être responsable de l'absence de réalisation du but (retour à la notice observable (mouvement de la tête) mais sans correction de l'erreur).

Absence de prise en compte du contexte : évaluation erronée de l'environnement tel que le non-respect des consignes, du cadre défini par la tâche ou de la notice (le fait de faire 2 fois les étapes 1 à 4 est un exemple de ce type d'erreur, tout comme le fait de ne pas faire attention aux point saillants définis plus tôt).

Adhérence à l'environnement : action exécutée par adhérence du patient à un objet, à une étape telle que l'ajout de pièces au modèle car il y en a qui sont disponibles ou continuer la construction du deuxième pylône là où il a été posé sur la plaque de construction.

Errance et perplexité : comportement produit sans but apparent, ne contribuant pas à faire progresser l'action, comportement d'inertie.

Demande d'aide : toute question ou demande d'aide du patient, qu'elle soit adressée à un l'examineur ou à une personne extérieure.

Trouble du comportement : tout comportement socialement inadapté ou dangereux.

Autre action

Toutes actions qui ne rentrent pas dans les catégories décrites précédemment ou qui correspondent à des manies ou des manières de faire individuelle mais qui sont notables.

Ces actions ne sont pas à comptabiliser comme des erreurs mais permettent de noter la variabilité interindividuelle lorsque c'est nécessaire.

Annexe 5 : Catalogue vidéo des erreurs

Annexe 5.1 : Addition

Annexe 5.2 : Commentaires et questions

Annexe 5.3 : Erreur d'Estimation

Annexe 5.4 : Omission

Annexe 5.5 : Substitution et Inversion

Annexe 5.6 : Manuel explicatif du catalogue vidéo des erreurs

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/DmkHiyX2fXkCR4K>

QR Code :



Annexe 6 : Données brutes de l'analyse des performances durant l'ATCT

Désignation	BNP	Pathologie	Etape atteinte	Addition	Commentaire et question	Erreur d'estimation	Omission	Substitution et inversion	Nombre total d'erreurs	Trouble du comportement	Score agrégé
Patient 1	Symptomatique	LPR	10	3	24	14	8	0	49	0	0,698970004
Patient 2	Symptomatique	LPR	76	1	15	12	4	0	32	0	-0,362299652
Patient 3	Symptomatique	TC	67	1	6	22	10	1	40	0	-0,213290946
Patient 4	Symptomatique	LPR	36	4	41	19	6	0	70	0	0,294955848
Patient 5	Symptomatique	TC	112	0	15	8	0	0	23	0	-0,669006781
Patient 6	Symptomatique	TC	97	1	10	14	8	0	33	0	-0,455292817
Patient 7	Paucisymptomatique	TC	131	0	0	0	1	0	1	0	-1,8162413
Patient 8	Symptomatique	TC	76	6	0	10	1	0	17	0	-0,625541087

Patient 9	Symptomatique	TC	131	0	11	2	3	0	16	0	-0,886822374
Patient 10	Symptomatique	TC	36	5	48	7	7	0	67	0	0,276206412
Patient 11	Symptomatique	TC	36	7	8	7	2	0	24	0	-0,158362492
Patient 12	Symptomatique	LPR	27	8	34	8	9	0	59	0	0,346787486
Patient 13	Symptomatique	TC	71	4	30	14	3	0	51	0	-0,135255005
Patient 14	Symptomatique	TC	98	3	16	2	1	0	22	0	-0,62949824
Patient 15	Symptomatique	TC	131	0	14	4	2	0	20	0	-0,795052001
Patient 16	Paucisymptomatique	TC	131	0	5	4	1	0	10	0	-1,07587861
Patient 17	Symptomatique	TC	95	0	8	4	2	0	14	0	-0,801632346
Patient 18	Symptomatique	LPR	22	11	13	8	11	0	43	0	0,301029996
Patient 19	Symptomatique	LPR	78	1	11	1	0	0	13	0	-0,745966567
Patient 20	Symptomatique	LPR	54	1	22	15	3	0	41	0	-0,109144469
Patient 21	Symptomatique	LPR	15	9	36	10	7	0	62	0	0,62324929

Patient 22	Symptomatique	TC	47	1	45	10	6	0	62	0	0,127242692
Patient 23	Symptomatique	LPR	7	24	46	17	9	0	96	0	1,141673694
Patient 24	Symptomatique	TC	95	1	17	11	2	0	31	0	-0,472573627
Patient 25	Symptomatique	LPR	54	0	40	8	1	0	49	0	-0,033423755
Patient 26	Symptomatique	TC	131	1	23	5	1	1	31	1	-0,612121317
Patient 27	Symptomatique	LPR	47	2	66	18	9	7	102	0	0,340739367
Patient 28	Symptomatique	TC	131	2	10	4	0	0	16	0	-0,886822374
Patient 29	Symptomatique	LPR	26	9	82	23	12	0	126	0	0,688830373
Patient 30	Symptomatique	LPR	36	1	7	10	1	0	19	0	-0,255272505
Patient 31	Paucisymptomatique	TC	131	0	8	7	0	0	15	0	-0,913151313
Patient 32	Symptomatique	LPR	36	6	54	21	6	0	87	0	0,388180171
Patient 33	Paucisymptomatique	TC	115	0	1	5	0	0	6	0	-1,2155998

Patient 34	Symptomatique	TC	124	4	7	15	3	3	32	0	-0,574907745
Patient 35	Symptomatique	LPR	95	3	22	28	3	0	56	0	-0,22184875
Patient 36	Symptomatique	TC	118	4	13	18	3	0	38	0	-0,4808174
Patient 37	Paucisymptomatique	TC	131	1	2	5	0	0	8	0	-1,163028786
Patient 38	Paucisymptomatique	TC	131	0	4	1	0	0	5	0	-1,339120045
Patient 39	Paucisymptomatique	TC	101	0	13	7	0	1	21	0	-0,661898693
Patient 40	Symptomatique	LPR	36	1	42	26	8	0	77	0	0,335792102
Patient 41	Paucisymptomatique	TC	131	1	2	5	1	0	9	0	-1,117271296
Patient 42	Symptomatique	LPR	10	17	26	16	15	0	74	0	0,875061263
Patient 43	Paucisymptomatique	TC	125	0	1	8	0	0	9	0	-1,096910013
Patient 44	Symptomatique	TC	101	1	25	6	0	0	32	0	-0,485807434

Patient 45	Paucisymptomatique	TC	131	1	7	8	1	0	17	0	-0,861998791
Patient 46	Symptomatique	TC	115	1	26	8	1	0	36	0	-0,492496116
Patient 47	Symptomatique	TC	130	2	4	2	7	0	15	0	-0,90982337
Patient 48	Symptomatique	TC	101	2	2	8	1	0	13	0	-0,858193338
Patient 49	Symptomatique	TC	107	3	2	11	2	0	18	0	-0,750630177
Patient 50	Symptomatique	TC	111	1	0	2	0	0	3	0	-1,443262987
Patient 51	Symptomatique	TC	107	1	3	6	0	0	10	0	-0,987991093
Patient 52	Symptomatique	LPR	124	0	6	9	5	0	20	0	-0,77120239
Patient 53	Symptomatique	TC	63	1	25	16	3	0	45	0	-0,136582718
Patient 54	Symptomatique	TC	23	3	17	2	8	0	30	0	0,129633858
Patient 55	Paucisymptomatique	TC	116	0	0	0	0	0	0	0	-2,064457989
Patient 56	Symptomatique	TC	131	1	1	2	2	0	6	0	-1,272173256

Patient 57	Symptomatique	LPR	76	1	5	14	4	0	24	0	-0,482873584
Patient 58	Symptomatique	TC	96	3	2	12	7	0	24	0	-0,584331224
Patient 59	Symptomatique	TC	120	3	0	10	0	0	13	0	-0,93305321
Patient 60	Symptomatique	TC	109	4	9	10	1	0	24	0	-0,639486489
Patient 61	Symptomatique	TC	104	3	1	10	0	0	14	0	-0,84094208
Patient 62	Symptomatique	LPR	26	8	89	20	8	0	125	0	0,685397197
Patient 63	Paucisymptomatique	TC	118	1	3	2	0	0	6	0	-1,226783967
Sujet contrôle 1	Contrôle	Contrôle	131	0	9	3	0	0	12	0	-1,003327943
Sujet contrôle 2	Contrôle	Contrôle	131	1	1	1	0	0	3	0	-1,515211304
Sujet contrôle 3	Contrôle	Contrôle	131	0	5	5	1	0	11	0	-1,03809005
Sujet contrôle 4	Contrôle	Contrôle	131	0	7	2	0	0	9	0	-1,117271296
Sujet contrôle 5	Contrôle	Contrôle	131	0	0	2	0	0	2	0	-1,640150041
Sujet contrôle 6	Contrôle	Contrôle	131	0	3	5	0	0	8	0	-1,163028786

Sujet contrôle 7	Contrôle	Contrôle	131	0	1	2	0	0	3	0	-1,515211304
Sujet contrôle 8	Contrôle	Contrôle	131	0	1	0	1	0	2	0	-1,640150041
Sujet contrôle 9	Contrôle	Contrôle	131	0	5	0	0	0	5	0	-1,339120045
Sujet contrôle 10	Contrôle	Contrôle	131	0	0	3	0	0	3	0	-1,515211304
Sujet contrôle 11	Contrôle	Contrôle	131	0	4	0	0	0	4	0	-1,418301291
Sujet contrôle 12	Contrôle	Contrôle	114	0	6	3	0	0	9	0	-1,056904851
Sujet contrôle 13	Contrôle	Contrôle	104	0	2	7	0	0	9	0	-1,017033339
Sujet contrôle 14	Contrôle	Contrôle	131	1	2	2	0	0	5	0	-1,339120045
Sujet contrôle 15	Contrôle	Contrôle	131	0	7	5	0	0	12	0	-1,003327943
Sujet contrôle 16	Contrôle	Contrôle	131	1	6	1	0	0	8	0	-1,163028786
Sujet contrôle 17	Contrôle	Contrôle	131	0	2	5	0	0	7	0	-1,214181309
Sujet contrôle 18	Contrôle	Contrôle	131	0	6	0	0	1	7	0	-1,214181309
Sujet contrôle 19	Contrôle	Contrôle	131	2	4	4	0	0	10	0	-1,07587861
Sujet contrôle 20	Contrôle	Contrôle	131	3	2	3	0	0	8	0	-1,163028786
Sujet contrôle 21	Contrôle	Contrôle	119	0	1	2	0	0	3	0	-1,47348697

Sujet contrôle 22	Contrôle	Contrôle	76	0	3	5	0	1	9	0	-0,880813592
Sujet contrôle 23	Contrôle	Contrôle	85	1	3	3	0	0	7	0	-1,026328939
Sujet contrôle 24	Contrôle	Contrôle	102	0	2	1	0	0	3	0	-1,40654018
Sujet contrôle 25	Contrôle	Contrôle	131	0	0	4	1	0	5	0	-1,339120045
Sujet contrôle 26	Contrôle	Contrôle	95	0	0	4	0	0	4	0	-1,278753601
Sujet contrôle 27	Contrôle	Contrôle	131	0	5	0	1	0	6	0	-1,272173256
Sujet contrôle 28	Contrôle	Contrôle	131	0	0	0	0	0	0	0	-2,117271296
Sujet contrôle 29	Contrôle	Contrôle	131	0	0	1	0	0	1	0	-1,8162413
Sujet contrôle 30	Contrôle	Contrôle	131	0	0	1	0	0	1	0	-1,8162413
Sujet contrôle 31	Contrôle	Contrôle	131	0	4	4	0	0	8	0	-1,163028786

Annexe 7 : Données brutes de l'analyses des fixations durant quatre ensembles d'étapes d'intérêt de l'ATCT

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/9PcWEFji5KYNdji>

QR Code :



Annexe 8 : Matrices de transition issues de l'analyses des fixations durant quatre ensembles d'étapes d'intérêt de l'ATCT

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/RDsmeNjmMKqWx7o>

QR Code :



Annexe 9 : Protocole de passation de l'étude de modélisation de l'activité de codage d'une observation assistée par ordinateur

Matériel :

Le matériel nécessaire de l'étude comprenait :

- La consigne donnée au départ de la passation
- La grille d'analyse de l'ATCT
- Un extrait vidéo anonymisée d'une passation de patient
- Les pages de la notice correspondant aux étapes réalisées par le patient durant l'extrait vidéo
- Le logiciel BORIS en version 7.10.2
- Une GoPro Hero 5 Black ®

La GoPro était positionnée devant le clavier et filmait l'écran et le clavier de l'ordinateur

Méthode :

Consignes orales donnée avant de commencer la passation

Bonjour,

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à cette étude. Elle porte sur **la modélisation de l'expertise de codage de données vidéo en ergonomie**. Elle part du constat que de nombreux ergonomes utilisent des logiciels de codage vidéo (Actograph, the Observer, etc.). Nous souhaitons contribuer à une réflexion en cours sur l'avenir de ces outils.

Pour cela, nous allons vous demander de réaliser une tâche de codage d'un enregistrement vidéo d'activité. Nous allons d'abord vous fournir quelques éléments d'information sur le contexte de recueil de ces données, ainsi que sur la grille d'analyse que vous allez utiliser, qui est déjà construite. Ensuite, nous allons vous laisser le champ libre. Vous aurez vingt minutes pour réaliser le codage de cet extrait. Pour cela, vous utiliserez un logiciel libre, BORIS, qui a les mêmes fonctions que Actograph ou the Observer. Alors que vous utiliserez ce logiciel, l'écran sera enregistré, de même que vos paroles. Cet enregistrement permet de conserver une trace objective de vos interactions avec l'outil et de vos propos, en vue de réaliser la modélisation qui nous intéresse. Pour vous aider à verbaliser votre activité, nous utiliserons deux techniques bien connues des ergonomes : la technique des protocoles verbaux, qui consiste pour vous à dire « tout ce que vous penserez, au moment où vous le penserez » ; et la technique du pourquoi comment : j'interviendrai parfois pour vous poser des questions sur pourquoi ou comment vous avez réalisé tel choix pour le codage.

Si vous n'avez pas de questions, je vais maintenant passer à la description du matériel sur lequel vous allez travailler.

L'enregistrement vidéo

L'enregistrement que vous allez voir a été réalisé dans le cadre d'une étude visant à proposer un nouvel outil de diagnostic pour des troubles des fonctions exécutives. Il existe aujourd'hui de nombreux tests neuropsychologiques pour réaliser ce type de diagnostic. Leur principal inconvénient est qu'ils utilisent des tâches « de laboratoire ». Nous avons constitué un test reposant sur la construction d'un édifice en Lego® (l'Arc de Triomphe). Cette tâche est fortement prescrite : le participant doit réaliser précisément un enchaînement de x tâches, représentées sur la notice dont je vais vous présenter une partie. Vous pourrez accéder à ce document tout au long de la tâche.

La grille d'observations

Le diagnostic repose sur le repérage, dans cet extrait, d'un ensemble d'**erreurs** qui sont, en fait, des écarts à la tâche prescrite. Je vais vous inviter maintenant à prendre connaissance de la feuille qui est posée face à vous.

Le logiciel BORIS

Je vais maintenant vous inviter à regarder l'écran, où est ouvert le logiciel BORIS. Dans la partie supérieure de l'écran, vous voyez la vidéo que vous allez coder. En bas à droite, vous pouvez voir la grille d'observation indiquant les raccourcis clavier pour chacune des catégories. Pour coder un observable dans une catégorie, il vous suffit d'appuyer sur le raccourci clavier associé. En haut à droite, vous pouvez voir la liste des observations. Chaque fois que vous observerez un événement d'une catégorie donnée et le coderez, celui-ci apparaîtra dans cette liste. Pour vous entraîner, je vais maintenant vous inviter à vous rendre au temps $t = 04\text{min } 15$ secondes et d'y ajouter événement de la catégorie « commentaires et questions » (touche raccourci : q). Vous rajouterez un autre marqueur au temps $t = 4 \text{ min } 19\text{s}$, de la même catégorie (touche raccourci : q). Pour toutes les autres catégories, vous n'aurez à appuyer qu'une seule fois sur la touche raccourci.

Démarrage

A présent que je vous ai expliqué le fonctionnement du logiciel, avez-vous des questions ? Sinon, nous allons pouvoir commencer. N'oubliez pas, je vais vous demander de raisonner, autant que possible, à voix haute en réalisant ce codage.

Annexe 10 : Retranscription des passations réalisé pour l'étude de modélisation

Annexe 10.1 : Retranscription du Participant 1

Annexe 10.2 : Retranscription du Participant 2

Annexe 10.3 : Retranscription du Participant 3

Annexe 10.4 : Retranscription du Participant 4

Annexe 10.5 : Retranscription du Participant 5

Annexe 10.6 : Retranscription du Participant 6

Annexe 10.7 : Retranscription du Participant 7

Annexe 10.8 : Retranscription du Participant 8

Lien Serveur Centre Borelli :

<https://kiwi.cmla.ens-cachan.fr/index.php/s/wRpbfdQDjQ4riC>

QR Code :



