



Outils numériques dans l'apprentissage de la conception mécanique : analyse des liens entre représentations externes et capacités visuo-spatiales dans le processus de conception

Sylvain Agbanglanon

► To cite this version:

Sylvain Agbanglanon. Outils numériques dans l'apprentissage de la conception mécanique : analyse des liens entre représentations externes et capacités visuo-spatiales dans le processus de conception. Education. Université de Cergy Pontoise, 2019. Français. NNT : 2019CERG1013 . tel-02623908

HAL Id: tel-02623908

<https://theses.hal.science/tel-02623908>

Submitted on 26 May 2020

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.



École doctorale n° 284
Unité de recherche : Laboratoire BONHEURS – EA 7517

Thèse de doctorat

Présentée en vue de l'obtention du grade de
docteur en Sciences de l'éducation
de
UNIVERSITÉ CERGY-PONTOISE

par
Sylvain Luc Agbanglanon

Outils numériques dans l'apprentissage de la conception
mécanique : analyse des liens entre représentations
externes et capacités visuo-spatiales dans un processus de
conception

Dirigée par Vassilis Komis

Le 18 décembre 2019

Devant le Jury composé de :

Pascale Brandt Pomares	Professeure des universités, Université d'Aix Marseille	Présidente
Rodica Ailincăi	Professeure des universités, Université de Polynésie Française	Rapporteuse
Georges Louis Baron	Professeur émérite, Université Paris Descartes	Rapporteur
Bernard Coulibaly	Maître de Conférences HDR, Université de Haute Alsace	Examineur
Vassilis Komis	Professeur des universités, Université de Patras	Directeur de thèse

REMERCIEMENTS

Je voudrais, tout d'abord, adresser mes vifs remerciements à mon directeur de thèse, le Pr Vassilis Komis, pour son soutien constant. Ses conseils avisés et ses remarques suscitant un questionnement permanent, ont permis de mener ce travail à terme.

Je tiens également à remercier le Pr Alain Jaillet, titulaire de la chaire UNESCO « Francophonie et révolution des savoirs : éducation et connaissances à l'ère du numérique et des réseaux internationaux », pour sa capacité à manager les hommes de manière à tirer d'eux le meilleur. La pression est certes quelquefois difficile à supporter, mais les remarques bien à propos produisent toujours des remises en question fructueuses.

Je remercie particulièrement la Pr Rodica Ailincăi, ainsi que le Pr émérite Georges Louis Baron, pour avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail. Pour leur participation à ce jury, me faisant l'honneur d'évaluer ce travail, j'exprime ma gratitude à la Pr Pascale Brandt Pomares et à M. Bernard Coulibaly, Maître de Conférences HDR.

Que la direction et les membres du Laboratoire BONHEURS trouvent, à travers ces quelques lignes, mes remerciements pour la mise en place d'un dispositif recréant une bonne ambiance de travail et réduisant la distance spatiale. Un merci spécial à Fatiha pour l'efficacité dont elle a fait montre, facilitant les démarches avec une remarquable discrétion. Merci à Charlène qui prend le relais.

Pour m'avoir permis de déployer mon dispositif expérimental dans leurs établissements, je voudrais remercier les directeurs du centre pour l'entrepreneuriat et le développement technique (CEDT), du centre de formation professionnelle et technique (CFPT) et de l'école polytechnique de Thiès (EPT). Que les apprenants ayant accepté de participer à cette recherche soient ici chaleureusement remerciés.

À mes camarades doctorants, ces quelques mots couchés sur cette page n'exprimeront jamais assez ma reconnaissance pour le soutien que vous m'avez apporté. Que tous soient ici remerciés sans exception.

Du côté de Patras, je ne saurais oublier Sevastiani Touloupaki (Sévina) et Andromahi Filippidi, pour leur précieuse assistance lors de mes séjours en Grèce.

Merci à Evelyne pour son soutien indéfectible, à Audrey, Stéphanie et Denis pour avoir su, les uns auprès des autres, combler les vides durant mes absences.

RÉSUMÉ

Dans une activité co-localisée de conception mécanique engageant des apprenants, les actions entreprises et les représentations externes que mobilisent ces derniers sont-elles liées à leurs capacités visuo-spatiales ? À travers cette question, notre étude explore les caractéristiques du processus en cours dans l'activité collaborative co-localisée de conception mécanique en relation avec les capacités visuo-spatiales des apprenants et les attributs des représentations externes qui y sont mises à contribution. Nous abordons la question dans une visée descriptive en analysant la situation sous un prisme s'inspirant de la cognition distribuée. Ainsi, nous retenons une dimension sociocognitive individuelle et une dimension sociotechnique interactionnelle. La première est relative aux attributs des agents humains et la seconde aux interactions interhumaines et à celles des humains avec les représentations externes dans la situation. Ce travail s'appuie sur la mesure des capacités visuo-spatiales de 63 apprenants Sénégalais en électromécanique, de niveau bac+2 et bac+5, par le biais de tests. Les caractères sociodémographiques de ces derniers, les particularités liées à leur parcours éducatif et la maîtrise qu'ils ont des outils numériques de modélisation graphique sont recueillis par le biais d'un questionnaire. À ces éléments s'ajoutent les enregistrements vidéo de l'activité collaborative de six dyades engagées dans la conception de solutions d'amélioration d'un système mécanique existant. La mise à contribution de tests de comparaison de Wilcoxon et de Kruskal-Wallis, appliqués aux éléments issus de l'encodage des vidéos et des résultats aux tests de capacités spatiales, nous permet d'avancer des éléments descriptifs de la situation. L'échantillon étudié présente une caractéristique notable : les apprenants ayant obtenu le baccalauréat ont des scores de visualisation spatiale plus élevés comparés à ceux qui ont eu un brevet de technicien comme diplôme secondaire. Les résultats montrent que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps dans les actions de représentation de solutions et dans celles visant la compréhension du problème et des solutions. Par contre, les actions liées à l'évaluation des solutions et à l'incitation à la genèse de solutions sont plus le fait des apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus élevés. Dans le recours aux représentations externes sur supports numériques ou stéréoscopiques, les durées investies par les apprenants à capacités spatiales élevées sont supérieures à celles investies par des apprenants dont les capacités spatiales sont plus faibles, qui y recourent plus tôt. Cependant, il n'est pas noté de différence significative quant à la mise à contribution de représentations externes planes et sur papier.

Mots clés : capacités spatiales, représentations externes, apprentissage de la conception mécanique, modeleurs numériques, processus de conception, actions de conception, résolution de problème.

ABSTRACT

In a co-located mechanical design activity involving learners, are the actions undertaken and the external representations mobilized related to their spatial skills? Through this question, our study explores the characteristics of the ongoing process in the co-located collaborative mechanical design activity in relation to the spatial skills of the learners and the characteristics of the external representations with which they interact. We address the question in a descriptive aim by analyzing the situation under a prism inspired by distributed cognition. Thus, we retain an individual socio-cognitive dimension and an interactional socio-technical one. The first relates to human agent's traits and the second to human interactions, including the ones with external representations. This work is based on test measurement of spatial skills of 63 Senegalese, bachelor and graduate level students in mechanical engineering. The socio-demographic characteristics of students, those related to their educational background and their mastery of computer aided modeling tools are collected using a survey. To these elements are added the video recordings of the collaborative activity of six dyads involved in the design of improving solutions for an existing mechanical system. Wilcoxon and Kruskal-Wallis comparison tests, applied to the data, allow us to give a description of the studied situation. One notable feature of the sample studied is that learners who graduated from high school had higher spatial visualization scores compared to those who had a technician's certificate. The results show that learners with the weakest spatial abilities are more involved in solution drawing and in actions aimed at understanding the problem and solutions. On the other hand, the actions related to the evaluation of solutions and the ones inciting solution genesis are more the fact of learners with the highest spatial visualization scores. In the use of external representations on digital and stereoscopic media, the durations invested by learners with high spatial abilities are higher than those of learners whose spatial abilities are lower, although these latter use them earlier. However, there is no significant difference in the durations of non-spatial and paper-based external representations' use.

Keywords: spatial ability, external representations, engineering design education, CAD tools, design process, design actions, problem solving.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	i
INTRODUCTION	1
Chapitre 1. APPRÉHENSION ET APPRENTISSAGE DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE	7
1.1. Qu'est ce que la conception mécanique ?	7
1.2. Théorisation de la conception : typologies	10
1.2.1. <i>Classification de Dixon et Finger</i>	10
1.2.2. <i>Classification de Wynn & Clarkson</i>	11
1.3. Les principaux modèles théoriques en conception : concepts fondateurs	12
1.3.1. <i>Le modèle de Archer</i>	12
1.3.2. <i>Le modèle de March</i>	12
1.3.3. <i>Le modèle de Jones</i>	12
1.3.4. <i>Le modèle de l'association des ingénieurs allemands VDI 2221</i>	13
1.3.5. <i>Le modèle de Cross</i>	13
1.3.6. <i>Le modèle de French</i>	13
1.3.7. <i>L'approche systématique de Pahl et Beitz</i>	14
1.3.8. <i>La théorie de résolution des problèmes inventifs ou TRIZ</i>	14
1.3.9. <i>La conception axiomatique (Axiomatic design)</i>	15
1.3.10. <i>Le modèle FBS de Gero et ses variantes</i>	16
1.3.11. <i>La CK Theory de Hatchuel et Weil</i>	17
1.4. Évolutions : de la conception réglée vers la conception créative	19
1.5. Appréhensions de l'activité de conception : de Simon à l'ergonomie cognitive	19
1.6. La conception mécanique à travers l'apprentissage de la technologie	20
1.6.1. <i>Du primaire au secondaire</i>	21
1.6.2. <i>Au niveau supérieur</i>	23
1.7. Synthèse du chapitre 1	25
Chapitre 2. CAPACITÉS VISUO-SPATIALES, APPRENTISSAGE ET REPRÉSENTATIONS EXTERNES : ÉTAT DES RECHERCHES	27
2.1. Développement des capacités spatiales et intelligence spatiale	27
2.2. La théorie des capacités cognitives de Cattell-Horn-Carroll	27
2.3. Capacités visuo-spatiales : définitions	28
2.4. Mesure de la visualisation spatiale	29
2.5. Relations entre capacités visuo-spatiales et apprentissage	30

2.5.1.	<i>Malléabilité des capacités visuo-spatiales</i>	30
2.5.2.	<i>Capacités visuo-spatiales et réussite en sciences et technologie</i>	31
2.6.	Représentations externes et outils numériques en conception	33
2.6.1.	<i>Les représentations externes : un point de vue de la cognition distribuée</i>	33
2.6.2.	<i>Les représentations externes en conception mécanique</i>	34
2.6.3.	<i>Conception assistée par ordinateur et apprentissage de la conception</i>	35
2.7.	Synthèse du chapitre 2.....	39
Chapitre 3. PROBLÉMATIQUE : liens entre capacités visuo-spatiales et représentations externes dans une activité de conception.....		41
3.1.	Capacités spatiales et formation en conception mécanique : effets réciproques	41
3.2.	Apports partiels des représentations externes dans la conception	41
3.3.	Contexte Sénégalais : des prescriptions tendant à la diversification des OPC.....	42
3.4.	Représentations externes, capacités spatiales et processus de co-conception.....	42
3.4.1.	<i>Question principale</i>	43
3.4.2.	<i>Questions spécifiques et hypothèses</i>	43
3.5.	Objectifs de recherche	45
3.6.	Synthèse du chapitre 3.....	46
Chapitre 4. APPRENANTS EN CO-CONCEPTION : MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ		49
4.1.	Fondements théoriques : de la théorie de l'activité à la cognition distribuée.....	49
4.1.1.	<i>Théorie de l'activité</i>	49
4.1.2.	<i>Action située</i>	51
4.1.3.	<i>Cognition distribuée</i>	52
4.2.	Actions et représentations externes : prisme intégré de lecture de l'activité	52
4.2.1.	<i>Caractérisation des actions de conception initiées</i>	53
4.2.2.	<i>Typologie des représentations externes mises à contribution</i>	56
4.2.3.	<i>La visualisation spatiale des apprenants et des équipes</i>	57
4.3.	Dimensions et variables de l'activité de co-conception d'apprenants.....	57
4.4.	Plan de variables	59
4.5.	Synthèse du chapitre 4.....	65
Chapitre 5. MÉTHODOLOGIE.....		67
5.1.	Milieu d'étude	67
5.1.1.	<i>Le contexte Sénégalais de formation professionnelle et technique</i>	67
5.1.2.	<i>Description du terrain d'étude</i>	69

5.2.	Outils de recueil des données	69
5.2.1.	<i>Questionnaire de recueil du parcours éducatif</i>	69
5.2.2.	<i>Tests de mesure des capacités visuo-spatiales</i>	70
5.2.3.	<i>Composantes de l'activité de conception collaborative</i>	71
5.3.	Organisation de la collecte de données	71
5.3.1.	<i>Accès au terrain</i>	71
5.3.2.	<i>Les phases de la collecte</i>	72
5.3.3.	<i>Organisation matérielle pour l'activité de co-conception</i>	73
5.4.	Traitement des données brutes	75
5.4.1.	<i>Dépouillement du questionnaire</i>	76
5.4.2.	<i>Détermination des scores de visualisation spatiale</i>	76
5.4.3.	<i>Encodage des données vidéographiques</i>	76
5.5.	Les traitements statistiques mis en oeuvre.....	80
5.6.	Synthèse du chapitre 5.....	80
Chapitre 6.	PRÉSENTATION DES DONNÉES DE L'ÉTUDE	83
6.1.	Nature des données de l'étude	83
6.2.	Données issues du questionnaire.....	84
6.2.1.	<i>Caractéristiques sociodémographiques</i>	84
6.2.2.	<i>Parcours éducatif</i>	84
6.2.3.	<i>Maîtrise déclarée des outils de dessin assisté par ordinateur (DAO)</i>	85
6.3.	Données issues des tests de visualisation spatiale.....	86
6.4.	Données provenant des vidéos de l'activité de co-conception des 6 binômes	87
6.4.1.	<i>Actions de résolution de problème</i>	87
6.4.2.	<i>Représentations externes mobilisées</i>	89
6.5.	Synthèse du chapitre 6.....	91
Chapitre 7.	CAPACITÉS SPATIALES LIÉES AU PARCOURS ÉDUCATIF ?	93
7.1.	Hypothèses et traitements statistiques	93
7.2.	Présentation des résultats.....	94
7.2.1.	<i>Parcours éducatif et âge</i>	94
7.2.2.	<i>Capacités visuo-spatiales et parcours éducatif</i>	94
7.2.3.	<i>Capacités visuo-spatiales et genre</i>	95
7.2.4.	<i>Maîtrise déclarée des outils de CAO et nature du diplôme secondaire</i>	96
7.2.5.	<i>Maîtrise déclarée des outils de CAO et visualisation spatiale</i>	96
7.3.	Synthèse du chapitre 7	97

Chapitre 8. RECOURS AUX REPRÉSENTATIONS EXTERNES MARQUÉ PAR LES CAPACITÉS SPATIALES ?	99
8.1. Capacités spatiales et représentations externes : traitements statistiques	99
8.2. Liens entre capacités spatiales et mise à contribution de représentations externes	101
8.2.1. Visualisation spatiale et représentations externes sur support numérique	101
8.2.2. Visualisation spatiale et représentations externes stéréoscopiques	102
8.2.3. Visualisation spatiale et représentations externes sur support papier	103
8.2.4. Visualisation spatiale et représentations externes sur supports plans	103
8.3. Synthèse du chapitre 8	104
Chapitre 9. ACTIONS DE CO-CONCEPTION ET CAPACITÉS SPATIALES	107
9.1. Capacités spatiales et actions initiées : traitements statistiques	107
9.2. Quels liens entre actions initiées et visualisation spatiale ?	108
9.2.1. Visualisation spatiale et explicitation-précision de solutions	108
9.2.2. Visualisation spatiale et expression d'attention et d'accord	109
9.2.3. Visualisation spatiale et représentation de solutions	110
9.2.4. Visualisation spatiale et requête d'explicitation-précision de solutions	110
9.2.5. Visualisation spatiale et suggestion de représentation de solutions	111
9.2.6. Visualisation spatiale et remise en question de solutions	112
9.2.7. Visualisation spatiale et propos suspendus ou indéterminés	113
9.2.8. Visualisation spatiale et attitude silencieuse de réflexion	114
9.2.9. Visualisation spatiale et validation-consolidation de solutions	115
9.2.10. Visualisation spatiale et suggestion d'organisation	116
9.2.11. Visualisation spatiale et explicitation-précision de problème	116
9.2.12. Visualisation spatiale et requête d'approbation de solutions	117
9.2.13. Visualisation spatiale et quête d'information sur le problème	118
9.3. Synthèse du chapitre 9	119
Chapitre 10. REPRÉSENTATIONS EXTERNES EN SOUTIEN AUX ACTIONS INITIÉES : EFFETS DES CAPACITÉS SPATIALES	123
10.1. Capacités spatiales et représentations externes selon les actions : tests statistiques	123
10.2. Visualisation spatiale et représentations externes appuyant les actions	125
10.2.1. Visualisation spatiale et représentations externes planes soutenant les actions	125
10.2.2. Visualisation et représentations externes stéréoscopiques soutenant les actions	133
10.2.3. Visualisation et représentations externes sur support papier soutenant les actions	143
10.2.4. Visualisation spatiale et supports numériques soutenant les actions	152
10.3. Synthèse du chapitre 10	161

Chapitre 11. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET MISE EN PARALLÈLE AVEC LES TRAVAUX ANTÉRIEURS	167
11.1. Synthèse des résultats et réponses aux questions.....	167
11.1.1. <i>Parcours, caractères sociodémographiques, maîtrise d'outils et visualisation</i>	167
11.1.2. <i>Visualisation spatiale et types de représentations externes mobilisées</i>	169
11.1.3. <i>Visualisation spatiale et nature des actions initiées</i>	173
11.1.4. <i>Visualisation spatiale et types de représentations externes appuyant les actions</i> ...	180
11.2. Position des résultats obtenus	196
11.2.1. <i>Absence de liens significatifs entre genre et visualisation spatiale</i>	196
11.2.2. <i>Parcours éducatif et capacités spatiales</i>	196
11.2.3. <i>Capacités spatiales et représentations externes</i>	197
11.2.4. <i>Capacités spatiales et actions initiées</i>	197
11.2.5. <i>Capacités spatiales et représentations externes soutenant les actions</i>	198
11.3. Portée des résultats	198
11.4. Perspectives	200
CONCLUSION.....	201
BIBLIOGRAPHIE.....	207
LISTE DES FIGURES	223
LISTE DES TABLEAUX.....	231
ANNEXES	239
annexe 1. : Figures et tableaux en lien avec la théorie de la conception.....	239
annexe 2. : Figures et tableaux en lien avec les capacités spatiales	250
annexe 3. : Figures liées au cadre théorique de l'analyse de l'activité de co-conception	254
annexe 4. : Correspondances en vue de l'obtention des autorisations d'accès au terrain.....	255
annexe 5. : Outils de collecte et traitement des données primaires	260
A.5-1. : <i>Supports fournis lors de l'activité de co-conception</i>	260
A.5-2. : <i>Questionnaire de recueil du parcours éducatif</i>	263
A.5-3. : <i>Consignes de travail données au binôme 15a19a</i>	264
A.5-4. : <i>Consignes de travail données au binôme 9a5a</i>	265
A.5-5. : <i>Consignes de travail données aux binômes 11b1b, 9b15b et 17b20b</i>	266
A.5-6. : <i>Consignes de travail données au binôme 12b19b</i>	267
A.5-7. : <i>Dispositif d'enregistrement de l'activité de co-conception</i>	268
A.5-8. : <i>Traitement des données primaires</i>	269
annexe 6. : Description des données recueillies	275

annexe 7.	: Résultats liés à la visualisation et au parcours éducatif.....	284
annexe 8.	: Représentations externes et visualisation : tests et résultats	287
annexe 9.	: Actions de co-conception et visualisation : tests et résultats.....	298
annexe 10.	: Représentations externes, actions et visualisation : tests et résultats.....	324

INTRODUCTION

Les pratiques d'enseignement et de formation sont de manière courante infléchies par des directives politiques. Ces dernières se traduisant, à l'échelle opérationnelle dans le quotidien des apprenants et des enseignants, par des objectifs et recommandations. Ces recommandations peuvent être suivies ou pas vraiment, quand on sait les écarts qui peuvent exister entre ce qui est prescrit et ce qui est réellement réalisé. Lorsqu'elles sont suivies d'effet, ces prescriptions ou recommandations peuvent être probantes ou pas du tout. Cela dépend de la manière dont elles sont mises en œuvre, soit avec une prise en compte du contexte, dans une parfaite cohérence avec ses spécificités, ou bien dans la totale ignorance de ces dernières.

La bonne prise en compte du contexte d'apprentissage sous-entend la bonne compréhension des différentes interactions qui y ont lieu. Ces interactions impliquent souvent des agents humains, sans oublier tous les artéfacts matériels et/ou cognitifs qui y sont convoqués. Dans le cas spécifique de l'apprentissage de la conception mécanique, à la lumière de nombreux écrits, nous mettons l'accent sur l'importance que revêt la construction de représentations externes et les interactions avec ces dernières. De même, les capacités visuo-spatiales seront mises en exergue.

Cet apprentissage est fortement influencé par les pratiques sociales de référence en cours dans le milieu professionnel de la conception et la production d'objets ou systèmes mécaniques. Ainsi, de nombreux supports de représentations externes y sont mobilisés. Les objets mécaniques se retrouvant, dans les espaces d'apprentissage, représentés sur supports numériques ou papier et quelquefois sous leur forme réelle ou en prototype. La conception assistée par ordinateur et le dessin assisté par ordinateur, du fait de leur importance dans le monde professionnel, occupent une place croissante dans l'apprentissage de la conception mécanique.

Le contexte sénégalais est marqué, du point de vue de la politique éducative, par le Programme d'Amélioration de la Qualité, de l'Équité et de la Transparence (PAQUET) et par les conclusions du conseil présidentiel sur l'enseignement supérieur et la recherche, conduisant aux décisions présidentielles relatives à l'enseignement supérieur et à la recherche.

Cette politique met en avant, depuis au moins une décennie, la nécessité de faire une place croissante à divers *outils à potentiel cognitif* ou *OPC* (Depover, Karsenti, & Komis, 2007). L'introduction du numérique dans les espaces d'apprentissage rencontre quelquefois des échecs inhérents non pas aux outils mais plutôt à la situation. Dans le contexte Sénégalais de formation en génie mécanique, il convient de cerner la manière dont l'apprenant interagit avec les outils à potentiel cognitif, tel que suggéré par Hegarty et al. (2003) et Höffler (2010). Cela d'autant plus que des prescriptions sont formulées dans le sens du positionnement des outils numériques au cœur du développement de l'enseignement. Il devient donc capital de comprendre la manière dont l'activité de conception mécanique, dans un cadre d'apprentissage, est modelée par les interactions avec les outils à potentiel cognitif (OPC) ou les outils soutenant la réflexion et la représentation. Il est également essentiel d'appréhender les effets des capacités visuo-spatiales des apprenants sur la tournure de l'activité et la manière dont les différents artefacts sont mobilisés. Cette compréhension du comportement des apprenants, selon leurs particularités, permettrait d'intégrer ces dernières dans la conception des activités d'apprentissage. Cela dans le but de faire en sorte que les différents apprenants, quelles que soient leurs caractéristiques, puissent tirer le meilleur profit de ces activités.

Nous poursuivons alors dans ce travail l'objectif d'éclairer l'activité de conception contextualisée engageant des apprenants sous l'angle des capacités spatiales de ces derniers, des actions de résolution de problème initiées et des représentations externes qui y sont mobilisées.

Le présent document est structuré en 11 chapitres dont nous livrons la quintessence dans ce qui suit.

Le chapitre 1 revient sur le sens donné à la conception mécanique en rappelant quelques définitions en usage. Ainsi ce chapitre retient que la conception mécanique est un processus partant d'idées initiales découlant de l'expression ou de l'identification d'un besoin vers la description ou la représentation univoque, en vue de sa réalisation, d'un système matériel dont la morphologie et la structure répondent à une fonctionnalité déterminée. Une analyse plus en profondeur y est faite des différents modèles théoriques fondateurs dans le domaine de la conception mécanique. Un mode de classification de ces modèles y est présenté selon la visée, la focalisation, l'approche et la portée du modèle théorique. La visée du modèle théorique renvoie à l'intention descriptive ou prescriptive qu'il renferme. La focalisation

relève des éléments sur lesquels l'accent est mis : les étapes du processus, l'activité du concepteur, le problème ou la solution. L'approche renvoie au style abstrait, procédural ou analytique dans lequel le contenu théorique est présenté. Enfin, la portée du modèle fait référence au niveau de focalisation du modèle. Ce chapitre s'emploie en dernier lieu à éclairer les visées et les pratiques en matière d'enseignement de la conception mécanique dans un cadre plus large d'enseignement de la technologie. En termes de visées, l'enseignement de la technologie, et donc de la conception aux niveaux moyen et secondaire, poursuit comme but le développement d'une culture technologique. Dans le supérieur l'enseignement de l'ingénierie mécanique s'inscrit dans le développement de compétences professionnelles.

Le chapitre 2 éclaire la notion de capacités visuo-spatiales en s'appuyant sur la théorie des capacités cognitives de Cattell-Horn-Carroll. Il y est fait état de la diversité des typologies des capacités spatiales, malgré un consensus croissant sur la théorie susmentionnée. Ce chapitre revient sur la focalisation de notre étude sur la visualisation spatiale considérée comme principale composante des capacités visuo-spatiales ; ces dernières relevant du traitement visuel. La visualisation est la capacité à percevoir des motifs complexes et à simuler mentalement à quoi ils pourraient ressembler une fois transformés (par exemple, pivotés, modifiés, partiellement masqués). Les tests tels le PSVT-R, le MRT et le MCT sont mis à contribution pour mesurer cette capacité. La dernière partie du chapitre dresse l'état des recherches qui ont traité les questions relatives aux capacités visuo-spatiales dans leurs liens avec l'apprentissage. Nous y soulignons le caractère malléable des capacités spatiales et leur effet bénéfique sur la réussite dans les domaines liés aux sciences et à la technologie. Les bénéfices tirés de la mobilisation de représentations, en termes de compréhension de phénomènes et systèmes, se révèlent variables et dépendants des caractères des agents humains qui y ont recours.

Le chapitre 3 développe la problématique qui a conduit à ce travail. Il met l'accent sur le constat, à partir de résultats de recherches antérieures, d'effets bénéfiques réciproques entre capacités visuo-spatiales et apprentissage de l'ingénierie. Les capacités visuo-spatiales étant malléables, favorisent un meilleur apprentissage des sciences et de la technologie. Le second élément de focalisation concerne l'apport des représentations externes, tant sur support papier que numérique, dans les activités de conception aussi bien du point de vue de la production de solutions que de la compréhension des systèmes et phénomènes. Un bémol est cependant mis quant aux avantages parfois mitigés de ces représentations externes selon

les situations. La présentation d'un contexte sénégalais de vulgarisation des outils numériques dans l'apprentissage appelle la question du comment, pour éviter les écueils inhérents aux caractéristiques de la situation. Cette question appelle le besoin, dans une situation d'apprentissage de la conception mécanique, de compréhension du contexte, notamment relativement aux caractéristiques des représentations externes et aux capacités visuo-spatiales des apprenants. D'où la question principale formulée en ces termes : Quelles sont les caractéristiques du processus en cours dans l'activité de co-conception mécanique, conduite par des apprenants, en relation avec les capacités visuo-spatiales de ces derniers et les attributs des outils et représentations externes avec lesquels ils interagissent ? elle se décline en trois questions spécifiques : La nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants est-elle liée à leurs capacités visuo-spatiales ? Les actions initiées par les apprenants sont-elles en rapport avec leurs capacités visuo-spatiales ? La nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants, lors de la genèse de solutions, est-elle en lien avec leurs capacités visuo- spatiales ?

Le chapitre 4 présente la modélisation de l'activité de co-conception, impliquant des apprenants, objet de cette étude, nous permettant d'opérationnaliser la problématique en vue du recueil de données. La théorie de la cognition distribuée, cadre théorique constituant le soubassement de cette modélisation, y est présentée en partant des théories de l'activité et de l'action située pour en montrer les évolutions. L'activité de co-conception co-localisée qui nous concerne y est alors déclinée avec deux dimensions. La première sociocognitive individuelle et la seconde sociotechnique interactionnelle. Cette déclinaison s'appuie sur le fait que d'une part la situation étudiée englobe des agents humains avec leurs caractères. D'autre part ces derniers interagissent entre eux et avec la tâche à accomplir, cette situation renfermant également des artefacts avec lesquels les agents humains interagissent dans la cadre de la réalisation de la tâche. Ainsi, le modèle DeFT a inspiré la caractérisation des représentations externes. Les actions initiées dans le cadre de cette activité s'inscrivent dans le registre des interactions inter humaines, celles visant à accomplir la tâche de résolution de problème et celles de mise à contribution des représentations externes dans le cadre des actions précédentes. La caractérisation de ces actions s'inspire a priori des micro-stratégies définies par Purcell et al. reprises par Mc Neil et Gero. Un enrichissement des catégories ancré sur les données est fait a posteriori.

À travers **le chapitre 5**, nous retraçons la manière dont ce travail a été mené. Nous y revenons sur les caractéristiques du terrain d'étude et des participants. Les outils ayant

permis le recueil des données sont également présentés, sans oublier la nature des traitements auxquels ces données ont été soumises. Cette étude a concerné 63 apprenants Sénégalais en électromécanique. Ce groupe est constitué de 45 élèves techniciens supérieurs en deuxième année de formation et de 18 élèves ingénieurs en 5^{ème} année. Nous avons, pour la collecte de données, eu recours à trois sources : un questionnaire, des tests (Purdue spatial visualization test of rotations - PSVT-R, Mental cutting test - MCT, et Mental rotation test - MRT) et une activité filmée de résolution de problème impliquant 6 dyades. Les données brutes issues de cette collecte ont donné lieu à divers traitements : le dépouillement du questionnaire, la correction des tests suivie de l'attribution de scores et l'encodage des vidéos de l'activité de co-conception. Le dépouillement du questionnaire permet de cerner, pour les 63 participants, l'âge, le genre, le diplôme secondaire obtenu, la spécialité ou la série de ce diplôme, le niveau d'études atteint, le niveau de maîtrise des logiciels AutoCad, Catia, et SolidWorks. Le traitement des tests de visualisation spatiale a donné lieu à l'attribution de scores à chacun des 63 participants, pour le PSVT-R, le MCT et le MRT, et à la détermination d'une moyenne individuelle de ces trois scores. L'encodage des vidéos enregistrant l'activité, de 12 apprenants répartis dans 6 binômes, a donné lieu à la catégorisation de 4007 actions, avec les représentations externes qui y sont mobilisées, les apprenants qui en sont les auteurs et les caractéristiques de ces derniers en termes de visualisation. Les traitements statistiques ont essentiellement consisté à des tests de comparaison de Wilcoxon et de Kruskal-Wallis.

Le chapitre 6 présente les données recueillies en précisant les variables qu'elles sont censées renseigner. Nous y livrons la teneur des données issues des trois sources dont il a été fait état dans le chapitre précédent. Ainsi, le questionnaire révèle une caractérisation sociodémographique de l'échantillon à dominante masculine d'un âge moyen de 23,48 ans, un parcours éducatif essentiellement marqué par l'obtention d'un baccalauréat scientifico-technique, une maîtrise disparate d'outils de modélisation graphique 2D et 3D. Les résultats aux trois tests se révèlent cohérents avec un coefficient alpha de Cronbach de 0,78. Cependant, le niveau de réussite est variable allant du plus important pour le PSVT-R au plus faible pour le MRT. L'encodage des vidéos de l'activité de co-conception montre une prédominance des actions d'explicitation-précision de solutions et de représentation de solutions. De même, la mobilisation du dessin réaliste à l'ordinateur, du dessin plan sur papier et de l'esquisse sur papier sont majoritaires durant les différentes actions. Nous décelons également, sur la base du test de Shapiro, que les résultats aux différents tests de

mesure des capacités spatiales, ainsi que les durées cumulées des différentes actions, n'ont pas une distribution normale.

Le chapitre 7 expose les résultats relatifs aux liens probables entre le parcours éducatif, les caractères sociodémographiques et les capacités spatiales des apprenants. Ces résultats sont issus des tests de Wilcoxon et de Kruskal-Wallis, réalisés afin de comparer les capacités visuo-spatiales des apprenants, selon l'âge, le genre, le niveau d'étude, le diplôme secondaire et le niveau de maîtrise déclaré des outils numériques de modélisation.

Le chapitre 8 revient sur les résultats relatifs aux différences probables, entre apprenants selon leur niveau de capacités spatiales, relatives aux durées des mises à contribution de représentations externes. Ils sont obtenus en mettant en œuvre des tests de comparaison non paramétriques, en particulier le test de la somme des rangs de Wilcoxon. Ces tests comparent deux classes d'apprenants du point de vue du niveau de capacités spatiales.

L'objet du **chapitre 9** est d'exposer les résultats ayant trait aux différences supposées, entre deux groupes d'apprenants constitués en fonction des niveaux de capacités visuo-spatiales. Ces prétendues différences seraient relatives aux durées et aux instants de survenue des actions initiées dans l'activité de co-conception. Les résultats sont issus des tests de la somme des rangs de Wilcoxon, comparant les deux classes d'apprenants du point de vue des attributs temporels des actions de co-conception.

Dans **le chapitre 10**, nous nous attardons sur les résultats concernant les différences, relatives aux instants de survenue et à la durée de mobilisation des représentations externes en soutien aux différentes actions de co-conception, entre deux groupes d'apprenants ayant des niveaux de capacités spatiales différents. Ces résultats sont révélés par des tests de comparaison de Wilcoxon comme dans les chapitres 8 et 9.

Le chapitre 11 est consacré à la discussion des résultats de ce travail en les positionnant par rapport à notre problématique, aux travaux antérieurs et en relevant leur portée du point de vue des limites que pourrait présenter la démarche méthodologique adoptée.

Chapitre 1. APPRÉHENSION ET APPRENTISSAGE DE LA CONCEPTION MÉCANIQUE

Ce chapitre de notre étude présente la conception mécanique sous l'angle de la sémantique qu'elle peut receler, des modèles théoriques ayant servi de soubassement à l'analyse d'une telle activité, ainsi que du sens donné à l'apprentissage de la conception et des pratiques qui y ont cours. L'évolution de la théorisation de la conception y est mise en relief avec les modèles essentiels qui l'ont marquée.

1.1. Qu'est ce que la conception mécanique ?

De manière spécifique, en conception mécanique, l'activité se résume en une transformation partant d'un besoin vers une description complète d'un système technique (Hubka & Eder, 1982), en une activité de prise de décision créative visant à spécifier des dispositifs physiques répondant à un besoin exprimé (D. G. Ullman & Dietterich, 1987), en une synthèse d'un objet ayant des propriétés désirées (Brown & Chandrasekaran, 1989), en une activité contrainte de prise de décision, d'exploration et d'apprentissage (Gero, 1996), ou en une description détaillée d'un artefact à fabriquer (Cross, 2008).

Eder (1966, p. 19) reprend la définition de Feilden selon laquelle :

“Engineering design is the use of scientific principles, technical information and imagination in the definition of a mechanical structure, machine or system to perform prespecified functions with the maximum economy and efficiency. The designer's responsibility covers the whole process from conception to the issue of detailed instructions for production and his interest continues throughout the designed life of the product in service.”

Nous retiendrons la synthèse qui suit et pour laquelle la conception mécanique peut être appréhendée comme étant le processus partant d'idées initiales vers la description ou la représentation univoque, en vue de sa réalisation, d'un système matériel dont la morphologie et la structure répondent à une fonctionnalité bien définie.

Les idées naissent généralement de l'expression ou de l'identification de besoins que les fonctions du produit conçu devront justement satisfaire (French, 1985 ; Pahl, Beitz, Feldhusen, & Grote, 2007 ; D. G. Ullman, 2010). Cette activité de conception de système matériel est distinguée de celle de fabrication de ce dernier, elle conduit à une représentation

généralement graphique avec toutes les spécifications morphologiques, dimensionnelles et matérielles permettant sa réalisation sans aucune ambiguïté possible (Cross, 2008 ; D. G. Ullman, 2010). Cependant avec l'avènement des outils numériques et le développement de la CFAO¹, les deux phases peuvent être intégrées bien que du point de vue temporel une démarcation nette est identifiable entre elles.

D'autres définitions de la conception mécanique ont cours, avec des nuances plus ou moins importantes, au sein d'organisations d'assurance qualité de dimension mondiale regroupant des professionnels du domaine et chargées d'accréditer les formations d'ingénieurs. Il s'agit de celles auxquelles se réfèrent le réseau Européen pour l'accréditation des formations d'ingénieurs (European Network for Accreditation of Engineering Education – ENAEE) et le bureau Américain d'accréditation pour l'ingénierie et la technologie (Accreditation Board for Engineering and Technology - ABET).

La première, produite par l'alliance internationale d'ingénierie (International Engineering Alliance - IEA) est en usage dans le réseau ENAEE :

“Engineering design is the systematic process of conceiving and developing materials, components, systems and processes to serve useful purposes. Design may be procedural, creative or open-ended and requires application of engineering sciences, working under constraints, and taking into account economic, health and safety, social and environmental factors, codes of practice and applicable laws.” (International Engineering Alliance, 2011, p. 3)

La seconde est celle de l'ABET, organisme américain homologue du réseau ANAEE, rappelée par Ugural :

“The Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET) defines engineering design as the process of devising a system, component, or process to meet desired needs. It is a decision-making process (often iterative), in which the basic science and mathematics and engineering sciences are applied to convert resources optimally to meet a stated objective. Among the fundamental elements of the design process are the establishment of objectives and criteria, synthesis, analysis, construction, testing, and evaluation.” (Ugural, 2015, p. 5)

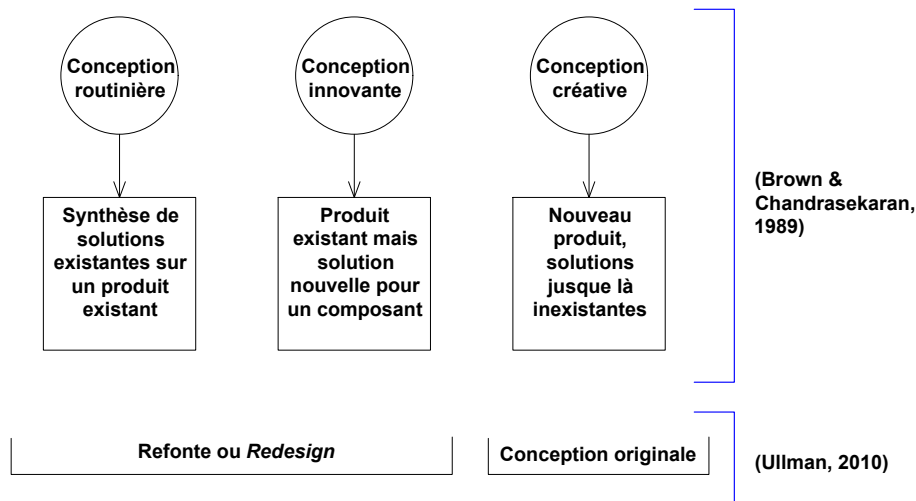
¹ Conception et fabrication assistées par ordinateur

L'activité de conception se caractérise ainsi par un phasage. Ce dernier est constitué d'étapes telles que la clarification de la tâche, la génération des concepts, la conception morphologique et structurelle et la conception détaillée. Ces étapes sont inter reliées dans un processus dynamique et itératif fait d'actions relevant de l'analyse, de la synthèse et de l'évaluation (Cross, 2008 ; Pahl et al., 2007).

Les définitions qui précèdent, issues d'organisations internationales, ne sont pas en désaccord ou en contradiction car l'ABET est membre de l'IEA. Elles reprennent des éléments de caractérisation du processus de conception précédemment introduits (French, 1985), avec la survenue d'un besoin comme élément générateur et la définition complète des caractéristiques en vue de la réalisation, comme finalité. Il convient toutefois de distinguer les formes essentielles de tâches de conception : celles dites routinières de celles non routinières. Les tâches de conception non routinières peuvent être soit innovantes, soit créatives (Brown & Chandrasekaran, 1989). Il est également fait usage d'une taxonomie distinguant les activités de conception de refonte ou *redesign* de celles originales (D. G. Ullman, 2010). Il est opportun de remarquer que le concept de *redesign* peut aussi bien renvoyer à une activité routinière qu'à une activité innovante tandis que la conception originale renvoie à l'activité créative (voir figure 1-1).

D'un autre point de vue, le concept de *conception réglée* qui renvoie à la prédominance dans l'activité, d'une démarche systématique reposant sur la connaissance et la maîtrise des paramètres de conception, est mis en opposition avec le concept de *conception créative* qui par essence postule une activité non prévisible et non programmable avec des paramètres de conception dynamiques, partiellement ou pas du tout maîtrisés (Le Masson, Weil, & Hatchuel, 2017).

figure 1-1 : Typologie des tâches de conception inspirée de Brown & Chandrasekaran (1989) et de Ullman (2010)



Des considérations économiques et écologiques ont conduit à des évolutions de sorte que la conception d'un produit ne se limite plus à la stricte satisfaction d'un besoin mais s'inscrit désormais, dans une dynamique holistique, avec la prise en compte des différentes étapes du cycle de vie complet du produit (D. G. Ullman, 2010), tel que présenté dans les annexes, à la figure A.1-1, page 239.

1.2. Théorisation de la conception : typologies

Une typologie largement partagée distingue deux grandes familles de modèles en ce qui concerne la théorisation de la conception : les modèles descriptifs et les modèles prescriptifs (Andreasen, Hansen, & Cash, 2015 ; Blessing & Chakrabarti, 2009 ; Cross, 2000 ; Evbuomwan, Sivaloganathan, & Jebb, 1996 ; Visser, 2004 ; Visser, Darses, & Détienne, 2004), bien qu'une troisième catégorie comprenant les modèles informatiques ait été introduite (Finger & Dixon, 1989). Une classification plus récente conduit à la prise en compte de deux dimensions que sont la portée du modèle et le type de modèle (Wynn & Clarkson, 2018).

1.2.1. Classification de Dixon et Finger

Les modèles prescriptifs ont eu cours après la seconde guerre et ont largement été inspirés par l'école Allemande ; Ils ont eu pour souci de recommander les étapes d'un processus de conception ou les caractéristiques d'un produit de conception de qualité. Le besoin de

compréhension de l'activité de conception a conduit par la suite à l'émergence de modèles descriptifs.

Les modèles descriptifs visent dans une approche compréhensive à dépeindre les différentes activités ayant cours dans le processus de conception tandis que ceux prescriptifs s'inscrivent dans l'indication de démarches à suivre pour une conception concluante. Il est à juste titre fait usage des notions de modèle de conception ou de *modèle descriptif du processus de conception* pour désigner les modèles descriptifs et de méthode de conception ou de *modèle prescriptif pour la conception* pour ceux prescriptifs (Finger & Dixon, 1989).

1.2.2. Classification de Wynn & Clarkson

Une typologie plus englobante et couvrant la précédente a vu le jour, s'appuyant sur les objets de focalisation et les approches des modèles : focalisation sur les étapes du processus, l'activité du concepteur, le problème, la solution ; approches abstraite, procédurale ou analytique (Eckert et al., 2015 ; Wynn & Clarkson, 2005). Le remaniement de cette classification conduit à la prise en compte de deux dimensions que sont la portée du modèle et le type de modèle. Ainsi la dimension liée à la portée renvoie aux échelles micro, méso et macro tandis que celle liée au type fait référence aux modèles abstraits, analytiques et procéduraux (Wynn & Clarkson, 2018).

Ainsi du point de vue de la dimension relative à la portée du modèle, les éléments relevant de l'échelle micro sont ceux liés aux étapes individuelles du processus et à leurs contextes immédiats, ceux qui se rapportent à l'échelle méso sont inhérents aux flux complets de tâches au fil de l'évolution de la conception, tandis que l'échelle macro concerne la structure du projet et le processus de conception contextualisé (Eckert et al., 2015, 2017 ; Eckert & Stacey, 2010 ; Wynn & Clarkson, 2005, 2018). Les aspects ayant trait au type de modèle revêtent quant à eux soit un caractère abstrait à travers la formulation théorique d'idées et de concepts, un caractère analytique fournissant des moyens de soutien, d'analyse ou d'amélioration de l'activité de conception, ou bien un caractère procédural prodiguant des recommandations de bonnes pratiques de conception (Wynn & Clarkson, 2018).

1.3. Les principaux modèles théoriques en conception : concepts fondateurs

1.3.1. Le modèle de Archer

Selon ce modèle représenté à la page 239 (figure A.1-2 et figure A.1-3), le processus de conception est composé d'étapes inter reliées entre lesquelles les frontières sont souvent floues. Ce processus est fait d'itérations avec des retours fréquents aux stades précédents. Une phase initiale d'analyse faite de raisonnement inductif conduisant à une planification et un recueil d'informations à partir d'observation objective ; une phase de création constituant le cœur du processus et s'appuyant sur le raisonnement déductif, l'évaluation et la prise de décision. Une troisième étape dite d'exécution suit la précédente avec comme composantes la description de solutions et leur déclinaison sous une forme compréhensible (Archer, 1984).

1.3.2. Le modèle de March

Selon ce modèle, le processus de conception est fait d'itérations successives suivant le cycle production – déduction – induction (PDI), illustré à la page 240 par la figure A.1-4, conduisant à des améliorations et redéfinitions constantes des caractéristiques, des conceptions et des suppositions au fil de l'évolution de l'activité. La finalité est de décrire les caractéristiques des solutions permettant de fournir les services souhaités (March, 1984),

1.3.3. Le modèle de Jones

Ce modèle s'articule autour de trois étapes qui sont l'analyse, la synthèse et l'évaluation. La phase d'analyse consiste en la présentation des différentes exigences de conception et à leur réduction en un ensemble complet, ayant une articulation logique, de spécifications de performances. L'étape de synthèse relève de la recherche de solutions permettant la réalisation de chacune des performances visées à travers une conception complète avec le minimum de compromis possible. L'évaluation quant à elle s'attèle à estimer la précision avec laquelle les conceptions alternatives répondent aux exigences de performance relatives à l'exploitation, à la fabrication et à la vente avant la sélection de la solution finale (Cross, 2000 ; Jones, 1984).

1.3.4. Le modèle de l'association des ingénieurs allemands VDI² 2221

Le modèle de VDI 2221, comme le montre la figure A.1-5 de la page 241 des annexes, repose sur le passage du problème global à la solution globale par un processus de décomposition de ce même problème en sous problèmes et en problèmes individuels, de recherche de solutions individuelles, de recombinaison en sous solutions et en une solution globale (Cross, 2000 ; Lindemann, 2003 ; Pahl et al., 2007).

1.3.5. Le modèle de Cross

Le modèle en quatre étapes de Cross (voir figure A.1-6, page 242) comporte en plus de la phase initiale d'exploration et de celle finale de communication, une boucle itérative entre la génération de solutions et leur évaluation jusqu'à satisfaction aux exigences retenues.

La phase initiale d'exploration a une double finalité de clarification et compréhension du problème, poursuivie de manière concomitante avec celle d'esquisse des premières possibilités. Suit la génération de solutions qui rime avec la production de représentations externes plus précises des dites solutions, qui sont ensuite évaluées afin de juger de l'adéquation aux critères de qualité définis. L'aboutissement du processus est la communication consistant à la production d'une description, compréhensible en vue de la fabrication, de l'objet conçu. Cette communication se résume essentiellement à une présentation sous forme de dessin avec les annotations et compléments évitant la moindre ambiguïté (Cross, 2000).

1.3.6. Le modèle de French

Comme celui de Cross, ce modèle théorise un processus de conception en quatre phases (figure A.1-7, page 242), l'analyse du problème, la génération des concepts, la réalisation de schémas, la déclinaison détaillée des schémas retenus. La phase d'analyse du problème consiste en l'identification précise du besoin. Elle aboutit à la définition du problème proprement dit et à celle des exigences, contraintes et critères de qualité auxquels doivent répondre les solutions à concevoir. L'étape de génération de concepts part de la définition du problème pour produire un large ensemble de solutions possibles présentées sous forme symbolique ou schématique. La matérialisation s'attèle à opérer une sélection entre les

² *Verein Deutscher Ingenieure*

solutions possibles et à donner à la solution retenue une forme graphique un peu plus détaillée et compréhensible. La dernière phase consiste à fournir une représentation aussi détaillée que possible des différents composants de la solution de manière à permettre sa matérialisation (French, 1985).

1.3.7. L'approche systématique de Pahl et Beitz

L'approche systématique de Pahl et Beitz, dont le modèle est illustré par la figure A.1-8 à la page 243, prescrit une démarche rationnelle et systématique allant de la phase de clarification de la tâche à celle de conception détaillée en passant par celles de génération des concepts et de conception architecturale ou physico-morphologique (Pahl et al., 2007).

La phase de clarification de la tâche ou d'identification des fonctions attendues conduit à l'établissement d'une liste d'exigences à partir de besoins exprimés ou identifiés. L'étape suivante de génération de concepts ou de recherche des principes techniques consiste en la traduction des exigences listées dans la phase précédente en fonctions techniques, en leur déclinaison en principes techniques permettant leur satisfaction, la combinaison ou la structuration de ces principes en solutions techniques possibles, l'évaluation de ces différentes possibilités pour aboutir au choix d'une solution technique retenue. Ensuite a lieu la conception physico-morphologique tenant compte de considérations technico-économiques incluant l'encombrement, l'ergonomie, l'esthétique, la production, l'assemblage, la maintenance, le recyclage, la sécurité, l'interchangeabilité. S'en suit une dernière phase de conception détaillée ou de définition donnant lieu à la définition détaillée du point de vue des formes et des matières des différents constituants du produit.

1.3.8. La théorie de résolution des problèmes inventifs ou TRIZ

La théorie de résolution des problèmes inventifs ou TRIZ, acronyme de l'expression Russe *teorija rezhenija izobretatelskih zadach* (Rantanen & Domb, 2010, p. 1), développée par Altshuller (1984, 1999) propose une démarche algorithmique et systématique permettant l'émergence de solutions inventives aux problèmes de conception. Elle s'articule autour de trois concepts essentiels : la contradiction, les ressources et l'idéalité, dans une relation cyclique (Rantanen & Domb, 2010), illustrée à la page 244 par la figure A.1-9. La TRIZ utilise divers outils tels que la matrice de contradiction, les 40 principes inventifs, les 76-solutions standards, la base des effets, les principes de séparation, les modèles

d'évolution des systèmes techniques, les champs de substances, etc., pour générer des solutions efficaces (Ilevbare, Probert, & Phaal, 2013).

1.3.9. La conception axiomatique (Axiomatic design)

Le modèle de Suh (figure A.1-10, page 244) repose sur la décomposition de l'espace de conception en quatre domaines qui sont le domaine de l'utilisateur caractérisé par les besoins de ce dernier, le domaine fonctionnel qui se distingue par l'existence d'exigences et de contraintes de conception permettant de répondre aux besoins de l'utilisateur, le domaine physique qui est celui des paramètres physiques de conception à même de satisfaire aux exigences fonctionnelles définies, le domaine des processus défini par les variables des processus que peuvent produire les caractéristiques physiques arrêtées.

Ce modèle de conception axiomatique comme son nom l'indique s'appuie sur deux axiomes gouvernant le processus de conception, celui d'indépendance et celui de minimum d'information. L'axiome d'indépendance postule une indépendance entre les exigences fonctionnelles, celui de minimum d'information postule une charge informationnelle minimale des solutions conçues (Suh, 1998, 1999, 2001). Dans cette approche les exigences fonctionnelles ou fonctions (*Functional Requirements-FR*) sont liées aux techniques ou paramètres des solutions ou de conception (*Design Parameters-DP*) par une matrice dite de Suh qui caractérise les contributions des paramètres de conception aux fonctions. Cela conduit à la définition de paramètres de conception ne permettant chacun de répondre qu'à une et une seule exigence fonctionnelle. Ainsi le meilleur type de conception selon ce modèle est celui découplé pour lequel la matrice liant les exigences fonctionnelles aux paramètres de conception est diagonale.

$$[FRs] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \cdot [DPs]$$

La démarche axiomatique poursuit ainsi le but de rendre les concepteurs plus créatifs, d'améliorer le processus de conception en réduisant les essais et erreurs itératifs et la démarche hasardeuse et de déterminer les meilleures solutions parmi celles proposées (Suh, 1998).

1.3.10. Le modèle FBS de Gero et ses variantes

La famille de modèles FBS repose sur une classification des variables d'un objet de conception en : Fonction (*Function*), Fonctionnement ou comportement (*Behaviour*) et Constitution (*Structure*). Elle procède d'une modélisation du processus de conception à partir de sa décomposition en différentes étapes parcourues de manière cyclique et itérative : formulation, synthèse, analyse, évaluation, documentation et reformulation. Il y est marqué une distinction entre conception routinière et conception créative.

1.3.10.1. Le modèle FBS de Gero

Le modèle FBS de Gero (1990) est composé de trois classes de variables décrivant différents aspects de l'objet de conception :

- Les variables de fonction (F) qui décrivent ce à quoi l'objet est destiné
- Les variables de comportement (B) qui décrivent les attributs découlant ou attendus des variables de structure de l'objet, en quelques sortes ce qu'il est censé faire
- Les variables de structure ou de constitution (S) qui décrivent les composantes de l'objet et leurs relations.

Ce modèle se caractérise par une évolution de l'activité de conception faite de huit processus reliant les fonctions, les comportements et la constitution (figure A.1-11 de la page 245).

- La formulation (processus 1) transforme les exigences de conception, exprimées en fonction (F), en comportement (Be) qui devrait permettre cette fonction.
- La synthèse (processus 2) transforme le comportement attendu (Be) en une structure de solution (S) destinée à présenter ce comportement souhaité.
- L'analyse (processus 3) dérive du comportement « réel » (Bs) de la structure de taille réduite (S).
- L'évaluation (processus 4) compare le comportement dérivé de la structure (Bs) au comportement attendu pour préparer la décision d'acceptation ou de rejet de la solution de conception.
- La documentation (processus 5) produit la description de conception (D) pour la construction ou la fabrication du produit.

- Le type de reformulation 1 (processus 6) traite les changements dans l'espace d'état de conception en termes de variables de structure ou de plages de valeurs pour celles-ci si le comportement réel est jugé insatisfaisant.
- Le type de reformulation 2 (processus 7) traite les changements dans l'espace d'état de conception en termes de variables de comportement ou de plages de valeurs pour elles si le comportement réel est jugé insatisfaisant.
- Le type de reformulation 3 (processus 8) traite les changements dans l'espace d'état de conception en termes de variables de fonction ou de plages de valeurs pour celles-ci si le comportement réel est jugé insatisfaisant.

1.3.10.2. Le modèle FBS situé de Gero & Kannengiesser (2004)

Comme le modèle initial dont il s'inspire, le modèle FBS situé s'appuie sur les mêmes variables liées aux fonctions, au comportement ou fonctionnement et à la structure ou constitution, et modélise les interactions entre un monde externe, un monde souhaité et un monde interprété. Il articule un ensemble de 20 processus ayant trait à la formulation, la synthèse, l'analyse, l'évaluation, la documentation, la reformulation de type 1, la reformulation de type 2 et la reformulation de type 3 (figure A.1-12 de la page 245 et tableau A.1-1 de la page 246).

1.3.10.3. Le modèle RFBS (Requirements – Function - Behaviour - Structure) de Christophe, Bernard, & Coatanéa

Ce modèle, à l'image des deux précédents dont il s'inspire, se caractérise (figure A.1-13, page 247) par la présence d'étapes de représentation et de processus de génération conceptuelle relevant de l'analyse des exigences, la formulation du problème, la présynthèse, la synthèse, l'analyse, l'évaluation et la définition, sans oublier les processus de reformulation de type 1, 2, 3 et 4 explicités à la page 247, dans le tableau A.1-2 (Christophe, Bernard, & Coatanéa, 2010).

1.3.11. La CK Theory de Hatchuel et Weil

La Concept-Knowledge Theory met l'accent sur le fait que l'activité de conception (figure A.1-14, page 249), dans un contexte d'innovation, ne relève pas toujours d'une interaction avec un environnement totalement connu et maîtrisé. Ainsi ce modèle s'inscrit dans la prise en charge des activités de conception dites créatives qui sont par essence non prévisibles et

non programmables. Il repose essentiellement sur les quatre opérateurs $C \rightarrow C$, $C \rightarrow K$, $K \rightarrow K$, $K \rightarrow C$, du *carré de conception* par lesquels s'opère une expansion simultanée par ajustement mutuel de l'espace des concepts C , composé de notions ou propositions dont la véracité ou la possibilité de réalisation ne peut être a priori établie, et de l'espace des connaissances K , composé des connaissances établies disponibles (Hatchuel & Weil, 2002, 2008 ; Hatchuel, Weil, & others, 2003).

- Les opérateurs $C \rightarrow K$ recherchent dans K des attributs pouvant permettre de partitionner des concepts en C . Ils contribuent également à la génération de nouvelles propositions dans K . Chaque fois qu'un concept est modifié par un nouvel attribut, il faut vérifier si la nouvelle proposition est encore un concept. De nouvelles propositions pouvant être de nouvelles sources d'attributs pour la partition suivante sont générées. Les concepts ont donc un pouvoir exploratoire en K à travers leur propre validation.
- Les opérateurs $K \rightarrow C$ ont des fonctions symétriques à celles des opérateurs $C \rightarrow K$. Ils génèrent des concepts provisoires en attribuant de nouveaux attributs. Ils évaluent également l'état logique des nouveaux concepts et maintiennent la cohérence de l'expansion de C .
- L'opérateur $C \rightarrow C$ est considéré comme un opérateur virtuel alors que les principales opérations passent par K . En fait, il est de la plus haute importance pour la formation des résultats d'un processus C - K . Les solutions de conception sont des chaînes d'attributs qui contiennent des concepts et forment de nouvelles vérités dans K . Par conséquent, les opérateurs $C \rightarrow C$ sont des opérateurs graphiques dans l'espace C qui permettent d'analyser des chaînes, des chemins, des sous-graphiques, etc.
- Les opérateurs $K \rightarrow K$ englobent tous les types de raisonnement classiques (classification, déduction, abduction, inférence, etc.). De plus, toute méthodologie de conception pouvant être exécutée sous forme de programme (ou d'algorithme) sans utilisation de concepts et de jeux de caractères est finalement réduite à un opérateur $K \rightarrow K$.

1.4. Évolutions : de la conception réglée vers la conception créative

Le besoin croissant d'efficacité, de créativité et de productions innovantes, dû à des enjeux concurrentiels simultanément économiques et technologiques, rend nécessaire la compréhension plus fine de l'activité de conception surtout dans la phase de génération d'idées ; L'émergence de nouveaux modèles conceptuels et d'action en découla : la théorie de résolution des problèmes inventifs ou TRIZ (Altshuller, 1984, 1999), la conception axiomatique (Suh, 1998), le modèle fonction-comportement-constitution ou FBS (Gero, 1990 ; Gero & Kannengiesser, 2004) et plus récemment la CK theory (Hatchuel & Weil, 2002, 2008 ; Hatchuel et al., 2003). Cette évolution dans les théories qui sous-tendent ou éclairent l'activité de conception relève d'un passage de la prédominance d'une démarche systématique reposant sur la connaissance et la maîtrise parfaite des paramètres de conception vers une nouvelle vision relativement aux activités de conception dites créatives qui sont par essence non prévisibles et non programmables avec des paramètres de conception dynamiques, partiellement ou pas du tout maîtrisés.

1.5. Appréhensions de l'activité de conception : de Simon à l'ergonomie cognitive

La conception s'appréhende comme étant par essence une activité de résolution de problèmes mal définis et mal structurés ne conduisant pas à une solution unique. En conception de systèmes mécaniques, ou de toute autre nature, l'ingénieur ou le concepteur vise : la définition d'objets et systèmes du point de vue de leur constitution et de leur fonctionnement afin de satisfaire à des objectifs précis (Simon, 1973), ou bien la définition de spécifications permettant la construction d'objets devant répondre à des exigences particulières. S'ajoutant à cette acception, la conception est comprise comme une conversation réflexive du sujet avec l'objet de conception, faite de génération, transformation et évaluation, dans une situation bien précise (Schön, 1984, 1992).

Dans une perspective qui se veut fédératrice des deux premières, les interactions diverses avec l'objet de conception se font à travers la construction de représentations internes et externes (Visser, 2009). Ces représentations occupant une place importante dans le processus de conception (Détienne, Visser, & Tabary, 2006), se positionnent comme modèles ou intermédiaires entre l'artefact ou objet à construire et le concepteur, dans un dialogue réflexif. De même les représentations externes construites (texte, diagrammes, schémas, croquis, dessins, graphiques, maquettes...) constituent des intermédiaires entre le

concepteur et ses différents interlocuteurs, dont lui-même, dans le processus allant de la conception de l'objet ou système mécanique à sa matérialisation (Lavoisy & Vinck, 2000 ; Mer, Jeantet, & Tichkiewitch, 1995). L'activité du concepteur dépend donc de la manière dont il perçoit et conçoit la situation à laquelle il est confronté. Situation dans laquelle l'activité de conception est considérée non plus comme celle d'un individu, mais plutôt une activité collective (Darses, 2009 ; Falzon & Darses, 1996) qui revêt une dimension sociocognitive en plus de celles technique et instrumentale (Darses, 2009). L'activité collective de conception, outre les activités exécutives ayant trait au développement et d'évaluation de solutions et celles de gestion, liées à la planification et à l'organisation, repose essentiellement sur des activités argumentatives visant la coordination, la communication, la synchronisation et la résolution de conflits. L'on y distingue les activités de co-conception, plutôt collaboratives dominées par la synchronisation cognitive, et les activités de conception distribuée qui sont coopératives et dominées par la synchronisation opératoire (Falzon & Darses, 1996 ; Visser, 2001 ; Visser et al., 2004). Dans un contexte d'apprentissage collaboratif de la modélisation, les catégories d'actions identifiées relèvent de l'analyse, de la synthèse, du contrôle-exécution, du soutien cognitif, du soutien technique et des interactions sociales (Siampou, Komis, & Tselios, 2014).

1.6. La conception mécanique à travers l'apprentissage de la technologie

L'enseignement relatif à des systèmes pluri-technologiques se retrouve dans les différents ordres d'enseignement : le primaire, le moyen, le secondaire et le supérieur. Seulement les appellations et les finalités diffèrent selon le niveau d'enseignement, avec soit des visées culturelles ou professionnelles. Cet enseignement, lorsqu'il prend une orientation culturelle, s'attèle à développer chez le citoyen en devenir une certaine conscience de son environnement technologique, des différents enjeux qui le gouvernent ainsi que de leurs implications ; dans une visée professionnelle l'enseignement de la technologie se préoccupe de préparer au monde du travail par le développement d'aptitudes en lien avec des tâches professionnelles bien définies (Amigues, Ginestié, & Johsua, 1994). Il est important de noter que selon les choix politiques, le niveau d'enseignement et le caractère général ou professionnel de l'enseignement, le développement d'une culture technologique et celui de compétences techniques peuvent cohabiter dans les curricula dans des proportions plus ou moins importantes.

1.6.1. Du primaire au secondaire

La technologie dans ces ordres d'enseignement se retrouve sous des vocables divers dans l'espace et le temps, ainsi ont cours les expressions de *conception et technologie* en Angleterre (Benson, 2011), d'*éducation technologique* au primaire, de *technologie* au moyen ou de *sciences pour l'ingénieur* au secondaire en France (Chatoney & Ginestié, 2011), d'*éducation technique* ou de *conception et technologie* en Ecosse (Dow, 2011), de *travail technique*, d'*éducation artisanale, manuelle* ou *technologique* en Finlande (Rasinen, Ikonen, & Rissanen, 2011), d'*éducation technique* ou *technologique* en Nouvelle-Zélande et en Australie (Compton, 2011 ; Keirl, 2011 ; O'Sullivan, 2011), de *technologie* en Afrique du Sud (Stevens & Morshuizen, 2011).

Il est plus question d'initiation scientifique et technologique dans le primaire (Ginestié, 2011 ; Martinand, 2003) ou d'éducation technologique dans le moyen général, avec une finalité plus orientée vers la construction, chez les apprenants, d'une culture scientifique et technologique (Amigues et al., 1994 ; Ginestié, 2006 ; Lebeaume, 2011), que vers le développement de compétences liées à la fabrication ou à la maintenance de systèmes technologiques. Dans le secondaire, en plus de l'éducation à la culture technologique apparaît un souci plus marqué de découverte du monde du travail aux fins d'une orientation future, en encourageant l'éclosion chez les apprenants de compétences qui y sont liées (Martinand, 1995), ou de développement de certaines compétences liées à la maintenance et la fabrication de ces systèmes, et à un degré moindre relatives à leur conception, surtout dans la formation professionnelle.

L'érection de la technologie en discipline et son enseignement comme telle, découle d'un processus évolutif qui prend naissance avec l'avènement des travaux manuels éducatifs en passant par l'éducation manuelle technique (Lebeaume, 2003, 2015 ; Vries, 2018). Cette évolution relève du caractère dynamique des besoins socio-économiques, du sens et de la place donnés à la technologie évoluant entre les deux pôles que constituent l'artisanat et le travail manuel d'une part et les sciences d'autre part (Crawley, Malmqvist, Östlund, Brodeur, & Edström, 2014 ; Martinand, 2003).

L'enseignement-apprentissage de la conception se retrouve dans un contexte plus large d'enseignement-apprentissage de la technologie. Depuis les années 2000, le concept de Sciences, Technologie, Ingénierie et Mathématiques (STEM) est apparu, d'abord agité par

la classe politique, puis largement repris sans une explicitation précise de son contenu. Ainsi, il semble exister une certaine ambiguïté dans le terme *ingénierie*, qui pourrait se confondre avec le terme *technologie* et qui ne renvoie à aucune discipline jusque-là enseignée comme telle dans les ordres pré-universitaires, contrairement aux sciences, à la technologie et aux mathématiques. L'ingénierie à laquelle renvoie le E de l'acronyme STEM est de ce fait considérée comme la *discipline manquante* ou encore une discipline orpheline (Brophy, Klein, Portsmore, & Rogers, 2008 ; Vries, Gumaelius, & Skogh, 2016).

Malgré la similitude entre la technologie et l'ingénierie dans l'acronyme STEM, une certaine différence est tout de même notée dans le tableau A.1-3 de la page 249. Elle relève des visées, des méthodes, de la place de la conception et de la modélisation de même que de la référence à des pratiques sociales (Vries et al., 2016).

Le Sénégal est caractérisé par une structuration du système scolaire en un cycle fondamental obligatoire et un cycle secondaire et professionnel. Le cycle fondamental comprend l'enseignement élémentaire polyvalent et l'enseignement moyen polyvalent (Loi n° 91-22 du 16 février 1991 portant orientation de l'Education nationale, 1991). L'initiation scientifique et technologique est une composante du curriculum de l'enseignement élémentaire Sénégalais, alors que dans l'enseignement moyen l'éducation technologique a cours. Ce fait découle essentiellement des objectifs généraux de l'éducation et de manière spécifique ceux qui visent entre autres :

- dans l'élémentaire polyvalent du cycle fondamental à :
 - *éveiller l'esprit de l'enfant par des activités propres à permettre l'émergence et l'épanouissement de ses potentialités intellectuelles d'observation, d'expérimentation et d'analyse notamment, ainsi que de ses potentialités sensorielles motrices et affectives*
 - *revaloriser le travail manuel et initier l'enfant aux techniques élémentaires impliquées dans les activités de production*
- dans le moyen polyvalent du cycle fondamental à :
 - *parfaire le développement chez l'élève des capacités d'observation, d'expérimentation, de recherche, d'action pratique, de réflexion, d'explication, d'analyse, de synthèse, de jugement, d'invention et de création ;*
 - *effacer la hiérarchie entre activités théoriques et activités pratiques, familiariser l'élève avec les différents aspects du monde du travail et l'initier aux activités*

productives.

L'enseignement de la technologie dans le cycle secondaire Sénégalais est de manière explicite pris en compte dans celui secondaire technique et professionnel et se décline à travers l'objectif général qui suit :

- *assurer l'acquisition de compétences en vue de la résolution de problèmes d'ordre technologique et social ou de l'exercice d'une profession ou d'un métier*

Cet objectif est pris en charge, selon l'orientation technique ou professionnelle et les spécialités des cursus, par des enseignements poursuivant le développement d'une culture technologique en lien avec la spécialité et celui de compétences ayant trait à la conception, la réalisation ou la maintenance de systèmes ou d'objets technologiques.

1.6.2. Au niveau supérieur

Le niveau supérieur donne accès aux études après l'obtention du diplôme sanctionnant la fin des études secondaires. Il s'agit des études post-baccalauréat dans le contexte Sénégalais et celui Français. Selon les pays et les systèmes éducatifs les études supérieures conduisent essentiellement aux diplômes de technicien supérieur, de licence ou bachelor, de master, d'ingénieur, et de doctorat. Dans le supérieur, l'enseignement et l'apprentissage de la technologie relèvent plus de ceux de l'ingénierie ou des sciences de l'ingénieur dans le but de développer des compétences en lien avec la conception, la réalisation et la maintenance de systèmes technologiques en termes de process ou de produits.

Ainsi le concept de *conceive, design, implement and operate* (CDIO) est de plus en plus mis en avant avec la nécessité d'orientation des formations vers le développement, dans des situations authentiques intégrant dans une approche globale des problèmes d'ingénieries et des enjeux sociétaux, de compétences personnelles et interpersonnelles permettant d'élaborer des solutions relativement à des produits, process ou systèmes technologiques en mettant en œuvre les mathématiques, les sciences de la nature, celles de l'ingénieur et les connaissances techniques adéquates (Crawley et al., 2014). L'authenticité des situations de formation tient du fait qu'elles soient inspirées de celles professionnelles (Crismond & Adams, 2012 ; Lebeaume, 2011 ; Vries, 2005), les pratiques issues du milieu professionnel étant considérées comme pratiques sociales ou sociotechniques de référence (Lebeaume, 2001 ; Martinand, 2003). Cette référence au monde réel est bien illustrée par la réflexion

suivante : « *In education we like to teach about technology as we can see it being practiced* » (Vries, 2005, p. 6-7).

L'apprentissage par projets allant de la conception à la réalisation de produits, process ou systèmes technologiques se positionne alors comme modalité suffisamment pertinente pour l'enseignement de l'ingénierie (Arcidiacono, Yang, Trew, & Bucciarelli, 2016 ; Chua, Yang, & Leo, 2014 ; Doppelt, 2003 ; Ferguson, Maloney, Fugelsang, & Risko, 2015 ; Hérold & Ginestier, 2011 ; Mioduser & Betzer, 2007 ; Tseng, Chang, Lou, & Chen, 2013 ; van As, 2018), avec un dosage d'activités destinées à la maîtrise des normes et des bases de l'ingénierie qui restent dominantes durant les premières années faisant progressivement place à des activités de résolution de problèmes et de réalisation de projets auxquelles les dernières années de formation sont consacrées (Mills & Treagust, 2003).

L'apprentissage de la conception mécanique relèverait du développement d'aptitudes à interagir et converser de manière réflexive avec les objets de conception, par le biais de représentations internes qui ne sont autres que les modèles mentaux que le sujet concepteur (Lebahar, 2005 ; Leplat, 2008 ; Simon, 1973) se construit et celles externes qui en sont issues, dans le but d'en définir des spécifications permettant leur réalisation matérielle.

L'ABET, organisme américain d'accréditation des formations d'ingénieurs, donne des éléments d'appréciation de la qualité des curricula de formation en conception :

The engineering design component of a curriculum must include most of the following features: development of student creativity, use of open-ended problems, development and use of modern design theory and methodology, formulation of design problem statements and specification, consideration of alternative solutions, feasibility considerations, production processes, concurrent engineering design, and detailed system description. Further, it is essential to include a variety of realistic constraints, such as economic factors, safety, reliability, aesthetics, ethics, and social impact. The ABET criteria for accreditation emphasizes the use of teams in solving problems and performing designs. (Ugural, 2015, p. 5)

En Afrique Sub-Saharienne, la formation dans les domaines de l'ingénierie est caractérisée par l'absence de politiques de formation s'inspirant de résultats de recherches contextualisées, la faiblesse des fonds alloués, l'obsolescence des équipements, la faiblesse du partenariat avec les entreprises, l'insuffisance de la confrontation des formés aux réalités

du monde professionnel et l'absence d'un cadre international d'accréditation des formations (Afonja, Sraku-Larkey, & Oni, 2005 ; Ekolu, 2006 ; Mohamedbhai, 2015, 2016). Ce tableau reflète quelque peu la situation du Sénégal, qui ne constitue pas une exception dans cet environnement, avec l'existence d'écoles et d'instituts tant publics que privés, nationaux ou multinationaux, de formation d'ingénieurs de conception en électromécanique, aéronautique, informatique, génie civil, géologie, statistique, télécommunication et en agronomie et d'ingénieurs des travaux en électromécanique, génie civil, production végétale, production forestière et production animale. Des formations de techniciens supérieurs dans ces différentes spécialités existent également.

1.7. Synthèse du chapitre 1

La conception mécanique : de l'appréhension d'un besoin à la définition complète de caractéristiques nécessaires à la réalisation.	La conception mécanique est un processus partant d'idées initiales découlant de l'expression ou de l'identification d'un besoin vers la description ou la représentation univoque, en vue de sa réalisation, d'un système matériel dont la morphologie et la structure répondent à une fonctionnalité déterminée.
Une théorie de la conception sous-tendue par des modèles variés qui ont cours en mécanique	Les modèles essentiels auxquels il est fait référence en conception mécanique sont prescriptifs et portent sur les étapes du processus. Il s'agit des modèles de : Archer, March, Jones, VDI 2221, Cross, Pahl & Beitz et Triz. Ces derniers adoptent majoritairement une approche procédurale ou analytique. Le modèle FBS et ses variantes, celui de Suh et la CK Theory mettent l'accent sur la solution. Les derniers ayant une approche abstraite

Un apprentissage de la conception dans le cadre de l'enseignement de la technologie et de l'ingénierie.	L'apprentissage de la conception a cours dans un cadre plus large d'enseignement de la technologie ou de l'ingénierie visant, selon le cas, le développement d'une culture technologique et/ou celui de compétences professionnelles
---	--

Chapitre 2. CAPACITÉS VISUO-SPATIALES, APPRENTISSAGE ET REPRÉSENTATIONS EXTERNES : ÉTAT DES RECHERCHES

2.1. Développement des capacités spatiales et intelligence spatiale

Piaget admet une construction progressive des rapports spatiaux sur un plan perceptif ou sensori-moteur puis sur un plan représentatif ou intellectuel (Piaget & Inhelder, 1977). De ce point de vue, la perception de l'espace revêt un caractère acquis et non inné, elle se construit de manière progressive durant les trois périodes du développement sensori-moteur comptant deux stades chacun. La première période allant de la naissance à 4-5 mois comprend le stade des purs réflexes et celui de l'acquisition des premières habitudes. Suit une deuxième période, s'étalant de 4-5 mois à 1 an, avec le début de manipulation des objets et l'apparition des premières conduites intelligentes. Vient enfin une troisième période, se situant entre 1 et 2 ans, où se retrouvent le stade de l'expérimentation et celui des premières coordinations intériorisées. Durant la deuxième année du développement apparaissent les premières représentations et avec elles les capacités langagières. Cette phase marque le début de la construction de représentations spatiales, qui jusqu'après 7-8 ans se nourrit des structures perceptives construites. Ainsi, Piaget considère les capacités spatiales comme primordiales dans le développement cognitif de l'enfant.

Selon le postulat de la théorie des intelligences multiples (Gardner, 1997), l'intelligence spatiale est comprise comme une forme d'intelligence, parmi six autres. Cette théorie distingue donc sept formes d'intelligence : linguistique, musicale, logico-mathématique, spatiale, kinesthésique, interpersonnelle et intra personnelle. D'après Gardner (1997, p. 184), l'intelligence spatiale relève des « *capacités à percevoir correctement le monde visuel, à exécuter des transformations et des modifications sur ses perceptions initiales et à être en mesure de recréer des aspects d'une expérience visuelle, même en l'absence de stimuli physiques pertinents* ».

2.2. La théorie des capacités cognitives de Cattell-Horn-Carroll

Il convient de situer les capacités visuo-spatiales par rapport à l'ensemble des capacités cognitives pour en avoir une meilleure compréhension. Les capacités cognitives ou l'intelligence en d'autres termes, ont connu une évolution dans leur appréhension, elles ont d'abord été considérées comme unidimensionnelles par Spearman, avant que leur caractère multifactoriel ne soit postulé. De ce second point de vue se réclament le modèle des capacités

mentales primaires de Thurstone ainsi que la théorie des capacités cognitives de Cattell-Horn-Carroll sans oublier le modèle hiérarchique de Vernon (Carroll, 1993 ; McGrew, 2005 ; Newton & McGrew, 2010).

La théorie des capacités cognitives de Cattell-Horn-Carroll (voir tableau A.2-1 à la page 250), née de l'intégration du modèle de l'intelligence fluide et de celle cristallisée Gf-Gc de Cattell-Horn avec le modèle hiérarchique à trois strates de Carroll, rencontre un niveau de consensus important et est largement convoquée dans de nombreux travaux récents (Alfonso, Flanagan, & Radwan, 2005 ; McGrew, 2005 ; Schneider & McGrew, 2012).

Cette théorie postule l'existence d'une intelligence générale notée *g*, cette dernière est multidimensionnelle et composée de capacités cognitives larges ou d'un niveau intermédiaire. Une structuration en capacités générales, sensori-motrices et connaissances acquises, présentée à la figure A.2-1, page 252, en permet une lecture plus aisée (Schneider & McGrew, 2012).

Les capacités de la strate moyenne explicitées dans le tableau A.2-1 agglomèrent des capacités plus fines. Celles visuo-spatiales auxquelles nous nous intéressons de manière plus précise se déclinent selon le modèle CHC en 11 capacités, explicitées à la page 253 dans le tableau A.2-2, avec la visualisation (*visualization Vz*) comme capacité visuo-spatiale principale.

2.3. Capacités visuo-spatiales : définitions

Différentes catégorisations des facteurs qui composent ces capacités visuo-spatiales ont eu cours. McGee (1979) en distingue deux : la visualisation spatiale et l'orientation spatiale. Une déclinaison en relations spatiales, orientation spatiale et visualisation spatiale est issue de Lohman (1979), une autre en perception mentale, rotation mentale et visualisation spatiale est faite par Linn & Petersen (1985). Une assez large étude sur les facteurs, conduite par Carroll (1993), identifie cinq facteurs dans le domaine de la perception visuelle : la visualisation, les relations spatiales, la vitesse de fermeture, la flexibilité de fermeture, et la vitesse de perception. Une autre logique de classification, reposant sur la nature intrinsèque ou extrinsèque des caractéristiques des objets et du dynamisme des opérations qu'elles requièrent, conduit à une classification en capacités visuo-spatiales de nature : intrinsèques-statiques, intrinsèques-dynamiques, extrinsèques-statiques et extrinsèques-dynamiques

(Newcombe & Shipley, 2015). La classification du modèle CHC précédemment présenté est cependant la plus large.

Les définitions usitées sont également assez diverses. Ainsi les capacités visuo-spatiales renvoient de manière générale à l'aptitude à représenter, transformer, générer et rappeler de l'information symbolique non linguistique (Linn & Petersen, 1985). De façon spécifique, les capacités visuo-spatiales, dans leur dimension liée à la visualisation spatiale font référence à la faculté de générer, retenir et manipuler des images visuelles abstraites (Lohman, 1979), ou à la capacité de faire pivoter mentalement, de manipuler et de tordre des objets à deux et à trois dimensions (McGee, 1979). La dimension relative à l'orientation spatiale relève quant à elle de la capacité à imaginer la manière dont un stimulus se présenterait sous un autre angle de vue (Lohman, 1979), ou à l'appréhension de la disposition de différents éléments dans un ensemble, la capacité à distinguer les différentes orientations prises par les éléments d'une situation spatiale, et la capacité à s'orienter dans l'espace (McGee, 1979).

Dans cette diversité d'acceptions voire de points de vue nuancés en apparence, il existe actuellement un consensus autour du modèle CHC qui reprend la définition de Lohman.

2.4. Mesure de la visualisation spatiale

La mesure des capacités visuo-spatiales en lien avec la visualisation spatiale se fait essentiellement au moyen de tests psychométriques qui, selon Carroll (1993), consistent en : la reconstitution d'objets sur formulaires papiers, la reconnaissance et le comptage de blocs identiques, l'identification de positions d'objets en rotation, la localisation de positions de marques sur la représentation de papier plié, l'identification de correspondances en développant des surfaces entre représentations en 3D et en 2D, la reconnaissance d'images selon les points de vue, la compréhension de mouvements mécaniques. Les tests les plus couramment utilisés en ingénierie mécanique, d'après (Kelly Jr, Branoff, & Clark, 2014; Sorby & Baartmans, 2000), sont :

- le test d'aptitude différentielle - relations spatiales - DAT-SR³, qui comporte 50 questions consistant à reconnaître parmi quatre propositions, la représentation 3D correspondant à une figure dépliée présentée ;
- le test de rotation mentale - MRT⁴, composé de 20 questions où il faut retrouver deux

³ Differential aptitude test – space relations

⁴ Mental rotation test

représentations, sur quatre proposées, du même objet dans différentes positions ;

- le test de coupe mentale - MCT⁵, comportant 25 questions de reconnaissance, parmi cinq choix possibles, d'une section plane d'un objet représenté en 3D ;
- le test de visualisation spatiale en rotation de Purdue - PSVT-R⁶, qui comporte 30 questions consistant à retrouver la bonne représentation, parmi cinq propositions, d'un objet en 3D ayant subi la même rotation qu'un objet témoin.

2.5. Relations entre capacités visuo-spatiales et apprentissage

2.5.1. Malléabilité des capacités visuo-spatiales

Le caractère malléable des capacités visuo-spatiales, c'est-à-dire le fait qu'elles soient améliorables par la formation, est reconnu à travers une méta analyse de 217 publications faites entre 1984 et 2009 (Uttal et al., 2013). Des travaux reposant sur un parcours de formation en dessin et géométrie descriptive avec des exercices de manipulation mentale d'objets représentés en 2D ou 3D, précédés d'un pré-test et suivis d'un post test de mesure de la rotation mentale avec des apprenants primo-entrants dans des spécialités d'ingénierie (Ault & John, 2010 ; Sorby & Baartmans, 2000) montrent l'amélioration des scores au post test, comparés à ceux du pré-test. Dans un contexte identique et par le biais d'une étude longitudinale des résultats similaires furent observés (Sorby & Veurink, 2010). L'utilisation du test de coupe mentale et celui d'aptitude différentielle de relations spatiales associés au précédent, pour mesurer les capacités visuo-spatiales, permirent, avec des apprenants de niveau et de spécialités identiques, de tirer les mêmes conclusions quant aux effets de la formation sur les capacités visuo-spatiales (Leopold, Gorska, & Sorby, 2001).

Cette amélioration est possible par le biais de formations reposant sur des objets 3D physiques, chez des apprenants de licence (Kornkasem & Black, 2015) ou virtuels sur supports numériques chez des collégiens (Erkoc, Gecu, & Erkoc, 2013). Des travaux entrepris avec des exercices reposant sur : un modelleur 3D libre (Martín-Dorta, Saorín, & Contero, 2008), l'utilisation de la réalité augmentée chez des élèves ingénieurs mécaniciens primo-entrants (Martín-Gutiérrez et al., 2010), le recours à un environnement virtuel chez des étudiants en première année universitaire de formation d'enseignants du préscolaire (Diplas & Komis, 2012), corroborent ces résultats. Il en est de même de l'usage de la

⁵ Mental cutting test

⁶ Purdue spatial visualization test - rotation

robotique chez des élèves de l'élémentaire (Julià & Antolí, 2016). L'amplitude des apports, fonction du dynamisme et de la stéréoscopie des supports, est cependant dépendante du niveau initial des capacités visuo-spatiales des apprenants (Froese, Tory, Evans, & Shrikhande, 2013).

Cette relation entre capacités visuo-spatiales et formation est réciproque, notamment dans les STEM⁷, car il existe un lien qui relève de l'influence positive des capacités visuo-spatiales sur la réussite dans ces disciplines (Hsi, Linn, & Bell, 1997 ; Wai, Lubinski, & Benbow, 2009), spécifiquement en génie mécanique (Ha & Fang, 2015) et dans des métiers proches, tel celui de charpentier (Cuendet, Dehler-Zufferey, Arn, Bumbacher, & Dillenbourg, 2014). De manière précise, ces effets sont marquants dans la conception de produits, notamment la conception en 3D (Liao, 2017), il en est de même pour la capacité à produire à l'aide d'un modèleur, des dessins de définition en 3D de pièces constituant un ensemble représenté sous une forme plane (Branoff & Dobelis, 2013). Ce lien entre capacités visuo-spatiales et conception mécanique a trait précisément à l'effet positif qu'elles ont sur les performances en dessin technique (Potter & van der Merwe, 2001), allant même jusqu'à les positionner comme prédicteurs de ces performances en dessin technique (Adanez & Velasco, 2002 ; Sorby, Nevin, Behan, Mageean, & Sheridan, 2014).

2.5.2. Capacités visuo-spatiales et réussite en sciences et technologie

Partant du fait que la créativité des apprenants est corrélée à leurs capacités spatiales et que les modèleurs 3D surmontent les obstacles à l'expression spatiale dans le processus de conception, il a été question de s'intéresser aux effets des modèleurs 3D sur la créativité des apprenants en conception (Chang, 2014) ; Ainsi Les capacités spatiales des élèves sont faiblement corrélées à leur créativité fonctionnelle. Les modèleurs 3D améliorent les performances créatives des élèves du point de vue esthétique. Dans l'utilisation des modèleurs 3D, les apprenants avec des capacités spatiales élevées présentent de meilleurs résultats comparés à ceux ayant des capacités spatiales plus faibles. Cet écart devient assez significatif quant au caractère innovant et esthétique des solutions conçues, il l'est moins en ce qui concerne la fonctionnalité.

Il est largement admis une existence de différences liées au genre en termes de capacités spatiales (Cooke-Simpson & Voyer, 2007 ; Devon, Engel, & Turner, 1998 ; Németh &

⁷ Science Technology Engineering and Mathematics

Hoffmann, 2006), et leur amplitude, les effets des instruments de mesure sur ces différences, les aspects des capacités spatiales dans lesquels ces différences se manifestent et la période à laquelle ces différences sont initialement détectées dans le courant de la vie humaine ont été abordés.

Les différents auteurs abordent les questions de capacités spatiales selon quatre perspectives : différentielle, psychométrique, cognitive, stratégique (Linn & Petersen, 1985). Les différences liées au genre en termes de capacités spatiales sont notées pour certains types de capacités spatiales et pas d'autres. Des différences importantes sont relevées en ce qui concerne la rotation mentale. Des différences plus faibles sont enregistrées quant à la perception spatiale. Lorsque ces différences existent elles peuvent être détectées toute la vie durant (Linn & Petersen, 1985). Les conditions de mesure des capacités spatiales, notamment la limitation dans le temps (Maeda & Yoon, 2013), ainsi que le sentiment de confiance et d'estime de soi (Moè, 2009), impactent les différences notées en lien avec le genre.

De l'exploration d'un lien probable qui existerait entre capacité spatiales et perception des mouvements, il ressort que les capacités spatiales sont corrélées aux performances dans une tâche de vérification de mouvements (Hegarty & Sims, 1994).

De même l'investigation des effets de l'assistance numérique à la réalisation de dessins en perspective, sur l'orientation spatiale et l'exécution de dessins en perspective, chez des élèves de 8th grade (équivalent de la quatrième), conduit à la conclusion qu'elle améliore l'orientation spatiale et la capacité à produire des dessins en perspective (Kurtulus, 2011).

S'appuyant sur le fait que des travaux précédents ont montré la possibilité d'améliorer les performances en rotation mentale par la formation de même que l'existence d'un lien entre la rotation manuelle et celle mentale, l'intérêt pour les effets des rotations mentale et manuelle virtuelle sur les performances en termes de rotations mentale et manuelle devient actuel. Il est montré que la rotation manuelle nécessite des processus supplémentaires en dehors de ceux qui sont à l'œuvre dans la rotation mentale. La formation destinée à améliorer la rotation manuelle affecte à la fois les performances en rotation manuelle et mentale. La formation destinée à améliorer la rotation mentale n'a d'effet significatif que sur les performances en rotation mentale (Adams, Stull, & Hegarty, 2014).

Dans une tendance globale de généralisation de la CAO au détriment du dessin à la main, quelle est la qualité de lecture de dessins techniques des apprenants en ingénierie et technologie, y a-t-il un lien entre la lecture de dessins techniques et la capacité de visualisation spatiale ? Les apprenants sont-ils capables, à partir d'un dessin d'ensemble, d'en interpréter les différentes parties et de les représenter à l'aide d'un outil de CAO ? Cette capacité est-elle liée à leurs scores aux tests standard de mesure de la capacité de visualisation spatiale ?

Les scores au test de PSVT-R sont corrélés à la qualité de production de dessins de définition en 3D de pièces constituant un ensemble dont le plan est fourni en 2D. La capacité à produire à l'aide d'un modèleur, des dessins de définition en 3D de pièces constituant un ensemble représenté sous une forme plane est liée à la capacité de visualisation spatiale (Branoff & Dobelis, 2013).

2.6. Représentations externes et outils numériques en conception

2.6.1. Les représentations externes : un point de vue de la cognition distribuée

La cognition distribuée, comme cadre d'analyse, s'est nourrie des travaux de Hutchins (1995) et postule un système cognitif distribué entre les artefacts cognitifs ou représentations externes et les représentations ou modèles internes construits par les individus, parmi les individus et à travers le temps et l'espace (Hollan, Hutchins, & Kirsh, 2000 ; Zhang & Patel, 2006). Les représentations externes renvoient à la connaissance et à la structuration dans l'environnement, aux symboles, objets ou dimensions physiques, aux règles, contraintes ou relations externes intégrées dans des configurations physiques (Zhang, 1997).

De ce point de vue, les représentations externes ne constituent pas seulement des aides cognitives accessoires, elles peuvent : être des aides mémorielles, fournir des informations pouvant directement être perçues et utilisées sans la moindre interprétation ou explicitation, induire et conditionner le comportement cognitif, changer la nature des tâches en les simplifiant. Les représentations externes sont alors une part indispensable du système représentationnel des tâches cognitives distribuées (Zhang & Norman, 1994), elles rendent la réflexion plus fructueuse et permettent de conceptualiser nombre de phénomènes et d'idées qui seraient inaccessibles à la pensée sans elles (Kirsh, 2010).

2.6.2. Les représentations externes en conception mécanique

Des travaux de recherche ont visité la question de la place des représentations externes, pour en montrer l'importance (D. G. Ullman, Wood, & Craig, 1990), et de l'apport des outils numériques d'assistance au dessin ou à la conception dans l'activité du dessinateur ou du sujet concepteur tant en architecture qu'en ingénierie mécanique (Kurtulus, 2011 ; Laisney & Brandt-Pomares, 2014 ; Martin & Velay, 2010 ; Musta'amal, Norman, & Hodgson, 2009 ; Robertson & Radcliffe, 2009 ; Tovey, 1989).

En conception, les représentations externes peuvent être considérées comme des aides à la réflexion (Cross, Christiaans, & Dorst, 1994 ; D. G. Ullman et al., 1990), et les avantages des représentations externes de nature graphique face à celles de nature textuelle ont été notées (McKoy, Vargas-Hernández, Summers, & Shah, 2001). Ainsi, il est relevé l'utilité de la production d'esquisses dans l'émergence de solutions originales et la contribution de la modélisation dans la production de solutions présentant un caractère fonctionnel plus abouti (Acuna & Sosa, 2011). La question de la variation de la manière d'utiliser les représentations externes en fonction du type d'activité de conception et de la phase du processus de conception conduit au constat que l'esquisse est l'un des moyens essentiels de représentation tout au long du processus de conception. Elle soutient l'activité de conception et de communication en particulier et joue un rôle de taille dans la phase de cadrage du problème à résoudre (Cardella, Atman, & Adams, 2006).

La catégorie du contenu d'information perçu par les architectes dans leurs esquisses manuelles est explorée à travers l'analyse des interactions entre les différents types d'information selon le niveau d'expertise du concepteur. Suite à cela, il s'avère que les architectes expérimentés ont des phases plus longues d'attention comparés aux apprenants, cela indique qu'ils réfléchissent plus en profondeur sur le sujet avant de porter leur attention sur d'autres éléments ou aspects du problème. Ceci du fait qu'ils sont capables de cerner les formes, angles et tailles, qui sont par nature des attributs visuels de représentations, rendant leurs phases d'attention plus productives. De plus, les architectes sont capables de déceler de nombreuses relations fonctionnelles dans les objets de leur focalisation, en particulier les caractéristiques et les réactions abstraites, des éléments représentés. Ils sont en mesure de mener une réflexion de conception durant les phases de focalisation (Suwa & Tversky, 1997).

Dans un contexte où les esquisses conceptuelles sont considérées comme primordiales dans le processus de conception, les découvertes inattendues à travers les esquisses étant essentielles à la créativité. Il est question de la manière dont ces découvertes surviennent chez les concepteurs et des conditions dans lesquelles ces découvertes se produisent (Suwa, Gero, & Purcell, 1999, 2000). Les résultats montrent que les découvertes inattendues sont de trois types : celles en lien avec les relations, celles relatives au visuel et aux caractéristiques et celles de type spatial implicite. Leurs éléments déclencheurs sont alors de nature sensorielle et de nature conceptuelle. Les découvertes inattendues liées aux relations sont favorisées par les déclencheurs sensoriels, celles relatives au visuel et aux caractéristiques relèvent à la fois des déclencheurs sensoriels et conceptuels. Par contre les découvertes inattendues de type spatial implicite n'ont aucun lien avec l'un ou l'autre déclencheur. Il est à noter que l'essentiel des occurrences de découvertes inattendues sont en lien, d'après les travaux précédents, avec les relations et le spatial implicite. De même la production d'esquisse dans la phase d'idéation, bien que n'augmentant pas la durée d'analyse du problème, conduit à une meilleure analyse des liens entre composants d'un système complexe tout en réduisant le niveau de difficulté perçue du problème (Sachse, Hacker, & Leinert, 2004).

Il convient cependant de noter que d'autres formes de représentations externes telles que les diagrammes, les arbres fonctionnels en l'occurrence, présentent plus de bénéfice, dans la phase de génération d'idées, pour la réduction de la fixation en comparaison aux esquisses graphiques comme le montrent les travaux de Atilola, Tomko, & Linsey (2016).

2.6.3. Conception assistée par ordinateur et apprentissage de la conception

Le développement de la technologie a donné lieu à l'essor d'aides numériques à la conception ou *computer aided design* (CAD), de manière spécifique, les modelleurs sont mis à contribution dans la définition des formes des systèmes mécaniques en conception. Ces outils donnent accès à une représentation du réel, un modèle donc, pouvant être considéré comme *objet intermédiaire* numérique au sens de Mer et al. (1995).

Robertson & Radcliffe (2009) montrent que l'utilisation des outils de CAO améliore la représentation et la communication, la fixation prématurée et la pensée localisée, par contre son effet sur l'idéation circonscrite est moins important.

Tovey (1989) identifie des avantages des outils de conception assistée par ordinateur dans l'évaluation, l'intégration et l'évolution de la conception. Ainsi, l'assistance par ordinateur de la réalisation de dessins en perspective améliore l'orientation spatiale et la capacité à produire des dessins en perspective (Kurtulus, 2011).

Pour des élèves de l'élémentaire, l'apprentissage du dessin se fait-il plus facilement avec des outils numériques ? Ce questionnement de Martin & Velay (2010) trouve comme réponse le fait que l'usage de l'ordinateur permet de meilleures performances quand il s'agit de copier une figure, mais aucun avantage n'est noté comparativement au dessin manuel dans la représentation d'une figure, de mémoire.

Laisney & Brandt Pomares (2014) abordent la question en ces termes : en situation d'enseignement et d'apprentissage, l'utilisation d'outils graphiques intermédiaires, en phase de recherche de solutions dans une activité de conception, influe-t-elle sur les performances des élèves ? Le cas échéant, dans quel sens ? Les apprenants produisent-ils plus de solutions en s'affranchissant des outils de CAO ? Est-ce que les activités de CAO encouragent la modélisation de solutions particulières ? Le dessin à la main préalable aux activités de CAO soutient-il la production de solutions diverses et la précision dans leur définition ? Leurs travaux constatent le fait que l'utilisation du dessin à main levée en prélude à celle des outils CAO, dans une activité de conception, permet aux apprenants de produire plus de solutions. Ainsi, lorsque la phase de recherche de solutions est entièrement assistée par ordinateur, il est noté que l'exploration du champ du possible est réduite nuisant alors à la pluralité des solutions. De même, selon le niveau de familiarité avec le logiciel de CAO, une plus ou moins grande partie des ressources de l'apprenant est mobilisée dans la maîtrise de l'outil au détriment de l'activité de recherche et de production de solutions proprement dite.

En gros Laisney & Brandt Pomares (2014) montrent que lorsque les outils de CAO offrent plus d'opportunités qu'ils ne contraignent, le champ du possible s'en trouve élargi.

L'utilisation des outils de CAO peut être de manière certaine associée à la créativité, les activités supportées par ces outils laissant transparaître des comportements foncièrement créatifs (Musta'amal et al., 2009 ; Musta'amal, Norman, Jabor, & Buntat, 2012). Dans la même veine il est identifié deux types d'utilisateurs des outils de CAO dans l'activité de conception, à travers la perception que ces derniers ont du potentiel de ces outils : les *enregistreurs* et les *concepteurs*. De ce constat, il relève que les concepteurs prévoyant un

usage de l'outil de CAO tout au long du processus de conception se montreront plus créatifs que les autres qui le sont tout de même mais dans une moindre mesure.

En explorant les transformations de l'activité de conception qui seraient prévisibles avec l'usage d'outils numériques d'esquisse 3D et leur impact sur l'activité de conception, Safin, Leclercq, & Decortis (2007), découvrent l'émergence d'un processus de conception par superposition à partir du premier niveau, rendant le modèle 3D structurant pour la conception par superposition.

L'exploration des avantages comparatifs des animations par rapport aux images statiques, sur les résultats des apprentissages, et des variables modératrices des effets constatés, positionne les animations devant les images statiques dans l'amélioration des résultats de l'apprentissage (Höffler & Leutner, 2007) à trois niveaux :

- le rôle de l'animation : celles représentatives sont meilleures que celles décoratives
- le type de connaissances requises : les animations destinées à la construction de connaissances motrices procédurales sont plus efficaces que celles visant des connaissances déclaratives ou de résolution de problèmes
- le degré de réalisme : les animations avec un niveau de réalisme approprié au contenu permettent d'atteindre un meilleur résultat.

Sous un autre angle une comparaison est faite entre les méthodes traditionnelles d'enseignement et celles basées sur les jeux et simulations interactives au regard des circonstances et des résultats d'apprentissage (Vogel et al., 2006) pour établir la domination des jeux et simulations interactives en ce qui concerne les gains cognitifs. Cependant la prise en compte de certaines variables atténuantes conduit à un tableau moins trivial :

- les femmes montrent une préférence pour les jeux et simulations là où les hommes n'en montrent aucune ;
- lorsque les apprenants sont libres de naviguer à travers le programme, ils montrent une plus grande préférence pour les jeux et simulations ;
- lorsque la progression est dictée par les enseignants, aucun avantage n'est noté ;
- lorsque la progression est dictée par l'ordinateur, les méthodes traditionnelles présentent un certain avantage (Vogel et al., 2006).

Dans cette même lancée de compréhension des apports des simulations, viser à cerner le lien qui existerait entre qualité d'apprentissage, interactivité offerte par un matériel multimédia (animation ou simulation) et situation d'apprentissage (individuelle ou collaborative) devenait légitime. Il en ressort que quelle que soit la situation, individuelle ou collaborative, le contrôle de l'apprenant sur un matériel multimédia (interactivité) ne favorise pas outre mesure le niveau de compréhension du phénomène présenté. Cependant, pour un même niveau de compréhension, le temps nécessaire pour l'atteindre est plus court dans une situation de simulation interactive comparée à une situation d'animation non interactive. Ainsi la simulation (interactive) ne peut être jugée plus efficace en termes d'apprentissage qu'une animation (non interactive) mais plutôt plus efficiente (rapide). Cette interaction de l'apprenant avec la simulation est cependant source d'activité et de stimulation plus importante pour un apprenant en situation individuelle que ne l'est une animation (absence d'interaction). En situation collaborative que ce soit avec une simulation ou une animation le niveau d'activité et de stimulation sont quasiment pareils (Rebetez & Bétrancourt, 2007).

De la même manière, s'appuyant sur les travaux antérieurs ayant montré un bénéfice de l'interactivité des simulations sur l'apprentissage, bien que selon le niveau d'expertise des apprenants l'effet contraire a été noté, Park, Lee, & Kim (2009) recherchent les liens probables entre les simulations interactives et les connaissances préalables. Leurs travaux explorent la question de la manière dont le niveau des connaissances préalables des apprenants et le caractère interactif des simulations influent sur la qualité de compréhension conceptuelle, la charge cognitive et la qualité d'apprentissage.

Ainsi, le niveau élevé de connaissances préalables des apprenants, quel que soit le degré d'interactivité offert par les simulations, favorise la compréhension des concepts, l'efficacité de l'apprentissage et réduit la charge cognitive. Le faible niveau de connaissances préalables, quel que soit le degré d'interactivité offert par les simulations, ne présente pas d'effet significatif sur la compréhension des concepts. Avec des simulations à faible degré d'interactivité, Le faible niveau de connaissances préalables est favorable à l'efficacité de l'apprentissage et à la réduction de la charge cognitive en comparaison aux simulations à fort degré d'interactivité. (S. I. Park et al., 2009).

Également les représentations planes (2D) et les animations volumiques en 3D ont été comparées du point de vue de leur efficacité dans un cours de représentation orthogonale (Wu & Chiang, 2013). Alors, lorsque les objets présentés sont de formes complexes

(obliques ou avec surfaces à double courbure) les animations en 3D en favorisent mieux la compréhension et réduisent la charge cognitive chez l'apprenant en comparaison aux représentations planes en 2D.

La controverse née des avantages comparatifs supposés des représentations statiques ou dynamiques conduit à se demander s'il y a un lien entre le type de représentation montré aux apprenants (3D statique à l'ordinateur, 3D dynamique à l'ordinateur ou impression 3D dynamique) et leur capacité à correctement produire une vue en coupe de l'objet présenté. Pour Katsioloudis, Dickerson, Jovanovic, & Jones (2015), il n'y a pas de lien significatif établi entre le type de représentation montré aux apprenants (3D statique à l'ordinateur, 3D dynamique à l'ordinateur ou impression 3D dynamique) et leur capacité à correctement produire une vue en coupe de l'objet présenté.

2.7. Synthèse du chapitre 2

Les capacités visuo-spatiales : une composante des capacités cognitives.	Les capacités visuo-spatiales relèvent du traitement visuel considéré comme un facteur des capacités cognitives. Ces dernières étant constituées de 16 composantes que sont : l'intelligence fluide - le raisonnement, l'intelligence cristallisée - la connaissance, la connaissance générale - spécifique à un domaine, le traitement visuel, le traitement auditif, la mémoire à court terme, le stockage à long terme et la récupération, la vitesse de réaction et de décision, la vitesse de traitement cognitif, la vitesse psychomotrice, la lecture et l'écriture, les connaissances quantitatives, les capacités psychomotrices, les capacités olfactives, les capacités tactiles et les capacités kinesthésiques.
---	---

La visualisation : une composante des capacités visuo-spatiales mesurée par des tests	La visualisation est la principale composante des capacités visuo-spatiales, c'est-à-dire celles relevant du traitement visuel. La visualisation est la capacité à percevoir des motifs complexes et à simuler mentalement à quoi ils pourraient ressembler une fois transformés (par exemple, pivotés, modifiés, partiellement masqués) De nombreux tests ont été conçus dans le but de mesurer les capacités visuo-spatiales. Le <i>Purdue spatial visualization test of rotations</i> (PSVT-R), le <i>mental rotation test</i> (MRT) et le <i>mental cutting test</i> (MCT) sont couramment utilisés en mécanique pour mesurer la capacité de visualisation spatiale.
Des liens réciproques positifs entre capacités visuo-spatiales et apprentissage	Les capacités visuo-spatiales sont malléables : elles peuvent être améliorées par la formation et par les diverses expériences vécues. Il est montré que les apprenants avec les capacités visuo-spatiales les plus élevées réussissent mieux dans de nombreux domaines liés aux sciences et à la technologie.
Des représentations externes de nature numérique présentant des bénéfices dépendants du contexte	Les représentations externes, de manière générale y compris celles numériques, constituent des aides essentielles dans la compréhension des systèmes et des processus et dans la genèse des idées. Celles de nature numérique contribuent à la réduction de la charge cognitive, à l'amélioration de la représentation, à la créativité. Les avantages que présentent ces représentations externes sont variables selon les individus.

Chapitre 3. PROBLÉMATIQUE : liens entre capacités visuo-spatiales et représentations externes dans une activité de conception

3.1. Capacités spatiales et formation en conception mécanique : effets réciproques

Il ressort de nombreux travaux de recherche, évoqués dans les chapitres précédents, la présence d'une influence réciproque entre les capacités visuo-spatiales en termes de visualisation spatiale, et l'apprentissage de l'ingénierie mécanique. Lesdites capacités favorisant un meilleur apprentissage des sciences et de la technologie (Ha & Fang, 2015 ; Hsi et al., 1997 ; Wai et al., 2009), en termes de conception et de représentation des objets en 2D ou 3D (Adanez & Velasco, 2002 ; Branoff & Dobelis, 2013 ; Liao, 2017 ; Martín-Dorta et al., 2008 ; Potter & van der Merwe, 2001 ; Sorby et al., 2014), et réciproquement la formation préalable dans les domaines des sciences et de la technologie améliorant les capacités visuo-spatiales (Ault & John, 2010 ; Sorby & Veurink, 2010 ; Uttal et al., 2013), par le biais de représentations externes de différentes natures et revêtant divers attributs (Erkoc et al., 2013 ; Froese et al., 2013 ; Julià & Antolí, 2016 ; Kornkasem & Black, 2015 ; Martín-Dorta et al., 2008 ; Martín-Gutiérrez et al., 2010).

3.2. Apports partiels des représentations externes dans la conception

Les représentations externes, notamment celles de nature graphique, constituent des aides précieuses à la réflexion et à la génération de solutions (Cardella et al., 2006 ; Cross et al., 1994 ; McKoy et al., 2001 ; Sachse et al., 2004 ; Suwa et al., 1999 ; Suwa & Tversky, 1997 ; Ullman et al., 1990). Il en est de même des outils de CAO qui permettent la production de représentations externes sur supports numériques (Kurtulus, 2011 ; Musta'amal et al., 2009, 2012 ; Robertson & Radcliffe, 2009 ; Safin et al., 2007 ; Tovey, 1989). Les effets de la stéréoscopie et du dynamisme des représentations externes ont été explorés : quelques avantages du caractère dynamique de ces dernières sur l'apprentissage ont été révélés (Höffler & Leutner, 2007 ; Park et al., 2009 ; Rebetez & Bétrancourt, 2007 ; Vogel et al., 2006) de même que leur caractère stéréoscopique (Cartonnet, 1999 ; Cartonnet & Poitou, 1996 ; Wu & Chiang, 2013).

Cependant, il convient de relativiser les bénéfices qui précèdent quant à la stéréoscopie et au dynamisme des représentations externes (Katsioloudis et al., 2015) et aux outils numériques d'aide au dessin (Géronimi, de Vries, Prudhomme, & Baillé, 2005 ; Laisney & Brandt-Pomares, 2014 ; Martin & Velay, 2010).

3.3. Contexte Sénégalais : des prescriptions tendant à la diversification des OPC

Dans un contexte Sénégalais de formation de techniciens supérieurs en électromécanique marqué par des décisions politiques au plus haut niveau, allant dans le sens de la mise des technologies numériques au cœur du développement de l'enseignement (Conseil présidentiel pour l'Enseignement supérieur et la Recherche, 2013), traduites à l'échelle des référentiels par des prescriptions consistant à représenter les systèmes mécaniques par différents types de modèles et sur des supports divers, allant du papier au matériel en passant par le numérique. Dans un tel environnement, à l'image du monde professionnel, les outils de conception assistée par ordinateur (CAO) semblent gagner en place et en intérêt dans l'enseignement de la conception mécanique.

Ainsi la matérialisation des prescriptions allant dans le sens de la diversification et de la multiplication des représentations externes mériterait une connaissance fine des interactions des apprenants avec ces derniers. De manière spécifique, en raison des liens établis entre capacités visuo-spatiales et apprentissage en génie mécanique, comment dans une activité de conception, les apprenants interagissent-ils avec les différentes représentations externes soutenant leur réflexion en fonction de leurs capacités visuo-spatiales ?

3.4. Représentations externes, capacités spatiales et processus de co-conception

Compte tenu des liens, précédemment mis en lumière entre représentations externes et conception d'une part et capacités visuo-spatiales et formation en sciences et technologie d'autre part, il convient de s'interroger quant à l'influence que pourraient avoir les capacités visuo-spatiales des apprenants sur l'activité de conception mécanique dans laquelle ils sont engagés ainsi que sur la nature et les attributs des représentations externes qu'ils y mettent à contribution. De manière précise un besoin de comprendre l'orientation que prend le processus de co-conception ainsi que les intrications entre ses composantes nous pousse au questionnement qui suit.

3.4.1. Question principale

Nous formulons alors la question principale de notre étude sous cette forme : Quelles sont les caractéristiques du processus en cours dans l'activité de co-conception mécanique, conduite par des apprenants, en relation avec les capacités visuo-spatiales de ces derniers et les attributs des outils et représentations externes avec lesquels ils interagissent ? de manière plus précise, les capacités visuo-spatiales des apprenants sont-elles liées à la nature des représentations externes auxquelles ils ont recours et à celle des actions qu'ils entreprennent dans une activité collaborative de conception mécanique ?

3.4.2. Questions spécifiques et hypothèses

3.4.2.1. Question 1

La nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants est-elle liée à leurs capacités visuo-spatiales ?

- Hypothèse 1-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles recourent plus aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.
- Hypothèse 1-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés ont plus recours aux représentations externes planes et à celles sur papier.
- Hypothèse 1-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles ont plus précocement recours aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.

3.4.2.2. Question 2

Les actions initiées par les apprenants sont-elles en rapport avec leurs capacités spatiales ?

- Hypothèse 2-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'activent plus dans des actions de production et d'évaluation de solutions.
- Hypothèse 2-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, s'investissent plus dans des actions visant une meilleure compréhension de leur part, tant du problème que des solutions.

- Hypothèse 2-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, débutent plus tard la phase de genèse de solutions.

3.4.2.3. Question 3

La nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants, lors de la genèse de solutions, est-elle en lien avec leurs capacités visuo-spatiales ?

- Hypothèse 3-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier.
- Hypothèse 3-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques.
- Hypothèse 3-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus recours aux représentations planes, ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
- Hypothèse 3-4 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
- Hypothèse 3-5 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, initient plus précocement des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier.
- Hypothèse 3-6 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus tôt des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques.

- Hypothèse 3-7 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus tôt recours aux représentations planes ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
- Hypothèse 3-8 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus précocement recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.

3.5. Objectifs de recherche

Nous poursuivons dans ce travail les objectifs suivants :

- Caractériser les interactions entre les apprenants et les représentations externes qui jalonnent le processus de conception en fonction de leurs capacités spatiales
- Caractériser le processus de conception et les stratégies des apprenants en fonction des représentations externes mises à contribution
- Identifier les relations entre les capacités spatiales des apprenants et l'orientation et la structuration du processus de conception.

3.6. Synthèse du chapitre 3

Question principale : les capacités visuo-spatiales des apprenants sont-elles liées à la nature des représentations externes auxquelles ils ont recours et à la nature des actions qu'ils entreprennent dans une activité collaborative de conception mécanique ?	Les objectifs poursuivis à travers cette question sont : La caractérisation des interactions entre les apprenants et les représentations externes qui jalonnent le processus de conception en fonction de leurs capacités visuo-spatiales La caractérisation du processus de conception et des stratégies des apprenants en fonction des représentations externes mises à contribution L'identification des relations entre les capacités visuo-spatiales des apprenants et l'orientation et la structuration du processus de conception
Question 1 : La nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants est-elle liée à leurs capacités visuo-spatiales ?	Hypothèse 1-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles recourent plus aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique. Hypothèse 1-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés ont plus recours aux représentations externes planes et à celles sur papier. Hypothèse 1-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles ont plus précocement recours aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.

Question 2 : Les actions initiées par les apprenants sont-elles en rapport avec leurs capacités visuo-spatiales ?	Hypothèse 2-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'activent plus dans des actions de production et d'évaluation de solutions. Hypothèse 2-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, s'investissent plus dans des actions visant une meilleure compréhension de leur part, tant du problème que des solutions. Hypothèse 2-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, débutent plus tard la phase de genèse de solutions.
--	---

Question 3 : La nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants, lors de la genèse de solutions, est-elle en lien avec leurs capacités visuo-spatiales ?	Hypothèse 3-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier. Hypothèse 3-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques. Hypothèse 3-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus recours aux représentations planes, ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions. Hypothèse 3-4 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus recours aux représentations spatiales ou à celles
---	--

	numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions. Hypothèse 3-5 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, initient plus précocement des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier. Hypothèse 3-6 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus tôt des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques. Hypothèse 3-7 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus tôt recours aux représentations planes ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions. Hypothèse 3-8 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus précocement recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
--	---

Chapitre 4. APPRENANTS EN CO-CONCEPTION : MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ

Nous présentons dans ce chapitre les éléments théoriques qui servent de soubassement au présent travail. Il nous sera ici possible d'exposer le sens que nous donnons, en mécanique, à l'activité de conception collaborative, ou co-conception impliquant des apprenants. L'angle sous lequel nous analysons cette activité, dans la complexité des interactions entre sujets concepteurs eux-mêmes, et entre ces derniers et l'objet de conception, prenant en compte les différents outils ou artéfacts entrant en jeu dans ces interactions, s'inspire de ces bases théoriques. Dans cette mise en lumière de l'activité collaborative de conception, un accent particulier est mis sur les théories tendant à éclairer la nature des actions entreprises par les apprenants dans un contexte marqué par la multiplicité de formes sous lesquelles l'objet de conception peut être représenté, dans les différents états qu'il prend tout le processus durant.

Cette partie sera structurée de manière à présenter les différents travaux ayant théorisé de manière générale les activités des individus, précisément celles impliquant plusieurs individus autour d'une même tâche de résolution de problème. Elle se focalisera ensuite sur ceux ayant de manière spécifique exploré les activités de conception collaborative avec la prise en compte des implications des représentations externes dans de telles activités.

4.1. Fondements théoriques : de la théorie de l'activité à la cognition distribuée

4.1.1. Théorie de l'activité

Le développement de la théorie de l'activité, née de la psychologie Russe avec comme précurseur Rubinstein, repose sur le principe d'unicité et d'indissociabilité de la conscience humaine et de l'activité. Se démarquant des paradigmes behavioristes qui accordaient un intérêt mineur à la composante mentale dans l'activité des individus, ce principe réclame une relation de dépendance réciproque entre conscience et activité dans la mesure où l'activité de l'individu modèle son esprit du point de vue de la conscience, des associations, des propriétés et processus psychiques. En retour, la conscience humaine constitue un régulateur de l'activité et détermine sa réalisation, à travers la conscience que l'humain s'en construit (Rubinstein, 2007).

S'inscrivent dans le même postulat d'inséparabilité entre conscience et activité, les travaux de Vygotsky, fondateurs de la psychologie historico-culturelle d'origine Russe pour laquelle l'activité est l'unité d'analyse du réel. Critiquant les principes behavioristes de stimuli-réponse, la position défendue par Vygotsky avance que l'activité humaine, à la différence de l'activité des animaux, poursuit un but. Elle est faite d'interactions entre le sujet humain et l'objet de l'activité faisant intervenir des outils ou artéfacts physiques ou psychologiques (Vygotsky, 1978) comme médiateurs (figure A.3-1, page 254). Ainsi, la conscience humaine ne peut exister et se percevoir que dans un contexte d'interactions significatives, ayant un objet et socialement déterminées, avec l'environnement matériel (Kaptelinin, Kuutti, & Bannon, 1995).

Le cadre conceptuel de la théorie de l'activité fut élaboré par Leontiev dans le sillage de la psychologie historico-culturelle de Vygotsky et se donne comme principes de base : l'orientation vers un objet, les concepts d'internalisation et d'externalisation, la médiation par les outils, la structure hiérarchique de l'activité et le développement continu. L'orientation vers un objet renvoie aux motivations de l'activité, qui souvent relèvent des besoins humains, qu'ils soient de nature biologique ou psychologique (Kaptelinin & Nardi, 2006). L'internalisation et l'externalisation font référence à la distinction d'une part entre les processus mentaux et les comportements extériorisés et d'autre part entre les phénomènes individuels et ceux collectifs. Les concepts d'internalisation et d'externalisation renvoient alors aux dimensions physique et sociale de l'activité. Le caractère médié de l'activité relève du fait que les outils, qu'ils soient matériels ou symboliques, orientent à travers la composante fonctionnelle de la médiation, la manière dont le sujet agit sur le monde ; de même la médiation revêt une composante développementale car la maîtrise des artéfacts tant matériels que cognitifs induit le développement du sujet. Les artéfacts se positionnent plus comme médiateurs à l'objet, à soi-même et aux autres dans un contexte opératif. Ainsi, ce contexte opératif, qui appelle une activité instrumentée, peut donner lieu à une médiation dite *pragmatique* avec la production de *représentations opératives externes*, une médiation *épistémique* ou / et une médiation *heuristique* (Béguin & Pastré, 2002 ; Folcher & Rabardel, 2004). L'activité instrumentée en question met en relation trois pôles : le sujet, l'objet et l'artefact. Dans cette acception, l'instrument relève tant du sujet que de l'objet et il englobe l'artefact (matériel ou symbolique) et les schèmes d'utilisation qui lui sont associés (Rabardel, 1995). Dans cette activité instrumentée, le sujet humain transforme l'objet par le biais de l'artefact dans un processus de genèse instrumentale qui en retour a des répercussions

sur le sujet lui-même. Cet état de fait rejoint la théorie de conceptualisation dans l'action (Pastré, Mayen, & Vergnaud, 2006), postulant un étroit lien entre *activité productive* et *activité constructive* dans une dialectique sémique.

La structuration hiérarchique de l'activité (figure A.3-2, page 254) distingue l'activité elle-même, les actions et les opérations. L'activité est mue par des raisons, les actions poursuivent des buts et les opérations sont conditionnées par les moyens ou les conditions instrumentales (Engeström, Miettinen, & Punamäki-Gitai, 1999 ; Kaptelinin et al., 1995 ; Koschmann, Kuutti, & Hickman, 1998).

Ayant le souci de prendre en compte la dimension collective et sociale de l'activité, Engeström (1999) propose, dans le sillage de Vygotsky et Leontiev, une extension du cadre. Dans cette perspective, l'activité est alors le lieu d'interactions entre le sujet, les outils, l'objet de l'activité à travers lequel un résultat est attendu. Entrent en jeu les règles régissant la communauté à la vie de laquelle participe le sujet et la division du travail qui y est établie, intégrant alors le caractère collectif et social de l'activité (figure A.3-3, page 254).

4.1.2. Action située

Ce cadre théorique soutient le principe que l'activité humaine n'est pas seulement le fruit d'un raisonnement symbolique mais celui des interactions entre le sujet et son environnement, avec ce que cet environnement englobe comme éléments matériels, sociaux et culturels, et des ajustements contextualisés à ce dernier. L'unité d'analyse est ici la situation d'interaction qui est contextuelle et qui revêt des aspects matériels et des aspects sociaux. Ce point de vue s'inscrit dans la critique de la place réservée à la planification par les courants cognitivistes, lui déniaient son pouvoir à la fois descriptif et prescriptif de l'action et sa capacité à déterminer cette dernière. Ainsi l'action des agents ne serait nullement tributaire d'une quelconque planification préalable mais plutôt fortement déterminée par le contexte, c'est-à-dire les caractéristiques de la situation, les ressources de l'environnement (Salembier, 2002 ; Salembier, Theureau, Zouinar, & Vermersch, 2001 ; Suchman, 2007 ; Zacklad, 2003). L'orientation prise par l'action émerge alors dans le courant de cette dernière d'une dynamique d'interactions entre l'agent et les ressources de la situation (Conein & Jacopin, 1994). Cette évolution ancrée de l'action se donne à lire sous un prisme triple : interactionniste, écologique et culturel (Clot & Béguin, 2004).

4.1.3. Cognition distribuée

La cognition distribuée élargit les conceptions de l'action située, en allant au-delà de l'agent humain interagissant avec son environnement de manière contextualisée, pour prendre également en compte les interactions sociales entre agents et celles avec leur environnement. Elle part du postulat que les états mentaux ne sont pas à eux seuls les éléments moteurs de l'activité humaine et qu'il existe des actions qui ne sont pas les fruits d'une préparation mentale. La cognition distribuée, sur la base des travaux de Hutchins (1995) et ceux de Norman (1993), préconise la lecture de l'activité humaine en prenant comme unité d'analyse le système fonctionnel composé des agents humains qui peuvent être des individus ou des groupes d'individus et des artefacts tant physiques que cognitifs se retrouvant dans leur environnement. Ces artefacts jouant le rôle de mémoire externe et d'éléments repères permettant l'ajustement des gestes (Salembier, 2002). Les processus cognitifs n'ont alors pas pour unique origine l'activité mentale intra personnelle, ils sont également le fruit d'interactions sociales entre plusieurs individus, d'interactions des individus avec les ressources de leur environnement (Hollan et al., 2000). Cela renvoie aux dimensions sociale et écologique de la cognition distribuée. La dimension sociale englobant les interactions entre agents humains entre lesquels la connaissance est distribuée. La dimension écologique quant à elle se centrant sur les interactions des agents humains avec leur environnement constitué d'artefacts et revêtant une dimension culturelle (Conein, 2004). Les artefacts cognitifs transforment la tâche en permettant une réallocation des ressources pour une meilleure adaptation aux capacités cognitives du sujet (Perry, 2003), l'activité cognitive résulte donc à la fois des ressources internes et de celles externes, elle est triplement distribuée : socialement, technologiquement et temporellement (Kirsh, 2008 ; Rogers, 2005, 2008, 2012 ; Rogers & Ellis, 1994 ; Scaife & Rogers, 1996), et se trouve modelée par les phénomènes culturels, dans leur composante liée aux artefacts matériels et aux pratiques sociales, qui transcendent l'individu. Réciproquement la culture se construit au travers de cette activité humaine qui est ancrée et sociale (Hutchins, 1995).

4.2. Actions et représentations externes : prisme intégré de lecture de l'activité

Il convient de rappeler que l'activité qui fait l'objet de ce travail, engageant des apprenants est plutôt routinière selon l'acception usitée par Darse et al. (2004), Brown & Chandrasekaran (1989) et par Ullman (2010). Il s'agit d'une activité collaborative dont le

caractère plutôt co-localisé, synchrone, collectif et direct, modèle la nature des interactions (Ruiz-Dominguez, 2005 ; Schmidt, 1990).

L'activité de conception peut se lire selon les domaines du problème investis ou selon les stratégies de conception déployées (Gero & Mc Neill, 1998). Les domaines du problème renvoient soit aux caractéristiques de l'objet de conception, soit au degré d'abstraction avec lequel le problème est adressé. Les stratégies des concepteurs relèvent quant à elles de la typologie des actions qu'ils initient.

La nature distribuée de cette activité de co-conception appelle la prise en compte de la place occupée par les représentations externes (Rogers & Ellis, 1994 ; Scaife & Rogers, 1996 ; Visser, 2006, 2009) avec lesquelles les interactions contribuent à la construction de représentations internes. L'activité de conception met en prise des agents humains avec leur environnement, dans un processus continu d'ajustement mutuel entre représentations internes et représentations externes, fait d'une interaction permanente entre aide cognitive externe et cognition individuelle interne (Conein, 2004). Cela suggère de tenir peu ou prou compte des caractères individuels tels que les capacités visuo-spatiales qui pourraient orienter la nature des interactions avec les aides cognitives externes.

4.2.1. Caractérisation des actions de conception initiées

Nous lisons l'activité co-localisée de conception engageant des binômes d'apprenants, au travers des stratégies de ces derniers. Dans une première approche nous nous inspirons des catégories des micro-stratégies identifiées par les travaux de Purcell et al. et reprises par Gero & Mc Neil (1998) dans le but de catégoriser a priori les actions entreprises dans le processus de conception, bien qu'un travail d'ancrage de ces catégories à nos données nous permette à posteriori d'adapter et de contextualiser cette catégorisation à la situation de co-conception routinière qui nous concerne. Ces classes initiales de micro-stratégies relèvent de l'analyse de problème, la proposition de solution, l'analyse de solution et les stratégies explicites. Les trois premières catégories définies par Purcell et al. englobent les micro-stratégies qui suivent : les micro-stratégies consistant à analyser le problème, consulter des informations sur le problème, évaluer le problème, analyser de manière différée le problème, relèvent de la catégorie analyse du problème. La catégorie liée à la proposition de solution regroupe les actions consistant à proposer une solution, clarifier une solution, retirer une solution précédente, prendre une décision de conception, consulter des informations externes, reporter une action de conception, projeter une solution de façon prospective,

projeter une solution de façon rétroactive. Les micro-stratégies qui visent à analyser une solution proposée, justifier une solution proposée, déterminer une solution proposée, reporter l'analyse d'une solution proposée, évaluer une solution proposée renvoient quant à elles à l'analyse de solution.

Prenant également appui sur la catégorisation des actions de conception du point de vue de l'analyse, la synthèse et l'évaluation (Cross, 2000 ; Darses, Détienné, & Visser, 2004), la lecture des données issues de l'activité vidéographiée nous a conduit à une classification des actions avec des catégories relevant d'actions d'analyse du problème, d'actions d'évaluation de solution, d'actions de gestion des outils et supports de travail, d'actions indéterminées, d'actions de régulation des interactions de l'activité, d'actions de synthèse graphico-verbale de solution, d'actions de synthèse verbale de solution.

Actions d'analyse du problème	Aveu d'incompréhension d'éléments du problème
	Explicitation – précision du problème
	Proposition d'explicitation du problème
	Quête d'information ou consultation de source d'information sur le problème
	Rejet d'explicitation du problème
	Requête d'explicitation-précision du problème
Actions d'évaluation de solutions	Validation – consolidation de solution proposée
	Requête d'approbation de solution
	Remise en question de solution
Actions de gestion des outils ou	Apport ou proposition d'outils ou supports de travail
	Constat de défaut, absence ou difficulté en lien avec un outil
	Demande de supports ou outils de travail
	Requête d'expression de satisfaction en lien avec les outils

supports de travail	Retrait de supports ou outils de travail
Actions indéterminées	Phase silencieuse – de réflexion
	Propos suspendu – inaudible – incompréhensible
	Explicitation d'analogie ou de stratégie déployée
Actions de régulation de l'activité et des interactions	Expression d'accord, de compréhension, de questionnement ou d'attention à l'endroit des éléments avancés
	Expression ou constat d'absence de solution à l'instant
	Interrogation sur la démarche à suivre
	Régulation du tour de parole
	Requête d'expression de compréhension
	Suggestion liée à l'organisation ou à la conduite du travail
Synthèse graphico-verbale de solution	Proposition de représentation de solution
	Représentation de solution
	Requête de représentation de solution
	Suggestion de représentation de solution
Synthèse verbale de solution	Explicitation – précision de solutions
	Proposition d'explicitation de solution
	Requête d'explicitation – quête de précision de solutions ou de stratégie

4.2.2. Typologie des représentations externes mises à contribution

La caractérisation des représentations externes présentes dans l'environnement, des apprenants regroupés en équipes dans le cadre de l'activité que nous étudions, repose sur les attributs de ces dernières (Ainsworth, 2006). Ces caractéristiques relèvent du canal sensoriel sollicité, de la modalité de la représentation faisant référence au caractère homogène ou hétérogène de sa nature, du niveau d'abstraction, de la spécificité de la représentation, du type de représentation externe, de son caractère intégré ou non, de son dynamisme et de sa dimensionnalité.

Ainsi comme première caractéristique des représentations externes, nous prenons en compte le canal sensoriel mobilisé par les représentations externes dans l'activité qui nous concerne ; elles sont de nature essentiellement graphique et sollicitent le canal visuel. Du point de vue de la dimensionnalité, les représentations sur support numérique sont toutes volumiques alors que celles sur support papier sont majoritairement planes en dehors du dessin réaliste sur papier. De même le caractère dynamique ou pas des représentations externes introduit une nette distinction entre celles sur support numérique qui sont dynamiques et celles sur supports papier par essence statiques. Notons que les représentations externes sur support numérique sont toutes homogènes, alors que celles sur support papier sont hétérogènes à l'exception du texte et du dessin réaliste sur papier. De la même manière les schémas et le texte ont par essence un caractère général alors que les dessins sont spécifiques. Le niveau d'abstraction des représentations sur support papier est plus élevé en comparaison de celles sur support numérique. Relativement au degré d'intégration, seul le dessin plan sur papier présente ce caractère.

	Type	Canal	Dimension	Dynamisme	Modalité	Spécificité	Abstrait	Intégré
Sur support numérique	Dessin réaliste à l'ordinateur	Visuel	3D	Oui	Homogène	Spécifique	---	Non
	Vidéo de dessin réaliste	Visuel	3D	Oui	Homogène	Spécifique	---	Non

Sur support papier	Vidéo de schéma cinématique	Visuel	3D	Oui	Homogène	Général	--+	Non
	Type	Canal	Dimension	Dynamisme	Modalité	Spécificité	Abstrait	Intégré
	Dessin réaliste sur papier	Visuel	3D	Non	Homogène	Spécifique	--+	Non
	Dessin plan sur papier	Visuel	2D	Non	Hétérogène	Spécifique	-++	Oui
	Esquisse sur papier	Visuel	2D	Non	Hétérogène	Spécifique	-++	Non
	Schéma cinématique sur papier	Visuel	2D	Non	Hétérogène	Général	+++	Non
	Texte sur papier	Visuel	2D	Non	Homogène	Général	+++	Non

4.2.3. La visualisation spatiale des apprenants et des équipes

La visualisation spatiale des apprenants relève des tests du MCT, du MRT et du PSVT-R choisis. Le caractère distribué de cette activité co-localisée de conception impliquant des apprenants requiert en plus de la prise en compte des caractéristiques individuelles, celle de caractéristiques collectives ou des équipes. Ce souci explique l'introduction de notre part de la moyenne des scores de visualisation spatiale des binômes et des écarts de scores de visualisation spatiale entre co-équipiers. Ces facteurs bien qu'issus de caractéristiques individuelles nous permettent de caractériser les binômes du point de vue de la visualisation spatiale.

4.3. Dimensions et variables de l'activité de co-conception d'apprenants

Du point de vue de la cognition distribuée, l'activité de conception collective s'appréhende comme une activité où les caractères individuels des agents humains s'ajustent de manière continue dans un processus interactif de coordination avec ceux de la situation. Ainsi cette activité pourrait revêtir une dimension sociocognitive individuelle et une dimension

sociotechnique interactionnelle. La première renvoyant aux caractères individuels et la seconde à ceux liés aux interactions entre agents et avec leur environnement.

Nous déclinons la dimension sociocognitive individuelle en quatre composantes : la première a trait aux capacités visuo-spatiales, la deuxième à la maîtrise individuelle des outils numériques de conception, la troisième au parcours éducatif et la quatrième aux caractéristiques sociodémographiques individuelles. La dimension sociotechnique interactionnelle quant à elle regroupe comme composantes d'une part les actions d'interaction entre agents humains et celles d'interaction avec les ressources de l'environnement dans la cadre de la résolution du problème de conception, et d'autre part les représentations externes considérées comme ressources de l'environnement avec lesquelles interagissent les sujets humains dans le courant de l'activité de conception.

Ainsi, l'opérationnalisation (tableau 4-1, page 59) du cadre d'analyse de l'activité de conception co-localisée, objet de ce travail, met en relief des variables extrinsèques et intrinsèques participant aux composantes des dimensions sus mentionnées. La variable intrinsèque indépendante relative à la visualisation spatiale dérive des capacités visuo-spatiales. La maîtrise des outils numériques de modélisation est la variable extrinsèque relevant de la composante touchant à la maîtrise des outils numériques de conception. De la composante liée au parcours éducatif nous identifions la variable extrinsèque relative au diplôme de niveau secondaire obtenu. Enfin, de la dimension sociocognitive individuelle de la dernière composante en lien avec les caractères sociodémographiques, relèvent les variables extrinsèques ayant trait au genre et à l'âge.

La composante liée aux actions de résolution de problème, qui est un élément de la dimension sociotechnique interactionnelle, se décline en deux variables intrinsèques dépendantes qui sont les actions de synchronisation cognitive, celles de synchronisation opératoire entre les agents humains, les actions de production graphique de solutions, les actions d'explicitation de solutions et celles d'évaluation de solutions. Enfin les variables intrinsèques dépendantes concernant la nature, le support, le dynamisme et la stéréoscopie des représentations externes dépendent de la composante liée aux représentations externes mobilisées durant l'activité.

4.4. Plan de variables

tableau 4-1 : Dimensions, composantes, variables et indicateurs de la situation de co-conception d'apprenants

Concepts	Dimensions	Composantes	Variables		Indicateurs	Indices
Activité de conception co-localisée d'apprenants	Sociocognitive Individuelle	Capacités visuo-spatiales	Visualisation spatiale ou Visualisation (Visualization)	Intrinsèque / Indépendante	Résultats au test du PSVT-R	<i>Scores au test du PSVT-R (valeurs décimales entre 0 et 1)</i>
					Résultats au test du MCT	<i>Scores au test du MCT (valeurs décimales entre 0 et 1)</i>
					Résultats au test du MRT	<i>Scores au test du MRT (valeurs décimales entre 0 et 1)</i>
		Maîtrise des outils numériques de conception	Maîtrise déclarée des outils numériques de modélisation	Extrinsèque	Niveau déclaré de maîtrise de Catia	<i>Niveau sur une échelle de Likert (très bon – assez bon – moyen – faible – nul)</i>
					Niveau déclaré de maîtrise de AutoCad	<i>Niveau sur une échelle de Likert (très bon – assez bon – moyen – faible – nul)</i>
					Niveau déclaré de maîtrise de SolidWorks	<i>Niveau sur une échelle de Likert (très bon – assez bon – moyen – faible – nul)</i>
		Parcours éducatif	Diplôme secondaire obtenu	Extrinsèque	Nature du diplôme	<i>BT ou bac</i>
			Niveau d'études	Extrinsèque	Spécialité du diplôme	<i>Électromécanique ou T1 ou T2 ou S1 ou S2 ou S3</i>
		Caractéristiques sociodémographiques	Age	Extrinsèque	Age fourni dans le questionnaire de recueil des caractères sociodémographiques	<i>Valeur entière discrète</i>

			Genre	Extrinsèque	Genre renseigné dans le questionnaire de recueil des caractères sociodémographiques	<i>Féminin ou Masculin</i>
Sociotechnique interactionnelle	Actions de Résolution de problème	Actions de synchronisation cognitive	Intrinsèque / Dépendante	Quête d'information sur le problème	<i>Recherche, recueil, lecture ou relevé d'une information, de nature textuelle ou graphique sur support papier ou numérique, ou interrogation relative aux éléments du problème</i>	
				Requête d'explicitation du problème	<i>Demande à son camarade d'explicitation sa solution</i>	
				Explicitation - précision du problème	<i>Précision ou reformulation des éléments du problème en intégrant sa propre formulation : termes, tournures, gestes</i>	
				Proposition d'explicitation du problème	<i>Se propose d'explicitation ou dit qu'il va expliciter des éléments du problème</i>	
				Rejet d'explicitation du problème	<i>Rejette une explicitation du problème fournie par son camarade</i>	
				Aveu d'incompréhension d'éléments du problème	<i>Avoue ne pas comprendre le problème</i>	
				Requête d'explicitation – quête de précision de solutions ou de stratégie	<i>Requiert de façon explicite ou implicite de la part de son camarade l'expression verbale</i>	

						<i>ou gestuelle de sa solution, demande à son camarade de proposer une solution, demande de reformuler ou recherche, dans une phase de synthèse, des éléments de précision de la solution tels que des dimensions ou de la stratégie, pose une question sur des éléments de solution</i>
					Proposition d'explicitation de solution	<i>Se propose d'expliciter ou dit qu'il va expliciter sa solution</i>
					Explicitation d'analogie ou de stratégie déployée	<i>Dit comment il fait, exprime une analogie faite à un système existant</i>
					Expression d'accord, de compréhension, de questionnement ou d'attention à l'endroit des éléments avancés	<i>Accepte les propos émis ou la représentation gestuelle ou graphique faite, dit être d'accord, exprime ou dit avoir compris</i>
			Actions de synchronisation opératoire	Intrinsèque / Dépendante	Proposition de représentation de solution	<i>Se propose ou dit qu'il va représenter sa solution</i>
					Requête de représentation de solution	<i>Demande explicitement ou implicitement à son camarade de représenter une solution</i>
					Suggestion de représentation de solution	<i>Suggère un type, une forme de représentation ou des dimensions à son camarade qui est en train d'esquisser ou de dessiner une solution</i>

					Interrogation sur la démarche à suivre	
					Régulation du tour de parole	
					Expression ou constat d'absence de solution à l'instant	
					Suggestion liée à l'organisation ou à la conduite du travail	<i>Suggère une forme d'organisation du binôme en termes de conditions de travail, de focalisation ou de répartition du travail</i>
			Actions de production graphique de solution	Intrinsèque / Dépendante	Représentation de solution	<i>Présentation d'une trace de la solution sous une forme visuelle qui demeure : esquisse, texte écrit, dessin, schéma..., cette représentation peut être silencieuse ou accompagnée d'un discours</i>
			Actions d'explicitation de solution	Intrinsèque / Dépendante	Explicitation – précision de solution	<i>Expression verbale ou imagée éphémère indiquant ou précisant des caractères de la solution tels que des formes, des dimensions, des positions ...</i>
			Actions d'évaluation de solutions	Intrinsèque / Dépendante	Remise en question de solution	<i>Au sujet d'une solution proposée, signale un problème dans l'implantation, dans la forme d'un élément, dans la technologie d'assemblage entre deux éléments, une précaution à prendre par rapport aux</i>

						<i>éléments existants fournis, rejette ou réfute une solution proposée</i>
					Validation – consolidation de solution proposée	<i>Fourniture de raisons confortant une solution, émission d'un jugement favorable sur la solution</i>
					Requête d'approbation de solution	<i>Requiert de son camarade l'approbation de sa proposition ou sa validation</i>
		Représentations externes mobilisées	Nature des représentations externes	Intrinsèque / Dépendante	Dessin 3D réaliste à l'ordinateur	
					Vidéo de dessin 3D réaliste animé	
					Vidéo de schéma cinématique animé	
					Dessin 3D réaliste sur papier	
					Dessin plan sur papier	
					Esquisse sur papier	
					Schéma cinématique sur papier	
					Texte sur papier	
			Support des représentation externes	Intrinsèque / Dépendante	Numérique	
					Papier	
			Stéréoscopie des représentations externes	Intrinsèque / Dépendante	Plan (2D)	
					Volumique (3D)	

			Dynamisme des représentations externes	Intrinsèque / Dépendante	Statique	
					Animé	

4.5. Synthèse du chapitre 4

Un modèle théorique reposant sur la théorie de la cognition distribuée agrégeant les différentes caractéristiques de la situation dans ses dimensions liées aux agents humains, à la nature de leurs interactions visant la résolution d'un problème de conception et aux représentations externes qui y sont mobilisées	Les caractéristiques des humains prises en compte sont leurs capacités visuo-spatiales déclinées par le modèle de Cattell-Horn-Carroll Le modèle DeFT de Ainsworth caractérise les représentations externes Les stratégies de conception identifiées par Purcell et al. et Mc Neil & Gero, sur la base du modèle FBS de Gero, permettent la caractérisation des interactions dans la situation de résolution d'un problème de conception
Caractérisation des actions de co-conception	Les micro-stratégies identifiées par Purcell et al. ainsi que MC Neil & Gero relèvent de l'analyse du problème, la synthèse de solutions et l'évaluation de solutions
Caractérisation des représentations externes	Les caractéristiques des représentations externes selon le modèle DeFT de Ainsworth ont trait au type, au canal sensoriel sollicité, à la dimensionnalité, au dynamisme, à l'homogénéité, à la spécificité, au degré d'abstraction et au niveau d'intégration
Une première dimension sociocognitive individuelle de la problématique	La dimension sociocognitive individuelle englobe les composantes que sont les capacités visuo-spatiales, la maîtrise des outils numériques de conception, le parcours éducatif et les caractères sociodémographiques.

Une seconde dimension sociotechnique interactionnelle de la problématique	La dimension sociotechnique interactionnelle a pour composantes les actions de résolution de problème et les représentations externes mobilisées
---	--

Chapitre 5. MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre nous présentons la méthodologie qui a guidé la conduite de ce travail. Rappelons que cette étude exploratoire est menée suivant une approche descriptive corrélationnelle en raison de la nature de notre problématique. Nous nous engageons donc dans une démarche de théorisation enracinée en partant de notre corpus de données. Ce chapitre décrit le milieu d'étude, les outils de collecte, le déroulement du travail de collecte et le traitement des données brutes.

5.1. Milieu d'étude

5.1.1. Le contexte Sénégalais de formation professionnelle et technique

Le système sénégalais d'enseignement ou de formation dans les disciplines liées à la technologie est structuré selon les niveaux : nous y distinguons le niveau moyen, le niveau secondaire et le supérieur. En plus de la structuration par niveau, le système est caractérisé par une catégorisation selon les finalités de l'enseignement, d'où la distinction faite entre enseignement et formation. Ainsi dans les domaines liés à la technologie, le système d'enseignement technique vise le développement d'une culture scientifique et technologique. Le système de formation professionnelle poursuit, quant à lui, le développement de compétences en lien plus ou moins étroit avec des métiers bien identifiés.

Une structuration plus fine est faite dans la formation professionnelle, où une catégorisation complétant la précédente, et liée aux niveaux de qualification professionnelle, a cours. Elle distingue 5 niveaux de qualification. Le niveau V correspond à une qualification liée à une activité professionnelle d'ouvrier. Le niveau IV renvoie à une qualification de technicien permettant d'exécuter un travail en autonomie ou avec des responsabilités d'encadrement et de coordination. Le niveau III correspond à une qualification de technicien supérieur avec des compétences de niveau supérieur requérant le recours à des outils scientifiques complexes. Le niveau II se rapporte à des qualifications du niveau de la licence ou de la maîtrise. Et enfin Le niveau I correspond à des qualifications de niveau supérieur à la maîtrise (Loi d'orientation de la formation professionnelle et technique, 2015).

Ces niveaux de qualification peuvent être déclinés en termes de diplômes et titres. Le niveau I renvoyant au diplôme d'ingénieur de conception ou de Master, le niveau II à celui d'ingénieur des travaux ou à un diplôme du second cycle supérieur, le niveau III aux

diplômes de niveau bac+2 (DUT, BTS), le niveau IV au bac et au BT et le niveau V au CAP et au BEP (Goudiaby, 2017).

Ainsi la mécanique se retrouve dans l'enseignement scientifique et technique au niveau moyen, au niveau secondaire et au niveau supérieur ; elle est également présente dans la formation professionnelle, aussi bien au niveau moyen, celui secondaire que celui supérieur.

Les établissements du niveau moyen concernés par la mécanique sont essentiellement des centres de formation professionnelle, du niveau de qualification V, qui visent le développement de compétences propres à des métiers, bien que la technologie mécanique soit enseignée dans les blocs scientifiques et technologiques où les visées relèvent de l'initiation scientifique et technologique. Au Sénégal, les centres de formation professionnelle ont pour tutelle ministérielle la formation technique et professionnelle alors que les blocs scientifiques et technologiques dépendent de l'éducation nationale.

Au niveau secondaire la conception et la technologie mécanique ont cours dans les lycées techniques et dans les centres de formation professionnelle. Ces établissements sont sous la tutelle du ministère en charge de la formation technique et professionnelle. Les niveaux de qualification couverts sont le niveau V avec le BEP, le niveau IV avec le bac et le BT, et le niveau III avec le diplôme du BTS. Le centre pour l'entrepreneuriat et le développement technique (CEDT) ainsi que le Centre de formation professionnelle et technique (CFPT) dont des apprenants ont pris part à notre étude sont dans cette catégorie, formant aux diplômes nationaux de BTS.

Dans le supérieur, la conception et la technologie mécanique sont des éléments ou des modules constituant les maquettes de formation des techniciens supérieurs (DUT), des ingénieurs des travaux (DIT) ou de conception (DIC), en cours dans les établissements publics. L'école polytechnique de Thiès (EPT), qui forme des ingénieurs de conception et initie à la recherche à travers des diplômes de Master, est l'un de ces établissements. Des établissements privés sont également concernés avec des formations préparant aux diplômes nationaux de BTS, à des diplômes de technicien supérieur (DST ou DTS), de Licence, de Master ou d'ingénieur.

5.1.2. Description du terrain d'étude

Notre étude a eu pour cadre deux écoles de formation de techniciens supérieurs de l'agglomération Dakaroise : Le centre pour l'entrepreneuriat et le développement technique (CEDT) ainsi que le centre de formation professionnelle et technique (CFPT), et une école de formation d'ingénieurs située dans la région de Thiès à 70 km à l'Est de Dakar : l'école polytechnique de Thiès (EPT). Le parcours de formation de cette population comprend des modules relatifs à la conception de systèmes ou sous-systèmes mécaniques et à la mise à contribution d'outils de CAO/DAO. Notre travail de recherche s'est intéressé de manière spécifique aux apprenants : élèves techniciens supérieurs et élèves ingénieurs.

L'étude que nous avons menée a impliqué dans sa première phase, relative au recueil des données sociodémographiques, du parcours éducatif et à la mesure des capacités visuo-spatiales par le biais de tests, 63 apprenants répartis comme suit :

- d'une part, 45 élèves techniciens supérieurs en 2^{ème} année de BTS électromécanique. La 2^{ème} année de BTS correspond à BAC+2. Il faut préciser que certains élèves techniciens supérieurs ont un parcours qui les a conduits à l'obtention du brevet de technicien, qui correspond au baccalauréat professionnel, avant d'intégrer cette formation.
- d'autre part, 18 élèves ingénieurs électromécaniciens en 5^{ème} année de formation, donc de niveau bac+5.

La seconde phase de l'étude a impliqué, dans une activité de co-conception, 12 apprenants volontaires regroupés dans 6 binômes. Ces derniers sont tous en 2^{ème} année de BTS électromécanique.

5.2. Outils de recueil des données

5.2.1. Questionnaire de recueil du parcours éducatif

Ce questionnaire comporte des questions relatives à l'état civil, à l'adresse physique, téléphonique et électronique, au parcours éducatif en termes de diplômes obtenus et aux logiciels utilisés ainsi que le niveau de maîtrise déclaré⁸. Les données collectées au moyen de cet outil permettent de renseigner les variables extrinsèques relevant de la dimension

⁸ voir annexe A.5-2, page 261

sociocognitive individuelle. Il s'agit du genre, de l'âge, du niveau de maîtrise des outils numériques de modélisation et du diplôme secondaire obtenu.

5.2.2. Tests de mesure des capacités visuo-spatiales

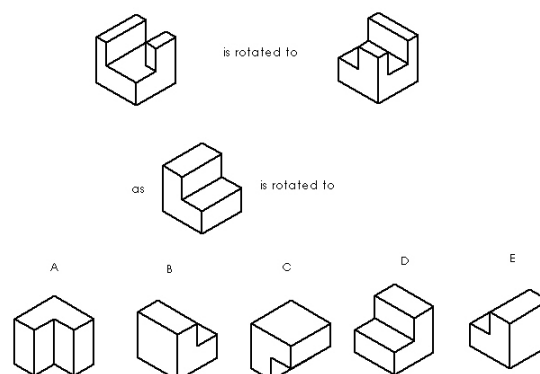
Les tests de mesure des capacités visuo-spatiales (Sorby & Baartmans, 2000) constitués de formulaires papier, comprennent :

- Le Purdue Spatial Visualisation Test- Mental Rotation – PSVT-R – (Bodner & Guay, 1997)

Il comporte 30 questions traitées en 20 minutes consistant à retrouver la bonne représentation, parmi cinq propositions, d'un objet en 3D ayant subi la même rotation qu'un objet témoin.

La figure 5-1 présente une question type du test de visualisation spatiale de Purdue.

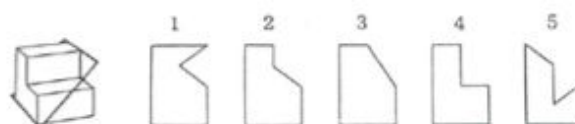
figure 5-1 : Exemple du type de question du PSVT-R



- Le Mental Cutting Test – MCT – (CEEB, 1939),

Le test du MCT traité en 20 minutes consiste en 25 questions de reconnaissance, parmi cinq choix possibles, d'une section plane d'un objet représenté en 3D comme présenté sur la figure 5-2.

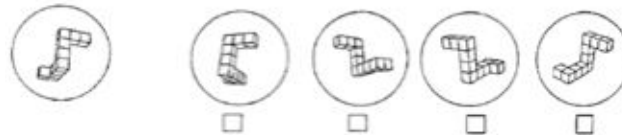
figure 5-2 : Exemple présentant le type de question du MCT



- Le Mental Rotation Test – MRT – (Vandenberg & Kuse, 1978).

Pour le MRT, il s'agit de répondre à 20 questions consistant à retrouver deux représentations, sur quatre proposées, du même objet dans des positions différentes. Elles sont traitées en six minutes au total, soit deux séries de 10 questions d'une durée de trois minutes chacune. La figure 5-3 en présente un type de question.

figure 5-3 : Exemple présentant le type de question du MRT



Les données recueillies au moyen de ces outils renseignent la variable intrinsèque indépendante liée aux capacités visuo-spatiales qui participe à la dimension sociocognitive individuelle.

5.2.3. Composantes de l'activité de conception collaborative

Cette activité s'appuie sur les plans et schémas cinématiques, d'une rectifieuse de soupapes et d'un étau orientable. Ces derniers sont remis sur support papier (figure A.5-1 et figure A.5-2, page 260 ; figure A.5-3 et figure A.5-4, page 261) et sur support numérique (voir figure A.5-5 et figure A.5-6, page 262). Les équipes d'apprenants sont ensuite appelées à expliciter la constitution et le fonctionnement de ce qui est représenté sur les supports remis, enfin il leur a été demandé de concevoir des solutions d'amélioration des systèmes mécaniques représentés.

L'activité de conception permet de renseigner les variables relevant de la dimension sociotechnique interactionnelle. Il s'agit d'une part des variables en lien avec les actions de synchronisation cognitive, de synchronisation opératoire, de production graphique de solution, d'explicitation de solution, d'évaluation de solution. D'autre part les variables ayant trait au support, à la stéréoscopie, à la nature et au dynamisme des représentations externes sont également renseignées par ces données.

5.3. Organisation de la collecte de données

5.3.1. Accès au terrain

L'accès au terrain a nécessité la sollicitation des directeurs des écoles constituant notre terrain d'étude dans le but d'obtenir l'autorisation de recueillir les données. Un courrier a

alors été adressé aux autorités de ces établissements dans cette optique. L'annexe 4 aux pages 255 et suivantes présente les correspondances échangées à cette fin. L'accès au terrain a constitué une contrainte majeure pour notre travail ; Il nous a fallu près de 10 mois pour accéder aux élèves ingénieurs de l'école polytechnique de Thiès, qui en définitive n'ont participé qu'à la phase de recueil des données sociodémographiques et celles liées à la visualisation spatiale. Aucun étudiant de l'EPT n'ayant souhaité participer à la seconde phase de collecte des données.

5.3.2. Les phases de la collecte

La collecte des données s'est faite en deux phases. Une première consistant au recueil des caractéristiques sociocognitives individuelles des participants, plus précisément les caractéristiques sociodémographiques, le parcours éducatif, le niveau de maîtrise des outils numériques de modélisation et la visualisation spatiale. Cette première phase a impliqué 63 apprenants de trois établissements Sénégalais. Ces derniers sont répartis comme suit : 18 élèves ingénieurs (niveau bac+5) de l'école polytechnique de Thiès et 45 élèves techniciens supérieurs (niveau bac+2) du centre pour l'entrepreneuriat et le développement technique (CEDT) et du centre de formation professionnelle et technique (CFPT).

Les tests de mesure des capacités visuo-spatiales (Sorby & Baartmans, 2000) sous format papier, comprennent : le Purdue Spatial Visualisation Test - Mental Rotation – PSVT-R – (Bodner & Guay, 1997), le Mental Cutting Test – MCT – (CEEB, 1939), et le Mental Rotation Test – MRT – (Vandenberg & Kuse, 1978). Le tableau A.6-9 de la page 278 résume les données issues de ce recueil.

La mesure des capacités visuo-spatiales en lien avec la visualisation spatiale se fait essentiellement au moyen de tests psychométriques qui, selon Carroll (1993), consistent en : la reconstitution d'objets sur formulaires papiers, la reconnaissance et le comptage de blocs identiques, l'identification de positions d'objets en rotation, la localisation de positions de marques sur la représentation de papier plié, l'identification de correspondances en développant des surfaces entre représentations en 3D et en 2D, la reconnaissance d'images selon les points de vue, la compréhension de mouvements mécaniques. Les tests qui suivent figurent parmi les plus couramment utilisés en ingénierie mécanique, d'après Kelly Jr, Branoff, & Clark (2014) et Sorby & Baartmans (2000) :

- le test de rotation mentale - MRT⁹, composé de 20 questions où il faut retrouver deux représentations, sur quatre proposées, du même objet dans différentes positions ;
- le test de coupe mentale - MCT¹⁰, comportant 25 questions de reconnaissance, parmi cinq choix possibles, d'une section plane d'un objet représenté en 3D ;
- le test de visualisation spatiale en rotation de Purdue - PSVT-R¹¹, qui comporte 30 questions consistant à retrouver la bonne représentation, parmi cinq propositions, d'un objet en 3D ayant subi la même rotation qu'un objet témoin.

5.3.3. Organisation matérielle pour l'activité de co-conception

Dans la seconde phase ont été engagés, sur une base volontaire, 6 binômes composés d'élèves techniciens supérieurs ayant participé à la première phase. Cette seconde phase consistait en une activité filmée de conception collaborative d'amélioration d'un système mécanique présenté sous différentes formes (Voir tableau 5-1 de la page 74).

La constitution des groupes, la nature des supports qui leur sont fournis, la nature des supports et outils de production ainsi que le matériel de prise de vue et de son, sont synthétisés à la page 74, dans le tableau 5-1. Les équipes 9a5a, 15a19a, 11b1b, 9b15b et 12b19b produisent leurs solutions avec des outils numériques alors que le binôme 17b20b présente la sienne sur support papier.

Les équipes sont formées de manière spontanée selon les affinités des apprenants. Il a été remis aux apprenants membres des binômes 9a5a et 15a19a les plans d'une rectifieuse de soupapes sur support papier (figure A.5-1 et figure A.5-2, page 260). Chacun des binômes est d'abord interpellé quant à la constitution et au fonctionnement de ce qui est représenté sur les supports remis, ensuite leur a été confiée la tâche consistant à concevoir des solutions d'amélioration de la rectifieuse de soupapes (voir les consignes aux pages 264 et 265). Aux binômes 11b1b, 9b15b, 12b19b et 17b20b ont été remis les plans, modèles et schémas cinématiques d'un étau orientable, sur support papier (figure A.5-3 et figure A.5-4, page 261) ou numérique (figure A.5-5 et figure A.5-6, page 262). Ces quatre équipes sont appelées à expliciter la constitution et le fonctionnement de ce qui est représenté sur les supports

⁹ Mental rotation test

¹⁰ Mental cutting test

¹¹ Purdue spatial visualization test - rotation

remis, enfin il leur a été demandé de concevoir des solutions d'amélioration de cet étau orientable (voir consignes aux pages 266, et 267).

tableau 5-1 : Organisation et logistique de prise de données de l'activité de co-conception

Identifiant	Effectif	Support fourni	Système étudié	Nature et support des solutions produites	Prise de son	Prise de vue
Binôme 15a19a	2	Dessin plan sur papier	Rectifieuse de soupapes	Solutions sous la forme de leur choix avec utilisation d’outils de CAO/DAO de leur choix	Échanges verbaux enregistrés par le micro intégré de l’ordinateur d’un des apprenants	Au sein de chaque binôme, 1 caméra USB d’enregistrement de l’espace de travail + enregistrement de l’écran d’ordinateur
Binôme 11b1b	2		Étau orientable			
Binôme 9a5a	2	Dessin plan + schéma plan sur papier	Rectifieuse de soupapes			
Binôme 12b19b	2	Dessin plan (sur support papier) + schéma cinématique 3D animé (sur support numérique)	Étau orientable			
Binôme 9b15b	2	Dessin plan (sur support papier) + dessin 3D animé (sur support numérique)				
Binôme 17b20b	2	Dessin plan + dessin 3D (sur support papier) + dessin 3D animé (sur support numérique)				

Afin d'assurer une synchronisation entre l'enregistrement vidéo de l'écran d'ordinateur et la prise de vue provenant de la caméra USB, la précaution qui suit a été prise : sur l'ordinateur de chaque binôme a été préalablement installée une application permettant un montage synchronisé de la vidéo de l'écran d'ordinateur et de celle issue de la caméra USB. Rappelons que la caméra USB, montée sur perche à trépied est destinée à filmer l'espace de travail en le surplombant, selon la disposition spatiale illustrée sur la figure 5-4 qui suit et la figure A.5-7 à la page 268. Le son est enregistré, par le micro intégré de l'ordinateur du binôme, dans le but de saisir les protocoles verbaux lors du processus de conception (Ericsson & Simon, 1980 ; van Someren, Barnard, & Sandberg, 1994).

La disposition matérielle adoptée, avec caméra surplombant l'espace de travail, vise à filmer l'utilisation des différents outils et supports de travail (Veillard, 2013). La capture vidéo de l'écran d'ordinateur permet d'enregistrer le travail du binôme réalisé avec les outils de modélisation ainsi que le visionnage des vidéos de schéma cinématique animé ou de dessin 3D animé qui sont fournies.

figure 5-4 : Dispositif de recueil des données vidéographiques



5.4. Traitement des données brutes

Il convient, avant de présenter les traitements auxquels elles ont été soumises, de rappeler la nature des données qui ont été recueillies. Il s'agit :

- de questionnaires recueillant les données sociodémographiques, le parcours éducatif et la maîtrise déclarée des outils de modélisation graphique des participants à l'étude ;
- de résultats aux tests de mesure des capacités visuo-spatiales, présentés à la page 278, dans le tableau A.6-9 ;
- de représentations graphiques des solutions proposées en conception sur support papier et sur support numérique dont la figure A.5-9 de la page 268 est une illustration ;
- de vidéos représentant six heures d'enregistrement d'écrans d'ordinateurs et d'espaces de travail, soit une heure de travail pour chacun des binômes.

Le traitement de ces données brutes a consisté au dépouillement des réponses au questionnaire soumis, à la détermination des scores aux trois tests de visualisation spatiale et à l'encodage des vidéos enregistrant l'activité des binômes, pour identifier les actions entreprises et les représentations externes mobilisées.

5.4.1. Dépouillement du questionnaire

Ce dépouillement commence par l'attribution d'un identifiant numérique à chacun des répondants, de manière à préserver l'anonymat dans le traitement. Suit alors le relevé de l'âge et du genre du répondant, celui du diplôme secondaire obtenu et de la série ou de la spécialité de ce dernier. Sont enfin notés les outils de conception assistée par ordinateur qui sont couramment utilisés ainsi que le niveau de maîtrise estimé.

5.4.2. Détermination des scores de visualisation spatiale

Les réponses produites pour chacun des trois tests, que sont le Purdue spatial visualization test (PSVT-R), le mental cutting test (MCT) et mental rotation test (MRT), ont été corrigées. Il a été attribué un point à chaque réponse correcte. Pour chaque test, la somme des points obtenus par chaque répondant a été divisée par le nombre de questions que comporte ledit test, permettant ainsi d'attribuer un score décimal variant de 0 à 1 au répondant concerné.

5.4.3. Encodage des données vidéographiques

Les données vidéographiques ont été encodées à l'aide d'une grille construite a priori puis enrichie et consolidée à posteriori.

5.4.3.1. Construction d'une grille d'encodage

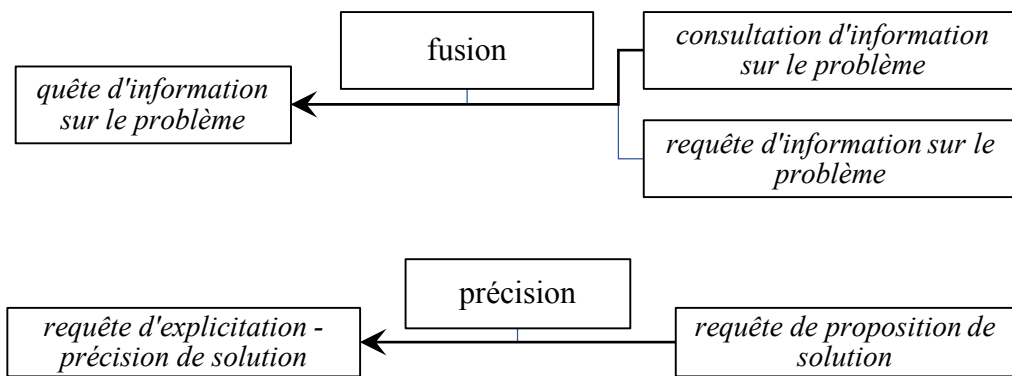
Dans une première approche, les travaux de Purcell et al. repris par Gero & Mc Neil (1998) ont inspiré la construction d'une version initiale de dictionnaire d'encodage. Cette construction a été enrichie par l'intégration de nouveaux codes suite à l'encodage de deux séquences vidéo de 20 minutes chacune en relevant à l'échelle micro les opérations relatives aux éléments de discours et aux gestes et postures du corps. Cela a conduit à plus d'une centaine de codes. Par la suite une catégorisation à la lumière des questions de recherche et des travaux de Falzon, Darses et Munduteguy (2009 ; 2004 ; 1996) conduisit à un dictionnaire plus restreint présenté dans le tableau A.5-3 de la page 273. Cette catégorisation identifie les caractéristiques des représentations externes et les actions des apprenants impliqués dans l'activité.

5.4.3.2. Validation – ajustement du dictionnaire d'encodage avec deux codeurs externes.

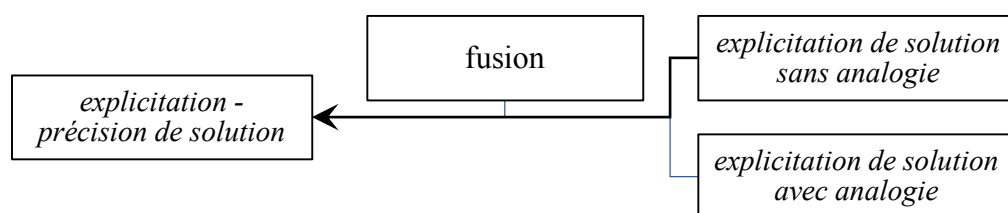
Le processus d'ajustement et de validation de la grille d'encodage a été réalisé sur la base d'un extrait vidéo d'une durée de cinq minutes. Cet extrait accompagné de la première version du dictionnaire a été partagé avec deux codeurs B et C, de manière à en construire une compréhension commune. Le résultat d'un premier encodage réalisé par le codeur B, repris à la page 269, dans le tableau A.5-1, comparé au nôtre, montre un pourcentage de désaccord de 46 % :

Une seconde étape d'harmonisation a conduit à la refonte et la précision de la signification des codes sujets à désaccord. Cette correction a consisté à la fusion de codes ayant une signification proche et à la précision du sens des codes faisant l'objet de désaccord.

Ainsi les codes liés à la *consultation d'information fournie sur le problème* et la *requête d'information sur le problème* ont été fusionnés en *quête d'information sur le problème*. De même la *requête de proposition de solution* a été précisée en *requête d'explicitation – précision de solutions* qui est une action de nature verbale sollicitant le canal auditif sachant que nous avons également identifié des actions de *requête de représentation de solution* dont le résultat serait une illustration graphique.



Identiquement l'*explicitation de solution sans analogie* qui relève de l'expression verbale ou imagée précisant des caractères d'une solution sans faire référence de manière explicite à un système existant et l'*explicitation de solution avec analogie* qui consiste en une expression verbale ou imagée précisant des caractères de la solution en faisant référence de manière explicite à un système existant, ont été fondues en *explicitation – précision de solutions*.



Suite à cette refonte, un second encodage réalisé par le codeur C a conduit à une deuxième comparaison (page 269, tableau A.5-1) qui a montré un accord atteignant un pourcentage de 75 %.

Sur cette base le calcul d'un coefficient de fiabilité inter-codeurs nous donne finalement une valeur du coefficient Kappa de Cohen de 0,72.

5.4.3.3. Encodage des vidéos dans Nvivo et construction d'une base de données Excel

Les enregistrements de l'activité de chacun des 6 binômes d'une durée d'une heure ont été scindés en trois vidéos de 20 minutes afin d'en faciliter l'importation, par la réduction de la mémoire mobilisée et par ricochet le temps de réaction du logiciel. L'encodage se focalise sur les actions et les représentations externes mobilisées par chacun des deux co-équipiers.

Dans le but d'éviter les chevauchements lors des requêtes d'encodage, nous avons choisi d'encoder séparément les actions des co-équipiers en dupliquant chacun des extraits de vidéos de 20 minutes importés. Ainsi à titre d'exemple, un même extrait d'enregistrement de 20 minutes de l'activité du binôme 12b19b est importé deux fois dans Nvivo. Le premier extrait est encodé en prenant uniquement en compte les actions de l'apprenant 12b et le second extrait avec une focalisation exclusive sur les actions de l'apprenant 19b. Cette démarche adoptée pour les 6 binômes, conduit à l'importation et à l'encodage de 36 extraits de 20 minutes chacun, soit 6 extraits par binôme.

L'encodage de la totalité des enregistrements a donné lieu à un enrichissement concomitant du dictionnaire avec l'apparition de nouveaux codes liés à des actions non couvertes par les codes déjà existants.

Après l'encodage, a suivi l'exécution de requêtes d'encodage sur Nvivo permettant de ressortir l'ensemble des actions initiées et des représentations externes mobilisées par chacun des apprenants, avec l'instant où elles commencent et prennent fin.

Alors une base de données de l'ensemble des actions survenant durant l'activité des 6 binômes a été construite sur Excel. Elle comporte 4007 lignes, correspondant aux 4007 actions encodées, et 35 colonnes. Les quatre premières colonnes de la base de données renseignent l'instant de survenue de l'action, l'instant où elle prend fin, sa durée, la nature de l'action. Les colonnes 5 à 15 recèlent les éléments relatifs à l'étudiant initiateur de l'action encodée, son genre, son âge, les supports qui lui ont été fournis, la moyenne de scores de visualisation de l'auteur de l'action, son score au PSVT-R, son score au MCT, son score au MRT, son niveau de maîtrise du logiciel Catia, son niveau de maîtrise du logiciel AutoCad et son niveau de maîtrise du logiciel SolidWorks. Les colonnes 16 à 24 livrent la représentation externe mobilisée, le dynamisme de la représentation externe, sa stéréoscopie, la nature de son support, le binôme au sein duquel l'action a lieu, la moyenne de scores du binôme, l'écart de scores entre membres du binôme, le diplôme secondaire de l'auteur, la spécialité de ce diplôme. Dans les colonnes 25 à 30 se trouvent les durées cumulées par chaque apprenant dans chaque type d'action, dans la mobilisation des représentations externes de différentes natures, dans la mobilisation des représentations externes sur supports numériques, dans la mobilisation de supports papiers, dans la mobilisation de représentations externes planes et dans celle de représentations externes spatiales. Les durées cumulées dans le recours à chacun des types de représentation externe et types de supports

durant les différentes actions se retrouvent dans les colonnes 31 à 35. Ces durées cumulées, par chacun des apprenants, ont été calculées pour chaque type d'action et chaque type ou support de représentation externe mobilisée. Il s'agit, à chaque instant où survient une action donnée, de la durée cumulée par l'auteur pour ce type d'action depuis le début de l'activité. Il en est de même pour les différents types de représentations externes et supports ainsi que pour les différentes actions selon les représentations externes et supports mobilisés

Cette base de données a été importée dans R afin de réaliser les différents tests dans le but de valider ou de rejeter les hypothèses émises.

5.5. Les traitements statistiques mis en oeuvre

La distribution de nos données numériques s'éloignant d'une distribution normale, comme l'établissent les tests de Shapiro mis en œuvre au chapitre 6, nous oriente vers des traitements statistiques non paramétriques qui s'affranchissent de tout postulat de normalité de la distribution. Ainsi, afin de répondre aux questions de recherche, qui font l'objet de notre étude, nous avons recours à des tests de comparaison de Wilcoxon-Mann-Wheatney et de Kruskal-Wallis (Corder & Foreman, 2009 ; Deshpande, Naik-Nimbalkar, & Dewan, 2018 ; Hollander & Wolfe, 1999 ; Tang, He, & Tu, 2012), à l'aide du logiciel R (Bonnini, Corain, Marozzi, & Salmaso, 2014 ; Dalgaard, 2008 ; Lafaye de Micheaux, Drouilhet, & Liquet, 2014). Les croisements réalisés par ces traitements sont précisés dans les chapitres qui suivent.

5.6. Synthèse du chapitre 5

45 élèves techniciens supérieurs et 18 élèves ingénieurs participants à l'étude	45 élèves techniciens supérieurs en deuxième année de BTS (bac+2) issus de deux écoles de l'agglomération Dakaroise, et 18 élèves ingénieurs en 5 ^{ème} année de diplôme d'ingénieur de conception (bac+5) de la région de Thiès, ont pris part à cette étude.
---	---

Des données collectées par le biais de trois sources	Un questionnaire qui recueille les caractères sociodémographiques en termes d'âge et de genre, le parcours éducatif, notamment la nature et la série ou la spécialité du diplôme de niveau secondaire obtenu et la maîtrise perçue d'outils de modélisation graphique. Trois tests qui ont permis la mesure de la visualisation spatiale, en l'occurrence le Purdue spatial visualization test, le mental cutting test et le mental rotation test. Les films d'une activité de conception co-localisée de 6 binômes permettant de saisir la nature des actions initiées et des représentations externes mobilisées
---	---

Un traitement des données brutes consistant au dépouillement du questionnaire, à la correction des tests et à l'encodage des vidéos	Le dépouillement du questionnaire effectué permet de relever, pour les 63 participants, l'âge, le genre, le diplôme secondaire obtenu, la spécialité ou la série de ce diplôme, le niveau d'études atteint, le niveau de maîtrise des logiciels AutoCad, Catia, et SolidWorks. La correction des tests de visualisation spatiale conduisit à l'attribution de scores, pour le PSVT-R, le MCT et le MRT et d'une moyenne de ces trois scores, à chacun des 63 participants. L'encodage des vidéos enregistrant l'activité, de 12 apprenants répartis dans 6 binômes, a donné lieu à la catégorisation de 4007 actions avec les représentations externes qui y sont mobilisées, les apprenants qui en sont les auteurs et les caractéristiques de ces derniers en
--	--

	termes de visualisation.
--	--------------------------

Des outils numériques de traitement des données	Il a été fait recours au logiciel Excel pour la construction d'une base de données et au logiciel R pour les traitements statistiques tant descriptifs qu'inférentiels.
---	---

Chapitre 6. PRÉSENTATION DES DONNÉES DE L'ÉTUDE

6.1. Nature des données de l'étude

Les données faisant l'objet de cette présentation sont issues de trois sources. La première est un questionnaire recueillant les caractéristiques sociodémographiques et éducatives des 63 apprenants ; la deuxième relève des tests du PSVT-R, du MCT et du MRT évoqués à la page 70 du Chapitre 5 ; enfin, la troisième concerne les vidéos enregistrant l'activité de co-conception routinière des 6 binômes selon le protocole défini à la page 73 du Chapitre 5. Les données issues de cette troisième source ont donc trait à la dimension sociotechnique interactionnelle de notre problématique.

Les données provenant du questionnaire renvoient aux caractéristiques sociodémographiques, au parcours éducatif et à la maîtrise des outils de modélisation graphique, qui sont des composantes de la dimension sociocognitive individuelle. Les variables sociodémographiques que renseignent ces données sont l'âge et le genre, celles liées au parcours éducatif sont le niveau d'études et le diplôme secondaire obtenu, et celle relevant de la maîtrise des outils numériques de conception est la maîtrise déclarée des outils numériques de modélisation.

Les tests du PSVT-R, du MCT et du MRT donnent accès à des données permettant de renseigner la variable capacité de visualisation spatiale qui relève des capacités visuo-spatiales, qui sont une composante de la dimension sociocognitive individuelle de notre problématique.

Des vidéos enregistrant l'activité des apprenants en situation de production de solutions, il émane des données qui renseignent les variables relevant de la dimension sociotechnique interactionnelle. Cette dimension se décline en deux composantes que sont les actions de résolution de problème et les représentations externes mobilisées. Ainsi les variables dont il s'agit, pour la première composante, sont les actions de synchronisation cognitive, de synchronisation opératoire, de production graphique de solution, d'explicitation de solution et d'évaluation de solution. Dans le registre des représentations externes se retrouvent les variables qui concernent : la nature des représentations externes, le support des représentations externes, la stéréoscopie des représentations externes et le dynamisme des représentations externes.

6.2. Données issues du questionnaire

6.2.1. Caractéristiques sociodémographiques

Le questionnaire adressé aux apprenants permet de cerner le genre et l'âge de ces derniers (annexe 6, page 275). Ce groupe est à 80,95 % composé d'hommes et de femmes à seulement 19,05 %.

La répartition des âges, telle qu'illustrée à la page 275 par la figure A.6-1 et le tableau A.6-2, montre qu'un quart des apprenants a un âge compris entre 19 et 22 ans, un quart a entre 22 et 23 ans, un quart entre 23 et 25 ans et un quart entre 25 et 27 ans. Il y a deux cas extrêmes dont l'âge est pour l'un de 30 ans et 38 ans pour le second.

En vue du test ultérieur des hypothèses qui ont été émises, il convient d'explorer la nature de la distribution de chacune des variables quantitatives afin de pouvoir les soumettre aux traitements statistiques les plus adaptés, et dont elles respecteront les conditions de validité. À cet effet, le test de Shapiro appliqué à l'âge des apprenants donne un résultat $p = 6,47.10^{-7}$ ($<0,05$), il est de ce fait indiqué de rejeter l'hypothèse de normalité de sa distribution.

Par conséquent nous retenons que l'âge des apprenants qui participent à notre étude suit une distribution (figure A.6-2 et figure A.6-3, page 276) qui ne peut être supposée normale.

6.2.2. Parcours éducatif

En plus des attributs sociodémographiques, le questionnaire adressé aux 63 participants a permis le recueil de leur parcours éducatif. Il s'agit du niveau d'études atteint, de la nature du diplôme secondaire obtenu et de la spécialité de ce diplôme.

Concernant le niveau d'études atteint, les 18 élèves ingénieurs (28,57 %) sont de niveau bac+5 et les 45 élèves techniciens supérieurs (71,43 %) de niveau bac+2.

La nature des diplômes qui ont sanctionné la fin des études secondaires des participants est révélée dans le tableau A.6-4 à la page 277. Les diplômes en question sont le baccalauréat (bac) et le brevet de technicien (BT). Le brevet de technicien est un diplôme de niveau équivalent au baccalauréat en termes de nombre d'années d'études. Il a cependant une orientation plus professionnelle. Ainsi des 63 apprenants, 84,13 % ont obtenu le baccalauréat, 12,7 % le brevet de technicien, 1,59 % un baccalauréat puis un brevet de technicien et 1,59 % une équivalence au brevet de technicien. Il est à noter, de ce point de

vue, la présence de deux cas particuliers dans notre échantillon. Un apprenant a obtenu un baccalauréat général suivi d'un brevet de technicien. Un autre a obtenu une équivalence au BT lui permettant de suivre la formation de technicien supérieur, suite à quelques années d'expérience professionnelle après l'obtention d'un brevet d'études professionnelles (BEP).

Les spécialités ou séries des diplômes ayant sanctionné les études secondaires des apprenants de notre échantillon ont également été dévoilées par le questionnaire recueillant leurs caractéristiques (tableau A.6-5, page 277). Des 63 apprenants, 41,27 % ont obtenu le baccalauréat de la série T1, de spécialité fabrication mécanique. Le baccalauréat scientifique de la série S1, ayant les mathématiques, les sciences physiques et les sciences de la vie et de la terre comme dominantes, est obtenu par 22,22 % des apprenants. Les apprenants ayant obtenu le brevet de technicien dans la spécialité électromécanique (EM) constituent 11,11 % de l'échantillon, de même que ceux titulaires d'un baccalauréat scientifique de la série S3 (11,11 %) avec comme dominantes les mathématiques, les sciences physiques et la construction mécanique. Le baccalauréat de la série S2 est représenté à hauteur de 6,35 % ; dans cette série sont essentiellement étudiées les sciences expérimentales : sciences physiques et sciences de la vie et de la terre. Le baccalauréat technique T2, de spécialité électrotechnique est présent avec 3,17 %. La plus faible proportion d'apprenants, a le brevet de technicien dans la spécialité mécanique automobile (MA).

6.2.3. Maîtrise déclarée des outils de dessin assisté par ordinateur (DAO)

Le questionnaire comportait des items avec réponses à choix multiples sur une échelle de Likert à 5 niveaux : très bon, assez bon, moyen, faible, très faible. Ces questions visaient à recueillir le niveau de maîtrise auto-estimé des logiciels de modélisation graphique en usage dans les centres et écoles de formation couverts par notre étude.

S'agissant du logiciel AutoCad (tableau A.6-6, page 277), 22,22 % des apprenants déclarent ne pas l'utiliser. En ce qui concerne le niveau de maîtrise, il est moyen pour 52,38 % des apprenants, assez bon pour 12,7 %, faible pour 4,76 %, très bon pour 4,76 %, et une absence de réponse pour 3,17 %. L'item lié au niveau de maîtrise est sans objet pour la proportion d'apprenants (22,22%) ayant déclaré n'avoir aucune pratique du logiciel.

Le recueil de la perception du niveau de maîtrise du logiciel Catia (tableau A.6-7, page 277) est sans objet pour 68,25 % des apprenants qui ont déclaré n'en avoir aucune pratique. Ceux qui estiment en avoir une maîtrise moyenne constituent une proportion de 14,29 %, le niveau

de maîtrise est assez bon pour 11,11 % d'apprenants et faible pour 4,76 % d'entre eux. Une absence de réponse est notée pour 1,59 % des apprenants.

Le logiciel SolidWorks (tableau A.6-8, page 277) n'est pas utilisé par 28,57 % des apprenants de l'échantillon pour lesquels l'échelle de maîtrise n'est pas appliquée. Pour 49,21 %, la maîtrise est moyenne, assez bonne pour 17,46 %, faible pour 1,59 %, très bonne pour la même proportion (1,59 %), et une absence de réponse pour 1,59 %.

6.3. Données issues des tests de visualisation spatiale

Les résultats au Purdue spatial visualization test (PSVT-R), au mental cutting test (MCT) et au mental rotation test (MRT) sont présentés à la page 278 dans le tableau A.6-9, avec une déclinaison graphique sur la figure A.6-4.

Pour le PSVT-R, les valeurs minimales et maximales des scores sont respectivement 0,03 et 0,87, avec une moyenne de 0,38 et un écart type de 0,17. Au MCT, les scores obtenus s'étendent entre 0,04 et 0,72 ; la moyenne et l'écart type se situant à 0,31 et 0,16. Concernant le MRT, les valeurs des scores s'étalent entre 0 et 0,6, avec une moyenne de 0,14 et un écart type de 0,13. Les scores obtenus aux trois tests, que sont le PSVT-R, le MRT et le MCT, sont synthétisés dans une seule valeur : la moyenne des scores aux tests précédents. Cette dernière présente une distribution dont les valeurs s'étendent entre 0,06 et 0,62 avec une moyenne à 0,27 et un écart type de 0,13.

La moyenne des scores aux trois tests cités plus haut, s'est présentée comme une variable de synthèse des résultats aux dits tests car d'une part la validité interne des mesures issues de ces trois tests peut être considérée comme satisfaisante du fait des valeurs du coefficient alpha de Cronbach : $\alpha \text{ de Cronbach (PSVT-R, MCT, MRT) } = 0,78$. D'autre part les valeurs du coefficient de Cronbach entre la moyenne des scores et chacun des scores aux tests PSVT-R, MCT et MRT pris respectivement sont de : 0,91 ; 0,90 et 0,88, le coefficient Cronbach (PSVT-R, MCT, MRT, Moy) atteint également la valeur de 0,89. Ces éléments montrent une cohérence satisfaisante entre les scores obtenus aux différents tests et la moyenne de ces derniers. Ainsi pour la suite de l'étude nous remplacerons les scores au mental cutting test, au mental rotation test et au Purdue spatial visualization test par leur moyenne.

Le test de Shapiro appliqué à la moyenne des scores donne un résultat $p = 0,0084$ ($<0,05$), alors il convient de rejeter l'hypothèse selon laquelle la distribution suivrait une loi normale. Par conséquent, à la lumière des résultats du test de Shapiro, la moyenne des scores suit une distribution (figure A.6-5, page 279 et figure A.6-6, page 279) qui ne peut être qualifiée de normale.

6.4. Données provenant des vidéos de l'activité de co-conception des 6 binômes

6.4.1. Actions de résolution de problème

À cette activité de co-conception ont participé 6 binômes d'apprenants, 11 garçons et une fille, issus des 45 élèves techniciens supérieurs ayant répondu au questionnaire de recueil des caractéristiques éducatives et sociodémographiques ainsi qu'aux tests de visualisation spatiale. Il s'agit là des apprenants du groupe des élèves techniciens supérieurs qui, sur une base volontaire, ont accepté de participer à cette seconde phase de notre étude.

Le tableau A.6-10, page 279, consigne les données liées à leur âge, la moyenne est de 23,33 avec un maximum et un minimum de 26 et 21 ans respectivement et un écart type de 2,02.

Les scores de visualisation spatiale des apprenants impliqués dans l'activité de co-conception varient comme le montre le tableau A.6-11 à la page 280 : entre 0,2 et 0,63 pour le PSVT-R avec une moyenne à 0,4 et un écart type de 0,14 ; entre 0,16 et 0,6 pour le MCT avec une moyenne à 0,38 et un écart type de 0,15 ; entre 0 et 0,2 pour le MRT avec une moyenne à 0,097 et un écart type de 0,07 ; entre 0,173 et 0,437 pour la moyenne des scores précédents avec une moyenne à 0,292 et un écart type de 0,11.

L'évolution temporelle de l'activité de co-conception est caractérisée par l'instant où débute chacune des 4007 actions, l'instant où elle prend fin et sa durée (tableau A.6-12, page 280). Les instants de début et de fin sont mesurés en secondes en prenant comme référence le moment où chacun des binômes commence son activité. Les durées des actions sont comprises entre 0,2 et 894 secondes (moyenne = 5,89 et écart type = 22,36). Concernant les instants de début des actions, le minimum est à 0 seconde et le maximum à 3597,8 secondes (moyenne = 1618,2 et écart type = 1060,1). Les actions prenant fin le plus tôt à 4,9 secondes et le plus tard à 3600 secondes (moyenne = 1624,12 et écart type = 1061,01) de l'instant de début de l'activité de co-conception. La distribution des instants de début des actions est comparée à celle normale par le biais du test de Shapiro. Il en ressort ($p < 2,2^{-16}$) que les

instants de survenue des actions ne suivent pas une distribution qui pourrait être supposée normale.

Les durées cumulées par chaque apprenant dans chacun des types d'action présentent des valeurs minimales de 0,3 seconde et maximales de 2689,9 secondes (moyenne = 135,33 et écart type = 236,56). Les durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation de chaque type de représentation externe, varient entre 0,5 et 2680,7 secondes (moyenne = 298,98 et écart type = 372,18). Les durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes selon leur stéréoscopie, s'étendent entre 0,5 et 2680,7 secondes (moyenne = 372,22 et écart type = 408,16). Les durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes selon la nature du support, ont des valeurs minimales et maximales respectives de 0,5 et 2680,7 secondes (moyenne = 376,35 et écart type = 411,33). Les durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation de chaque type de représentation externe au cours de chaque type d'action, s'étalent entre 0,3 et 2579,1 secondes (moyenne = 83,73 et écart type = 234,06). Les durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes, selon leur stéréoscopie, au cours de chaque type d'action, ont des valeurs minimales de 0,3 seconde et maximales de 2579,1 secondes (moyenne = 95,31 et écart type = 239,47). Les durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes, selon la nature du support, au cours de chaque type d'action, varient entre 0,3 et 2579,1 secondes (moyenne = 95,72 et écart type = 239,71). Le besoin de caractérisation des durées cumulées précédentes, en référence à la normalité de la distribution, nous conduit à la mise en œuvre de tests de Shapiro. Les résultats qui en sont issus, avec $p < 2,2 \cdot 10^{-16}$ ($< 0,05$), éloignent toute hypothèse de distribution normale.

L'activité de co-conception des binômes est principalement constituée (tableau A.6-14, page 281), en termes de fréquence, d'actions d'explicitation-précision de solutions (eps) à 19,87 %, de manifestation d'accord, d'attention ou de compréhension (ar) à 19,62%, de représentation de solutions (rs) à 10,06 %, de requête d'explicitation-précision de solutions (reqs) à 8,04 %, de suggestion de représentation de solutions (srs) à 6,64 % et d'actions liées à des propos suspendus ou indéterminés (psi) à 5,24 %. Cette activité recèle des actions dont la fréquence est comprise entre 1 % et 5 % ; il s'agit des actions en lien avec une attitude silencieuse de réflexion (psr) à 4,07 %, des actions de validation ou consolidation de solutions (vcs) à 3,59 %, de suggestion d'organisation (so) à 3,15 %, d'explicitation-précision du problème (epp) à 2,82 %, de requête d'approbation de solutions (ras) à 1,77 %, de

de quête d'information sur le problème (qip) à 1,65 %, d'apport de supports ou outils de travail (aost) à 1,6 % et de requête d'expression de compréhension (rec) à 1,07 %. Entre 0,1 et 1% de fréquence, nous retrouvons les actions de requête de représentation de solutions (rrs) à 0,95 %, de proposition de représentation de solutions (prs) à 0,92 %, d'expression de stratégie ou d'analogie (est) à 0,65 %, de proposition d'explicitation de solutions (pes) à 0,57 %, de retrait de supports ou outils de travail (rsot) à 0,42 %, d'expression d'absence de solutions (eas) à 0,27 %, de requête d'explicitation-précision du problème (reque) à 0,25 %, d'interrogation sur la démarche à suivre (ids) à 0,2 %, de demande de supports ou outils de travail (dsot) à 0,17 %, d'aveu d'incompréhension du problème (aip) à 0,12 % et de constat de difficulté en lien avec un outil (cdo) à 0,1 %. Des actions dont la très faible fréquence se situant en dessous de 0,1 % sont également relevées ; elles ont trait à la régulation du tour de parole (rtp) comptant pour 0,07 % de l'activité ainsi qu'à la proposition d'explicitation du problème (pep), au rejet d'explicitation du problème (reje), et à la requête d'explicitation de solutions couvrant chacune 0,02 % de l'activité.

Relativement à leurs initiateurs (tableau A.6-13, page 281), les actions précédemment présentées sont le fait de l'apprenant 9b à 13,08%, de l'apprenant 19b à 11,46 %, de l'apprenant 12b à 11,41 %, de l'apprenant 17b à 11,16 %, de l'apprenant 15b à 9,41 %, de l'apprenant 20b à 9,36 %. Les apprenants 9a, 11b, 5a, 1b, 15a et 19a initient respectivement 8,26 %, 7,34 %, 6,34 %, 5,62 %, 3,72 et 2,85 % des actions.

Ces actions relèvent donc (tableau A.6-15, page 282), pour 22,87%, 22,49 %, 20,52 %, 14,6 %, 12,96 % et 6,57 %, respectivement des binômes 12b19b, 9b15b, 17b20b, 9a,5a, 11b1b et 15a19a.

6.4.2. Représentations externes mobilisées

Nous avons dans notre étude considéré l'activité de co-conception comme étant constituée d'actions initiées par des apprenants dont nous prenons en considération certaines caractéristiques individuelles, notamment la visualisation spatiale. Ces actions sont entreprises sur la base de représentations externes qui sont mobilisées. Les représentations externes en question sont caractérisées selon leur nature, leur dynamisme et leur stéréoscopie.

Les actions initiées s'accompagnent alors de la mise à contribution de représentations externes ou le sont sans le moindre recours à une quelconque représentation externe (tableau A.6-16, page 282).

Ainsi dans l'activité de co-conception, 37,31 % des actions sont entreprises en l'absence de recours à une quelconque représentation externe (ab_RE). Une proportion de 25,03 % des actions s'appuient sur le dessin réaliste à l'ordinateur (dro). Le dessin plan sur papier (dpp) accompagne 18,79 % des actions, l'esquisse sur papier (ep) est mise à contribution dans 15,55 % des actions. La vidéo de dessin animé (vda), le texte sur papier (tp), le dessin réaliste sur papier (drp) et la vidéo de schéma animé (vsa) couvrent respectivement des proportions de 1,47 %, 1,22 %, 0,47 % et 0,15 %.

Rappelons que cinq des six binômes présentent leurs solutions sur support numérique et un seul le fait sur support papier. Le tableau A.6-17 à la page 282 nous permet de constater que 79,49 % des actions concernent les apprenants présentant leur solution finale sur support numérique alors que 20,51 % sont relatives aux apprenants qui présentent leur solution finale sur papier.

Relativement à la nature des supports auxquels il est fait recours dans le cadre des actions entreprises, nous remarquons (tableau A.6-18, page 283) que 37,31 % des actions sont caractérisées par l'absence (ab_RE) de toute représentation externe les accompagnant. Cependant, 26,65 % des actions s'appuient sur des représentations externes sur support numérique et 36,04 % mettent à contribution des représentations externes sur support papier.

Le caractère dynamique ou statique des représentations externes auxquelles il est fait recours dans les actions qui constituent l'activité de co-conception des apprenants (tableau A.6-19, page 283), objet de notre étude, ne concerne pas 37,31 % des actions ayant lieu sans le moindre recours à une quelconque représentation externe. Les actions mettant à contribution des représentations externes dynamiques constituent une proportion de 26,65 % quand celles s'appuyant sur des représentations externes statiques représentent 36,04 %.

Par rapport à la stéréoscopie des représentations externes mises à contribution (tableau A.6-20, page 283), 37,31 % des actions sont, comme précédemment, sans objet car ayant lieu sans impliquer la moindre représentation externe. Une proportion de 27,13 % d'actions s'appuient sur des représentations externes stéréoscopiques alors que 35,56 % d'entre elles donnent lieu à un recours à des représentations externes non stéréoscopiques.

6.5. Synthèse du chapitre 6

Une caractérisation sociodémographique de l'échantillon à dominante masculine d'un âge moyen de 23,48 ans	Des 63 apprenants participant à l'étude, 80,95 % sont des garçons et 19,05 % sont des filles. L'âge minimal se situe à 19 ans et celui maximal à 38 ans, la moyenne à 23,48 ans avec un écart type de 2,85. La médiane des âges est à 23 ans, le premier quartile à 22 ans, le troisième quartile à 23 ans et le quatrième à 27 ans. Les âges de 30 ans et 38 ans constituent deux valeurs extrêmes.
Un parcours éducatif essentiellement marqué par l'obtention d'un baccalauréat scientifico-technique	La majorité (84,13%) des 63 participants, a un baccalauréat scientifique ou technique, les 15,87 % restants ont un brevet de technicien en électromécanique ou équivalent.
Une maîtrise disparate d'outils de modélisation graphique 2D et 3D	Parmi les 63 participants, un niveau de maîtrise moyen à très bon est noté pour le logiciel AutoCad chez 69,84 %, pour SolidWorks chez 68,26 %, et pour Catia chez 25,4 %. La non utilisation de Catia atteint des proportions de 68,25 %, celle de SolidWorks 28,57 % et celle de AutoCad 22,22 %.
Des résultats des tests variables	De meilleurs résultats sont relevés pour le PSVT-R avec une moyenne des 63 apprenants de 0,38, suivent les résultats su MCT avec une moyenne de 0,31, viennent enfin ceux du MRT avec une moyenne de 0,14.

Une cohérence satisfaisante des résultats aux trois tests	La validité interne des résultats aux tests du PSVT-R, du MCT et du MRT est considérée comme satisfaisante avec un coefficient alpha de Cronbach s'élevant à 0,78.
Une prédominance des actions d'explicitation-précision de solutions et de représentation de solutions	Les actions d'explicitation-précision de solutions et celles de représentation de solutions occupent respectivement 19,87 % (n=796) et 10,08 % (n=404) des occurrences.
Des actions appuyées par une représentation externe : une prédominance de la mise à contribution du dessin réaliste à l'ordinateur, du dessin plan sur papier et de l'esquisse sur papier	Des 4007 actions encodées, après celles sans la moindre représentation externe qui occupent une proportion de 37,31 %, viennent celles appuyées par le dessin réaliste à l'ordinateur (25,03 %), par le dessin plan sur papier (18,79 %) et par l'esquisse sur papier (15,57 %).
Des actions appuyées par une représentation externe : une prédominance de la mise à contribution de supports statiques sur papier et de supports plans devant ceux numériques et stéréoscopiques	Des 4007 actions encodées, après celles sans la moindre représentation externe qui occupent une proportion de 37,31 %, viennent celles appuyées par des supports statiques sur papier (36,04 %), devant les supports dynamiques numériques (26,65 %). De même les supports plans (35,56 %) dominent les supports stéréoscopiques (27,13 %).

Chapitre 7. CAPACITÉS SPATIALES LIÉES AU PARCOURS ÉDUCATIF ?

7.1. Hypothèses et traitements statistiques

Dans ce chapitre nous nous focalisons sur les capacités visuo-spatiales des apprenants de notre échantillon de manière à les situer par rapport aux travaux de recherches qui établissent la malléabilité des capacités visuo-spatiales et ceux qui avancent l'existence de liens avec des variables sociodémographiques telles que l'âge et le genre.

En plus des variables liées à la visualisation spatiale qui sont intrinsèques à notre étude, cette partie implique les variables relatives au genre, à l'âge, au parcours éducatif et à la maîtrise déclarée des outils de DAO qui sont, dans ce cadre, des variables extrinsèques.

Ainsi ce chapitre s'articulera autour des hypothèses suivantes :

- Hypothèse 0-1 : les apprenants ayant obtenu le baccalauréat sont plus jeunes que ceux ayant obtenu le brevet de technicien
- Hypothèse 0-2 : les apprenants ayant obtenu le baccalauréat ont des scores de visualisation spatiale plus élevés que ceux ayant obtenu le brevet de technicien
- Hypothèse 0-3 : les apprenants de niveau d'études plus élevé ont des scores de visualisation spatiale plus élevés
- Hypothèse 0-4 : les garçons ont des scores de visualisation spatiale plus élevés comparés aux filles
- Hypothèse 0-5 : la maîtrise déclarée des outils de DAO est plus élevée chez les apprenants ayant obtenu le baccalauréat, comparés à ceux qui ont obtenu le brevet de technicien
- Hypothèse 0-6 : la maîtrise déclarée des outils de DAO est plus élevée chez les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés

Dans le but de tester les hypothèses qui précèdent, nous commençons par clarifier la structure des données issues des trois tests de visualisation spatiale que sont le PSVT-R, le MCT et le MRT en déterminant leur cohérence interne au moyen du coefficient Alpha de Cronbach. Ainsi les résultats présentés à la page 86 du chapitre 6, montrant que Alpha de Cronbach (PSVT-R, MCT, MRT) = 0,78, permettent de conclure qu'il existe une bonne cohérence interne entre les résultats aux tests du PSVT-R, du MCT et du MRT. Ces mêmes

résultats nous confortent dans notre choix d'agréger les scores aux trois tests, PSVT-R, MCT et MRT auxquels nous avons soumis les apprenants de notre échantillon, en un seul afin de travailler avec non pas trois jeux de données liées à la visualisation spatiale mais un seul recelant la moyenne des trois scores précédents. Cette moyenne des scores de visualisation spatiale ayant été identifiée comme variable de synthèse des résultats aux trois tests sus mentionnés.

Les hypothèses qui précèdent ont été éprouvées en mettant en œuvre, pour les hypothèses 0-1, 0-2, 0-3, 0-4 et 0-5 le test non paramétrique de la somme des rangs de Wilcoxon, en raison de la non normalité de la distribution de l'âge et celle de la moyenne des scores aux tests de visualisation spatiale, établie respectivement à la page 84 et à la page 87 du chapitre 6. La faiblesse des effectifs milite également en faveur du recours à des tests non paramétriques. Pour les mêmes raisons, il est fait recours au test de Kruskal Wallis aux fins de validation ou d'invalidation de l'hypothèse 0-6.

7.2. Présentation des résultats

7.2.1. Parcours éducatif et âge

L'application du test de Wilcoxon aux données, afin de tester l'hypothèse 0-1, produit un résultat montrant que les apprenants ayant obtenu le baccalauréat sont significativement différents de ceux ayant obtenu le brevet de technicien, comme diplôme sanctionnant la fin des études secondaires ($p = 0,0035$).

La représentation graphique (figure A.7-1, page 284), illustrant la distribution de l'âge des apprenants selon la nature du diplôme sanctionnant leurs études secondaires, montre que les apprenants ayant obtenu le baccalauréat sont plus jeunes que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.

7.2.2. Capacités visuo-spatiales et parcours éducatif

- **Capacités visuo-spatiales et nature du diplôme secondaire**

L'hypothèse 0-2 renvoie à la dimension sociocognitive individuelle, avec les composantes relatives aux capacités visuo-spatiales et au parcours éducatif. Cette hypothèse met en jeu, d'une part la variable relative au diplôme sanctionnant la fin des études secondaires relevant du parcours éducatif, d'autre part la capacité de visualisation spatiale qui a trait aux capacités visuo-spatiales.

Afin de déterminer le test statistique à appliquer aux données de manière à éprouver l'hypothèse qui précède, il convient de vérifier la normalité des données impliquées. À cet effet le test de Shapiro, précédemment appliqué (cf. page 87 du chapitre 6) à la moyenne des scores, donnait une valeur de $p < 0,05$ montrant que la moyenne des scores ne suivait pas une distribution normale. Ainsi il convient de recourir à un test non paramétrique ; nous mettons alors à contribution le test de Wilcoxon dans le but de comparer les apprenants ayant, à la fin du secondaire, obtenu le baccalauréat à ceux ayant obtenu le BT, du point de vue de la capacité de visualisation spatiale. La valeur de $p = 0,0023$ ($< 0,01$) indique une différence significative entre ces deux classes d'apprenants ; cette différence est illustrée à la page 284 par la figure A.7-2. Remarquons que cette figure représentant la distribution de la moyenne des scores au PSVT-R, au MCT et au MRT, chez les apprenants ayant obtenu le baccalauréat et chez ceux ayant obtenu le brevet de technicien, montre que les premiers ont globalement des scores plus élevés.

En référence à ce qui précède, nous retenons que les apprenants ayant obtenu le baccalauréat auraient des moyennes de scores aux tests du PSVT-R, MCT et MRT plus élevées que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.

- **Capacités visuo-spatiales et niveau d'études**

L'hypothèse 0-3 relevant de la dimension sociocognitive individuelle, met directement en jeu le niveau d'études, relevant du parcours éducatif, et les capacités visuo-spatiales. Les résultats du test de Wilcoxon ($p > 0,05$) appliqué aux données ne nous permettent pas de postuler la présence d'une différence significative, liée au niveau d'études, en termes de visualisation spatiale (figure A.7-3, page 285).

7.2.3. Capacités visuo-spatiales et genre

L'hypothèse 0-4 relevant de la dimension sociocognitive individuelle, met directement en jeu le genre et la visualisation spatiale. Les résultats du test de Wilcoxon ($p > 0,05$) appliqué aux données ne nous permettent pas de postuler la présence d'une différence significative liée au genre en termes de visualisation spatiale (figure A.7-4, page 285).

7.2.4. Maîtrise déclarée des outils de CAO et nature du diplôme secondaire

Les liens probables postulés, entre la nature du diplôme de niveau secondaire obtenu et la maîtrise déclarée des outils de modélisation graphique, renvoient à l'hypothèse 0-5. Le questionnaire ayant révélé trois logiciels utilisés par les uns ou les autres, nous nous focalisons sur les réponses fournies relativement à la maîtrise de chacun d'entre eux.

- **Pour le logiciel AutoCad**

Relativement à la maîtrise du logiciel AutoCad, les résultats du test de Wilcoxon appliqué aux données, notamment pour comparer la classe des apprenants ayant obtenu le baccalauréat à celle des apprenants ayant obtenu le BT, du point de vue du niveau de maîtrise déclaré, ne permet pas de mettre en évidence une quelconque différence significative ($p > 0,05$).

- **Pour le logiciel Catia**

Concernant le logiciel Catia, il n'a également pas été mis en évidence, sur la base des résultats issus du test de Wilcoxon, de différence significative ($p > 0,05$) entre les apprenants titulaires d'un baccalauréat et ceux titulaires d'un BT, quant au niveau de maîtrise déclaré.

- **Pour le logiciel SolidWorks**

Pour le niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks, au vu des résultats du test de Wilcoxon ($p = 0,049$), une différence significative existerait entre les apprenants qui ont obtenu le baccalauréat au niveau secondaire et ceux ayant obtenu le BT comme diplôme secondaire.

Ainsi à la page 286 la figure A.7-5 montre que les apprenants titulaires du baccalauréat déclarent un niveau de maîtrise du logiciel SolidWorks supérieur à celui déclaré par les apprenants ayant obtenu le brevet de technicien.

7.2.5. Maîtrise déclarée des outils de CAO et visualisation spatiale

L'hypothèse 0-6, met en relation des variables relevant de la dimension sociocognitive individuelle ; elle postule l'existence de liens entre la maîtrise déclarée des outils de modélisation graphique et la visualisation spatiale.

- **Pour le logiciel AutoCad**

Les résultats du test de Kruskal Wallis ($p > 0,05$) ne dévoilent pas de différence significative des moyennes de scores de visualisation, selon le niveau de maîtrise déclaré du logiciel AutoCad.

- **Pour le logiciel Catia**

Les résultats du test de Kruskal Wallis ($p > 0,05$) ne révèlent pas de différence significative des moyennes de scores de visualisation, selon le niveau de maîtrise déclaré du logiciel Catia.

- **Pour le logiciel SolidWorks**

Il y aurait une différence significative, d'après les résultats du test de Kruskal Wallis ($p = 0,042$), entre les moyennes des scores des apprenants selon le niveau de maîtrise du logiciel SolidWorks qu'ils auraient déclaré.

La figure A.7-6 à la page 286 semble indiquer que les apprenants qui déclarent les niveaux de maîtrise les plus élevés sont ceux qui ont des scores de visualisation spatiale les plus élevés. Un test de corrélation de Kendall ($p = 0,042$ et $\tau = 0,34$) permet de confirmer l'existence d'un lien positif modéré entre le niveau de maîtrise déclaré et le score de visualisation spatiale.

7.3. Synthèse du chapitre 7

Il était question, dans ce chapitre, d'éclairer les liens probables entre, d'une part les facteurs relatifs au caractères sociodémographiques et au parcours éducatif, et d'autre part les capacités spatiales des apprenants. Cette question a été adressée à travers le recours à des tests, non paramétriques, de comparaison de Wilcoxon, de Kruskal-Wallis et à des tests de corrélation de Kendall. Ils comparent, du point de vue des scores de visualisation spatiale, les différents apprenants selon le genre, l'âge, le diplôme secondaire, la maîtrise des outils de modélisation numérique et le niveau d'étude. Les résultats auxquels ces traitements ont permis d'accéder sont ici déclinés dans leur substance.

Présence d'un lien significatif entre âge et type de diplôme secondaire obtenu.	Les apprenants ayant obtenu le baccalauréat sont plus jeunes que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.
Présence d'un lien significatif entre le diplôme secondaire obtenu et la capacité de visualisation spatiale.	Les apprenants titulaires d'un baccalauréat ont des scores de visualisation spatiale plus élevés que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.
Absence de lien significatif entre niveau d'études et visualisation spatiale.	Il n'est pas mis en évidence de différence significative, en lien avec le niveau d'études, du point de vue de la visualisation spatiale.
Absence de lien significatif entre genre et visualisation spatiale.	Il n'est pas mis en évidence de différence significative, en lien avec le genre, du point de vue de la visualisation spatiale.
Présence d'un lien partiel entre maîtrise des outils de modélisation et diplôme secondaire d'une part, visualisation spatiale d'autre part.	La maîtrise d'un seul des trois logiciels en usage est significativement liée à la nature du diplôme secondaire obtenu. La maîtrise d'un seul des trois logiciels en usage est significativement liée à la visualisation spatiale.

Chapitre 8. RECOURS AUX REPRÉSENTATIONS EXTERNES MARQUÉ PAR LES CAPACITÉS SPATIALES ?

8.1. Capacités spatiales et représentations externes : traitements statistiques

Dans ce chapitre nous traitons de la question qui adresse l'existence probable de liens entre d'une part, la nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants dans un processus de co-conception et d'autre part, les capacités visuo-spatiales de ces derniers, dans leur composante relative à la visualisation spatiale.

Cette question est abordée sous un angle appelant les hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles recourent plus aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.
- Hypothèse 1-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés ont plus recours aux représentations externes planes et à celles sur papier.
- Hypothèse 1-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles ont plus précocement recours aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.

Les variables mises en relation par ces hypothèses sont d'une part : la capacité de visualisation spatiale des apprenants qui est renseignée par la moyenne des scores aux tests du PSVT-R, du MRT et du MCT, qui enregistrent une cohérence interne satisfaisante comme le montre le coefficient alpha de Cronbach ($\text{Alpha} = 0,78$). Cette moyenne caractérise les individus du point de vue de la visualisation spatiale. D'autre part la nature des représentations externes est impliquée, ainsi que la temporalité du recours aux dites représentations externes. Cette temporalité recèle aussi bien les durées que les instants de survenue des dites actions.

Concernant la nature des représentations externes, elle s'appréhende par la typologie de ces dernières : texte, dessin, schéma ; le support de la représentation externe : papier ou numérique ; son dynamisme et sa stéréoscopie. Le recours qui est fait à ces représentations dans le processus de co-conception touche quant à lui à la temporalité des actions qui y sont liées ; il s'agit de l'instant de survenue de l'action en question depuis le début de l'activité et de sa durée, sans oublier la fréquence de ce type d'action. Ainsi, notre problématique nous

pousse à considérer les durées cumulées qui agrègent la fréquence et les durées ponctuelles. Cette construction affecte à chaque occurrence la durée cumulée de toutes les actions de même nature, initiées par le même auteur, qui ont précédé. Elle permet de disposer à la fois du nombre d'occurrences de ce type d'action et du temps qui y est consacré.

Les hypothèses énoncées dans ce qui précède ont été éprouvées en mettant en œuvre le test de la somme des rangs de Wilcoxon, dans le but de comparer les instants de survenue des actions ainsi que les durées cumulées par les apprenants enregistrant les scores de visualisation spatiale les plus faibles à celles des apprenants ayant les scores les plus élevés. À cet effet, nous avons constitué deux classes d'apprenants en fonction de leurs moyennes de scores de visualisation spatiale. Une première classe regroupe les six apprenants ayant les moyennes les plus faibles. Une seconde est composée de ceux avec les scores les plus élevés. Ainsi, le tableau qui suit reprend la structure des 6 binômes, en précisant, le niveau de score et la posture adoptée par chaque apprenant au sein de son équipe.

tableau 8-1 : Structure des équipes selon le niveau de score et le rôle des apprenants

Binôme	12b19b		9a5a		11b1b		15a19a		9b15b		20b17b	
Apprenant	12b	19b	9a	5a	11b	1b	15a	19a	9b	15b	20b	17b
Moyenne de scores	0,423	0,293	0,436	0,203	0,18	0,173	0,183	0,293	0,436	0,183	0,28	0,42
Rôle dans l'équipe	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND
Niveau de score	E	E	E	f	f	f	f	E	E	f	f	E

D : dessinateur ND : non dessinateur E : scores les plus élevés f : scores les plus faibles

La lecture du tableau précédent permet de relever que les moyennes des scores des six apprenants de la classe f varient de 0,173 à 0,28. Celles de la classe E varient de 0,293 à 0,436. Dans chacune des classes évoquées dans ce qui précède, nous constatons que trois apprenants sont dessinateurs et les trois restants sont non dessinateurs. Il apparaît également que quatre équipes sont composées d'un apprenant de la classe E et un de la classe f. Deux équipes ont cependant une composition particulière. L'une avec deux apprenants de la classe E et l'autre avec deux de la classe f.

Le choix du test non paramétrique de la somme des rangs de Wilcoxon résulte de la non normalité de la distribution des durées cumulées des actions et des durées cumulées du recours aux différents types et supports de représentations externes, de même que celle des instants où ils surviennent. Nous ne pouvions, en raison du résultat du test de Shapiro (cf. page 88) appliqué aux différentes durées cumulées ($p < 0,05$), retenir l'hypothèse d'une distribution suivant une loi normale. Il en est de même pour ce qui concerne les instants de survenue avec une valeur $p < 0,05$ pour le test de normalité de Shapiro (cf. page 87).

8.2. Liens entre capacités spatiales et mise à contribution de représentations externes

Les hypothèses 1-1, 1-2 et 1-3 mettent en relation le niveau de score des apprenants et la mise à contribution de représentations externes, en fonction de leur stéréoscopie. Nous croisons alors les durées cumulées et les instants de survenue des recours aux représentations externes stéréoscopiques, ou à celles planes, avec les niveaux de scores des apprenants. À cette fin, l'application du test de la somme des rangs de Wilcoxon permet de comparer les durées cumulées par les apprenants de la classe f aux durées cumulées par les apprenants de la classe E. Identiquement, les instants de survenue des actions initiées par les apprenants de la classe f sont comparées à celles des actions dont les apprenants de la classe F sont les auteurs.

8.2.1. Visualisation spatiale et représentations externes sur support numérique

Les apprenants de la classe E, présentant les niveaux de scores les plus élevés, recourent un nombre de fois ($n_E = 652$) supérieur à celui auquel ceux de la classe f, ayant les niveaux de scores les plus faibles, le font ($n_f = 416$).

Les résultats issus du test, unilatéral à droite, de Wilcoxon comparant les durées cumulées dans la mise à contribution de supports numériques par les apprenants de ces deux classes, se présentent comme suit : $W = 156700$ et $p < 0,001$. Il convient de rappeler que le test de Wilcoxon unilatéral à droite, que nous mettons en œuvre, repose sur l'hypothèse nulle selon laquelle les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne sont pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. La valeur de p ($< 0,001$) révèle un risque inférieur à 0,1 % de rejeter l'hypothèse nulle alors qu'elle serait vraie. Nous en tirons par conséquent, que les apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus élevés consacrent plus de temps dans la mobilisation de supports numériques comparés à ceux ayant les scores les

plus faibles. La boîte à moustaches et le tableau illustrant la distribution des durées cumulées par les apprenants des classes E et f, ainsi que le résultat du test de Wilcoxon fourni par le logiciel R sont disponibles à la page 288.

La comparaison des classes d'apprenants, du point de vue des instants de survenue des mises à contribution des représentations externes numériques, avec un test unilatéral à droite de Wilcoxon, conduit aux résultats suivants : $W = 146620$ et $p < 0,05$, consignés à la page 297. Ainsi, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles recourent de manière plus précoce aux représentations externes numériques.

8.2.2. Visualisation spatiale et représentations externes stéréoscopiques

Par rapport à la mobilisation des représentations externes spatiales, nous comparons les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés (classe E), à ceux dont les scores de visualisation spatiale sont les plus faibles (classe f), tant du point de vue des durées cumulées que des instants de survenue de ces actions.

À cette fin, nous mettons d'abord en œuvre le test unilatéral à droite des sommes de rangs de Wilcoxon, qui s'appuie sur l'hypothèse nulle H_0 . Cette dernière postule que les durées cumulées de mobilisation de supports spatiaux, par les apprenants de la classe E, ne seraient pas supérieures aux durées cumulées de mobilisation des mêmes supports par les apprenants de la classe f. Les résultats obtenus ($n_E = 661$, $n_f = 426$, $W = 162560$ et $p < 0,001$) permettent de rejeter l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Alors, nous avançons que les durées cumulées, de mobilisation de supports spatiaux, sont plus importantes dans la classe E comparées à celles dans la classe f. Les résultats issus du logiciel R, le tableau et la figure illustrant la distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports spatiaux, sont présentés à la page 289.

De manière identique, un test de Wilcoxon unilatéral à droite comparant les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, du point de vue des instants de survenue du recours aux représentations externes stéréoscopiques, produit les résultats synthétisés à la page 294 ($W = 151410$ et $p < 0,05$). En conclusion, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles recourent de manière plus précoce aux représentations externes stéréoscopiques.

8.2.3. Visualisation spatiale et représentations externes sur support papier

Afin de comparer les apprenants de la classe E à ceux de la classe f, relativement aux durées cumulées et aux instants de survenue de la mobilisation de représentations externes sur support papier, nous appliquons deux tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon. Ces tests bilatéraux reposent sur les hypothèses nulles d'absence de différence entre les durées cumulées, par les deux classes d'apprenants, et entre les instants de survenue des recours faits aux représentations externes sur papier.

Le résultat ($W = 256220$ et $p > 0,05$) du test comparant les durées cumulées ne nous permet pas de rejeter l'hypothèse nulle au seuil de 5 %. Ainsi, La mise à contribution de représentations externes sur support papier, par les apprenants de la classe E ($n_E = 767$) et par les apprenants de la classe f ($n_f = 677$), ne présente pas de différences statistiquement significatives du point de vue des durées cumulées. Les détails du résultat issu du logiciel R sont consultables à la page 291, de même que la figure et le tableau illustrant la distribution des durées cumulées de recours aux représentations externes sur support papier.

Le test de comparaison des instants de survenue de la mise à contribution des représentations externes sur support papier livre les résultats ($W = 270270$ et $p > 0,05$) dont la teneur est consignée à la page 296. Par conséquent, nous ne pouvons établir la présence de différence statistiquement significative entre les apprenants des classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue du recours aux représentation externes sur support papier.

8.2.4. Visualisation spatiale et représentations externes sur supports plans

La comparaison des apprenants de la classe E à ceux de la classe f, du point de vue du recours à des supports plans, a donné lieu à l'application de tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon. Ces derniers reposent sur les hypothèses nulles pour lesquelles il y aurait une absence de différence entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, de même qu'entre les instants de survenue de leurs actions.

Le test relatif aux durées cumulées livre les résultats suivants : $n_E = 758$, $n_f = 667$, $W = 251300$ et $p > 0,05$. Par conséquent, nous ne pouvons au seuil de 5% rejeter l'hypothèse nulle. Ainsi, il n'y aurait pas de différence significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de mobilisation de supports plans. À la page 292 sont consignés

les résultats livrés par le logiciel R, ainsi que le tableau et la représentation graphique de la distribution des durées cumulées de mobilisation de supports plans dans chacune des deux classes E et f.

De la même manière, le test en lien avec les instants de survenue des recours aux représentations externes planes, montre ($W = 264910$ et $p > 0,05$) que nous ne pouvons établir, de ce point de vue, de différence significative entre les classes d'apprenants E et f. Le détail de ce résultat est présenté à la page 293.

8.3. Synthèse du chapitre 8

Ce chapitre s'intéressait à déceler les liens éventuels entre les capacités spatiales et la nature des représentations externes mises à contribution par les apprenants dans une activité dyadique de co-conception. Pour éclairer cette question, il est fait recours à des tests non paramétriques de Wilcoxon. Ces derniers comparent les apprenants dont les scores de visualisation spatiale sont les plus élevés à ceux qui ont les scores les plus faibles, relativement aux durées cumulées et aux instants de survenue de mobilisation des représentations externes. Les éléments qui suivent résument la teneur des résultats obtenus.

Les durées cumulées de mise à contribution de supports stéréoscopiques ou numériques sont plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées.	Les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées consacrent plus de temps à la mobilisation de supports numériques comparés à ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles. Les durées cumulées de mobilisation de supports spatiaux sont plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, comparés à ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.
La survenue de la mobilisation de représentations externes stéréoscopiques ou numériques est plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.	Les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles recourent plus tôt aux représentations externes stéréoscopiques ou numériques comparés à ceux ayant les capacités spatiales les plus élevées.

Il n'y a pas de différences statistiquement significatives des durées cumulées de mise à contribution de supports plans ou sur papier liées aux capacités spatiales.	Il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de mobilisation de supports plans. La mise à contribution de représentations externes sur support papier, par les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et par les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles, ne présente pas de différences statistiquement significatives du point de vue des durées cumulées.
---	--

Il n'y a pas de différences statistiquement significatives des instants de survenue du recours aux supports plans ou sur papier liées aux capacités spatiales.	Il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue de la mobilisation de supports plans ou sur papier.
---	--

Chapitre 9. ACTIONS DE CO-CONCEPTION ET CAPACITÉS SPATIALES

9.1. Capacités spatiales et actions initiées : traitements statistiques

Nous consacrons ce chapitre de notre étude à l'exploration des liens qui existeraient entre les actions initiées durant l'activité de co-conception et les capacités visuo-spatiales des apprenants qui en sont les auteurs. Il s'agit ici d'éprouver les hypothèses mettant en perspective les scores de visualisation spatiale des apprenants et les actions qui sont entreprises par ces derniers, durant l'activité de co-conception menée en binôme. Ces hypothèses sont formulées comme suit :

- Hypothèse 2-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'activent plus dans des actions de production et d'évaluation de solutions.
- Hypothèse 2-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, s'investissent plus dans des actions visant une meilleure compréhension de leur part, tant du problème que des solutions.
- Hypothèse 2-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, débutent plus tard la phase de genèse de solutions.

Les hypothèses précédentes mettent chacune en relation deux variables : l'une relevant des actions de co-conception et l'autre ayant trait à la visualisation spatiale. Il convient de rappeler que les actions de co-conception relèvent de la dimension sociotechnique interactionnelle. De manière précise nous nous intéressons ici tant aux durées cumulées consacrées aux différentes actions qu'aux instants où elles surviennent dans le courant de l'activité. La visualisation spatiale se rapporte quant à elle, à la dimension sociocognitive individuelle.

Des tests de la somme des rangs de Wilcoxon nous permettent d'éprouver les hypothèses 2-1, 2-2 et 2-3. Pour les deux premières hypothèses, ces tests comparent les durées cumulées par les apprenants enregistrant les scores de visualisation spatiale les plus faibles (classe f) à celles cumulées par les apprenants ayant les scores les plus élevés (classe E). Pour la troisième hypothèse, il s'agit de comparer les instants de survenue des actions selon qu'elles sont initiées par des apprenants de la classe E ou de la classe f, toujours en mettant en œuvre un test de Wilcoxon. Le choix de ce test non paramétrique se justifie par le fait que la distribution des durées cumulées ne peut être supposée normale, celle des instants de

survenue non plus. Ce fait est révélé par les résultats des tests de Shapiro ($p < 0,01$) précédemment évoqués à la page 88 pour ce qui est des durées cumulées et à la page 87 pour les instants de survenue des actions. Nous choisissons de ne soumettre au traitement, annoncé dans ce qui précède, que les actions dont la fréquence d'occurrence dépasse 1 %. Une telle position résulte de la non significativité des résultats, constatée lorsque le nombre d'occurrences est trop faible.

9.2. Quels liens entre actions initiées et visualisation spatiale ?

9.2.1. Visualisation spatiale et explicitation-précision de solutions

Rappelons que les actions d'explicitation-précision de solutions dominent, du point de vue de la fréquence des occurrences, l'activité des apprenants observés. Comme nous l'avons précédemment annoncé, en référence aux données du tableau A.6-14 présenté à la page 281, elles totalisent 796 occurrences qui correspondent à 19,87 % de l'ensemble des actions recensées. Cependant, en ce qui concerne les durées, ce type d'action arrive en deuxième position et cumule 3863,3 secondes soit 16,38 % de la totalité de la durée de l'ensemble des actions des 6 binômes.

Nous cherchons à comparer, en termes de durées cumulées et d'instant de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions dont ils sont les initiateurs, les apprenants qui enregistrent les scores de visualisation spatiale les plus élevés (classe E) à ceux ayant les scores les plus faibles (classe f). Deux tests de Wilcoxon sont alors mis en œuvre.

Le premier test, unilatéral à gauche, s'appuie sur l'hypothèse nulle de non infériorité des durées cumulées par les apprenants de la classe E, comparés à ceux de la classe f. Le résultat ($W = 69570$ et $p < 0,05$) permet de rejeter l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. En conséquence, les durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions initiées par les apprenants de la classe E ($n_E = 465$) sont inférieures à celles des actions initiées par les apprenants de la classe f ($n_f = 331$). Les détails de ce résultat issu du logiciel R sont repris à la page 298. L'illustration graphique ainsi que le tableau de la distribution des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions y sont également disponibles.

Le second test, qui est bilatéral, postule l'absence de différence entre les classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions. À la

lecture des résultats ($W = 76556$ et $p > 0,05$) dont la substance est consignée à la page 311, nous ne pouvons au seuil de 5% rejeter l'hypothèse qui précède. Ainsi, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions, initiées par les apprenants de la classe E et celles initiées par les apprenants de la classe f.

9.2.2. Visualisation spatiale et expression d'attention et d'accord

Du point de vue de la fréquence, l'expression d'accord, de compréhension ou d'attention vient en deuxième position, représentant 19,62 % de l'ensemble des actions relevées pour 786 occurrences (cf. tableau A.6-14 à la page 281). Toutefois, les durées cumulées ne dépassent pas 591,4 secondes reléguant de ce point de vue, ce type d'action à la 7^{ème} position avec une couverture de 2,5 % de la totalité de la durée de l'ensemble des actions des 6 binômes.

Des tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon sont mis en œuvre dans le but de comparer les durées cumulées et les instants de survenue, des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, relevant des apprenants de la classe E, aux durées cumulées et instants de survenue des mêmes types d'actions relevant des apprenants de la classe f. Les hypothèses nulles pour ces tests postulent l'absence de différence entre les deux classes en ce qui concerne les durées cumulées et les instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension. Les résultats du premier test relatif aux durées cumulées ($W = 72407$ et $p > 0,05$), ainsi que ceux du second test en lien avec les instants de survenue ($W = 72140$ et $p > 0,05$), ne permettent pas un rejet des hypothèses nulles précédentes au seuil de 5 %. Alors, nous avançons une absence de différence statistiquement significative entre les durées cumulées et entre les instants de survenue, des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, initiées par les apprenants de la classe E ($n_E = 381$) et celles initiées par les apprenants de la classe f ($n_f = 405$). Ces résultats obtenus à l'aide du logiciel R, la boîte à moustaches ainsi que le tableau de la distribution des durées cumulées des actions d'expression d'attention, d'accord ou de compréhension sont présentés à la page 299. Ceux relatifs aux instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension sont repris à la page 312.

9.2.3. Visualisation spatiale et représentation de solutions

La représentation de solutions, occupe la troisième place en termes d'importance du point de vue du nombre d'actions, couvrant 10,08 % des actions encodées soit 404 occurrences (cf. tableau A.6-14 à la page 281). En référence à la couverture temporelle, les actions de représentation de solutions viennent cependant en tête avec 11636,4 secondes, représentant 49,3 % de la durée de l'ensemble des actions des 6 binômes.

Dans le but de comparer les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), nous faisons appel à deux tests, unilatéraux à gauche, de la somme des rangs de Wilcoxon. Les hypothèses nulles qui y sont testées présument que les durées cumulées et les instants de survenue d'actions de représentation de solutions initiées par les apprenants de la classe E ne sont pas inférieurs à ceux des actions du même type initiées par les apprenants de la classe f. Les résultats obtenus au test comparant les durées cumulées se présentent comme suit : $W = 14648$, $n_E = 283$, $n_f = 121$ et $p < 0,05$. Ceux en lien avec les instants de survenue sont : $W = 14302$, $n_E = 283$, $n_f = 121$ et $p < 0,05$. Sur la base de ces résultats, les hypothèses nulles peuvent alors être rejetées avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Ainsi, les durées cumulées et les instants de survenue, d'actions de représentation de solutions, initiées dans la classe E sont inférieurs à ceux des actions de même nature, initiées dans la classe f. Ce constat jure d'avec le fait que le nombre d'actions de représentation de solutions dans la classe E ($n_E = 283$) est supérieur à celui relevé dans la classe f ($n_f = 121$). La substance des résultats du test de Wilcoxon fournis par le logiciel R, le tableau de la distribution des durées cumulées des actions de représentation de solutions et sa représentation graphique sont présentés à la page 300. Les mêmes éléments relatifs aux instants de survenue des actions de représentation de solutions sont disponibles à la page 313.

9.2.4. Visualisation spatiale et requête d'explicitation-précision de solutions

Les requêtes d'explicitation-précision de solutions constituent, du point de vue de la fréquence des occurrences, 8,04 % des actions encodées soit 322 occurrences (voir tableau A.6-14 page 281). Elles occupent la quatrième place de ce point de vue. Concernant la couverture temporelle, avec 858,7 secondes, ces actions de requête d'explicitation-précision de solutions représentent 3,64 % de la durée de l'ensemble des actions des 6 binômes. Elles occupent également la quatrième place sous cet angle.

Ici, il s'est agi de la comparaison des apprenants de la classe E (scores les plus élevés) aux apprenants de la classe f (scores les plus faibles), pour ce qui est des durées cumulées ainsi que des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions dont ils sont les auteurs.

Pour les durées cumulées, un test de Wilcoxon unilatéral à droite a été mis en œuvre. Ce test repose sur l'hypothèse nulle postulant que les durées cumulées des actions de requête d'explicitation-précision de solutions, initiées par les apprenants de la classe E, ne seraient pas plus importantes que celles des mêmes types d'actions relevant des apprenants de la classe f. Les résultats obtenus avec le logiciel R, ainsi que le tableau et la représentation graphique de la distribution des durées cumulées de ces actions sont présentés à la page 301. Ces derniers révèlent que le risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle est inférieur à 0,1 % ($n_E = 220$, $n_f = 102$, $W = 16031$ et $p < 0,001$). De ce fait, nous retenons que les durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions sont plus importantes dans la classe E en comparaison de celles notées dans la classe f.

Pour les instants de survenue, nous appliquons un test bilatéral de Wilcoxon. L'hypothèse nulle qui y est testée présume une absence de différence entre les classes E et f, du point de vue des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions dont ils sont les auteurs. Au seuil de 5%, les résultats ($W = 11132$ et $p > 0,05$), dont la substance est présentée à la page 314, ne permettent pas de rejeter l'hypothèse nulle précédente. Par conséquent, il n'est pas établi de différence significative entre les instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions faites par les apprenants de la classe E et celles faites par les apprenants de la classe f.

9.2.5. Visualisation spatiale et suggestion de représentation de solutions

Les actions de suggestion de représentation de solutions, occupent le cinquième rang en termes d'importance. Elles constituent 6,64 % du nombre total d'actions encodées avec 266 occurrences, comme le montre à la page 281 le tableau A.6-14. Par contre, du point de vue temporel ce type d'action occupe la sixième place. Les suggestions de représentation de solutions durent au total 726,9 secondes, soit 3 % de la durée de l'ensemble des actions des 6 binômes.

Nous mettons ici à contribution deux tests, unilatéraux à droite, de la somme des rangs de Wilcoxon. Ils visent la comparaison des apprenants de la classe E (scores les plus élevés) à

ceux de la classe f (scores les plus faibles), tant du point de vue des durées cumulées que des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions dont ils sont les auteurs. Ces tests s'appuient sur les hypothèses nulles selon lesquelles les durées cumulées et les instants de survenue des suggestions de représentation de solutions faites par les apprenants de la classe E ne seraient pas plus importants que ceux des suggestions faites par les apprenants de la classe f. Les résultats du test lié aux durées cumulées révèlent que le rejet de l'hypothèse nulle serait associé à un risque d'erreur inférieur à 0,1 % ($n_E = 176$, $n_f = 90$, $W = 12290$ et $p < 0,001$). Ceux du test relatif aux instants de survenue montrent un risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle, également inférieur à 0,1 % ($n_E = 176$, $n_f = 90$, $W = 10710$ et $p < 0,001$). Par conséquent, nous avançons que les durées des suggestions de représentation de solutions cumulées par les apprenants de la classe E sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe f. De même, nous retenons que les suggestions de représentation de solutions faites par les apprenants de la classe f surviennent plus précocement que celles faites par les apprenants de la classe E.

Les résultats conduisant aux conclusions qui précèdent, en relation avec les durées cumulées, produits avec le logiciel R, de même que le tableau de la distribution des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions et leur représentation graphique sont disponibles à la page 302. Pour le test comparant les classes E et f d'apprenants, du point de vue des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions, les résultats produits sont détaillés à la page 315.

9.2.6. Visualisation spatiale et remise en question de solutions

Par rapport au nombre d'occurrences, les actions de remise en question de solutions occupent le sixième rang, représentant 6,01 % de l'ensemble des actions encodées avec 241 occurrences (cf. tableau A.6-14, page 281). Cependant, en ce qui concerne les durées, ce type d'action se positionne à la cinquième place, avec 841,8 secondes couvrant 3,57 % de la durée totale de l'ensemble des actions des 6 équipes.

Nous poursuivons ici le but de comparer les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) à ceux de la classe f (scores les plus faibles), du point de vue des durées cumulées et des instants de survenue des actions de remise en question de solutions. Cette comparaison est faite par le biais de deux tests de la somme des rangs de Wilcoxon.

Pour la première comparaison en lien avec les durées cumulées des actions, nous mettons en œuvre un test unilatéral à droite, de la somme des rangs de Wilcoxon. Il repose sur l'hypothèse nulle postulant que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne sont pas plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe f. Nous obtenons les résultats qui suivent : $n_E = 173$, $n_f = 68$, $W = 8948$ et $p < 0,001$. Ainsi, le rejet de l'hypothèse nulle, ferait courir un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Nous retenons alors que les durées des actions de remise en question de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe f. Le détail des résultats du test est consigné à la page 303, ainsi que le tableau et la représentation graphique de la distribution des durées cumulées des actions de remise en question de solutions.

La seconde comparaison, relative aux instants de survenue des actions, repose sur un test de Wilcoxon bilatéral, dont l'hypothèse nulle postule l'absence de différence entre les instants de survenue des remises en question de solutions dont les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées sont les auteurs, et les instants de survenue des remises en question de solutions initiées par les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Les résultats ($W = 5499$ et $p > 0,05$) détaillés à la page 316, ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Alors, il ne nous est pas loisible d'établir une quelconque différence entre les classes E et f d'apprenants, par rapport aux instants de survenue des remises en question de solutions.

9.2.7. Visualisation spatiale et propos suspendus ou indéterminés

Les propos suspendus ou indéterminés arrivent en septième position avec 210 occurrences et constituent 5,24 % des actions recensées (cf. tableau A.6-14, page 281). Par contre, relativement au temps, la tenue de pareils propos dure globalement 315,1 secondes, soit 1,34 % de la durée de l'ensemble des actions, se positionnant au 12^{ème} rang.

Deux tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon sont appliqués aux données afin de comparer les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) à ceux de la classe f (scores les plus faibles), du point de vue des durées cumulées et des instants de survenue, de la tenue de propos suspendus ou indéterminés. Les hypothèses nulles pour ces tests bilatéraux postulent l'absence de différence entre les deux classes en ce qui concerne les durées cumulées et les instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés. Les résultats du test comparant les durées cumulées ($W = 4851$ et $p > 0,05$), détaillés à la page 304, et ceux

du test comparant les instants de survenue ($W = 5925$ et $p > 0,05$), détaillés à la page 317, ne permettent pas un rejet des hypothèses nulles au seuil de 5 %. Alors, nous avançons une absence de différence statistiquement significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, dans la tenue de propos suspendus ou indéterminés ($n_E = 100$ et $n_f = 110$), tant du point de vue des leurs durées cumulées que des instants où elles surviennent.

9.2.8. Visualisation spatiale et attitude silencieuse de réflexion

Du point de vue du nombre d'actions, les attitudes silencieuses de réflexion arrivent au huitième rang et couvrent 4,07 % de l'activité avec 163 occurrences (voir tableau A.6-14, page 281). Seulement, en référence à la durée, elles occupent la troisième position pour 1914,9 secondes couvrant 8,1 % de la durée totale des actions.

En ce qui concerne l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion, nous visons la comparaison des apprenants qui enregistrent les scores de visualisation spatiale les plus élevés (classe E) à ceux ayant les scores les plus faibles (classe f), tant en termes de durées cumulées que d'instants de survenue de ces actions. Nous recourons, à cet effet, à deux tests de la somme des rangs de Wilcoxon.

Le premier, focalisant sur les durées cumulées, est un test unilatéral à gauche qui s'appuie sur l'hypothèse nulle de non infériorité des durées cumulées par les apprenants de la classe E, comparés à ceux de la classe f. Le résultat ($W = 2094$ et $p < 0,001$) permet de rejeter l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. En conséquence, les durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion adoptées par les apprenants de la classe E ($n_E = 63$) sont inférieures à celles de ce type d'attitude, adopté par les apprenants de la classe f ($n_f = 100$). Les détails de ce résultat issu du logiciel R sont repris à la page 305. L'illustration graphique ainsi que le tableau de la distribution des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion y sont également disponibles.

Le second test, unilatéral à droite, prend en compte les instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion. Il repose sur l'hypothèse nulle selon laquelle les instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion des apprenants de la classe E seraient supérieurs à ceux des apprenants de la classe f. Les résultats ($W = 3838$ et $p < 0,01$) consignés à la page 318, permettent de rejeter l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Ainsi, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles adoptent plus

précocement une attitude silencieuse de réflexion comparés à leurs camarades qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

9.2.9. Visualisation spatiale et validation-consolidation de solutions

L'activité des 6 binômes est couverte, du point de vue des occurrences des actions, à 3,59 % par des actions de validation-consolidation de solutions qui arrivent au neuvième rang, ayant été encodées 144 fois (cf. tableau A.6-14, page 281). Toutefois, si l'on se réfère à la durée, elles arrivent en 11^{ème} position avec 365,5 secondes, couvrant 1,55 % de la durée totale des actions des 6 dyades.

Comme précédemment, les durées cumulées ainsi que les instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions relevant des apprenants de la classe E (scores les plus élevés) sont comparés à ceux des actions initiées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Cette comparaison donne lieu à deux tests de la somme des rangs de Wilcoxon.

Le premier test, unilatéral à droite, repose sur l'hypothèse nulle selon laquelle les durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions initiées par les apprenants de la classe E ne seraient pas plus importantes que celles des mêmes types d'actions relevant des apprenants de la classe f. Les résultats obtenus avec le logiciel R, ainsi que le tableau et la représentation graphique de la distribution des durées cumulées de ces actions sont présentés à la page 306. Ces derniers révèlent que le risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle est inférieur à 1 % ($n_E = 96$, $n_f = 48$, $W = 2946,5$ et $p < 0,01$). De ce fait, nous retenons que les durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions sont plus importantes dans la classe E, en comparaison de celles notées dans la classe f.

Le second test qui est bilatéral, s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, du point de vue des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions. Le traitement réalisé avec le logiciel R donne les résultats ($W = 1910$ et $p > 0,05$) consignés à la page 319. Sur la base de ces derniers, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle au seuil de 5 %. Par conséquent, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions.

9.2.10. Visualisation spatiale et suggestion d'organisation

Le nombre d'actions de suggestion d'organisation occupe le 10^{ème} rang et représente, avec 126 occurrences, 3,15 % de la totalité des actions recensées durant l'activité des 6 binômes (cf. tableau A.6-14, page 281). Du point de vue de la durée, ce type d'action arrive également en 10^{ème} position avec 417,3 secondes pour une couverture de 1,77 % de la durée totale des actions des 6 équipes.

Relativement aux actions de suggestion d'organisation, la comparaison des apprenants de la classe E à ceux de la classe f, a conduit à la mise en œuvre de deux tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon. Ces tests s'appuient ici sur les hypothèses nulles qui postulent l'absence de différence entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, ainsi qu'entre les instants de survenue des suggestions d'organisation qu'ils font. Les résultats du test de comparaison des durées cumulées se présentent comme suit : $n_E = 83$, $n_f = 43$, $W = 1999,5$ et $p > 0,05$. Ceux du test de comparaison des instants de survenue donnent $W = 1967$ et $p > 0,05$. Sur cette base, nous ne pouvons au seuil de 5% rejeter les hypothèses nulles. Par conséquent, il n'y aurait pas de différence statistiquement significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, tant en ce qui concerne les durées cumulées, que du point de vue des instants de survenue, des suggestions d'organisation. À la page 307 sont repris les résultats issus du logiciel R, ainsi que le tableau et la représentation graphique de la distribution des durées cumulées de suggestions d'organisation dans chacune des deux classes E et f. Les éléments de même nature liés aux instants de survenue des suggestions d'organisation sont détaillés à la page 320.

9.2.11. Visualisation spatiale et explicitation-précision de problème

Les actions d'explicitation-précision de problème occupent le 11^{ème} rang et représentent en termes de fréquence 2,82 % de l'activité avec 113 occurrences (cf. tableau A.6-14, page 281). Cependant, par rapport à la durée, ces actions arrivent au neuvième rang avec 475,5 secondes, représentant 2 % de la durée de l'ensemble des actions des 6 dyades.

Les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles) sont comparées par le biais de deux tests de la somme des rangs de Wilcoxon.

Le premier, unilatéral à gauche, teste l'hypothèse nulle qui présume que les durées d'actions d'explicitation-précision du problème, cumulées par les apprenants de la classe E, ne sont pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats obtenus se présentent ainsi qu'il suit : $W = 1120,5$, $n_E = 53$, $n_f = 60$ et $p < 0,01$. À la lumière de ces résultats, l'hypothèse nulle peut alors être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 1 %. Alors, les durées cumulées, d'actions d'explicitation-précision du problème, dans la classe E sont inférieures à celles cumulées dans la classe f. Le détail des résultats du test de Wilcoxon livrés par le logiciel R est présenté à la page 308. À cette même page, sont présentés le tableau de la distribution des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème et sa représentation graphique.

Le second test, qui est bilatéral, repose sur l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y aurait pas de différence entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème. Les résultats ($W = 1388$ et $p > 0,05$), dont la substance est présentée à la page 321, ne permettent pas au seuil de 5% de rejeter l'hypothèse nulle. Ainsi, nous ne pouvons mettre en évidence de différence significative, entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, du point de vue des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème.

9.2.12. Visualisation spatiale et requête d'approbation de solutions

Avec 71 occurrences, les actions requérant une approbation de solutions arrivent en 12^{ème} position et représentent 1,71 % de l'ensemble des actions encodées. Par contre, en référence à la temporalité, elles se positionnent au 15^{ème} rang avec une durée de 124,9 secondes, soit 0,59 % de la durée de l'ensemble des actions des 6 équipes.

Identiquement aux traitements précédents, nous mettons en œuvre deux tests de Wilcoxon afin de comparer les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées à ceux qui ont les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui a trait aussi bien aux durées cumulées qu'aux instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions.

Le test de Wilcoxon visant à comparer les durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions, initiées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés), à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles), est unilatéral à droite. L'hypothèse nulle sur laquelle repose ce test, postule que les durées cumulées des actions de requête d'approbation de solutions initiées par les apprenants de la classe E, ne seraient pas plus

importantes que celles des mêmes types d'actions relevant des apprenants de la classe f. Les résultats obtenus avec le logiciel R, ainsi que le tableau et la représentation graphique de la distribution des durées cumulées de ces actions sont présentés à la page 309. Ces derniers révèlent que le risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle est inférieur à 0,1 % ($n_E = 60$, $n_f = 11$, $W = 608$ et $p < 0,001$). De ce fait, nous retenons que les durées cumulées des actions de requête d'approbation de solutions sont plus importantes dans la classe E en comparaison de celles notées dans la classe f.

Pour ce qui est de la comparaison des classes E et f, selon les instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions, un test bilatéral de Wilcoxon est mis en œuvre. Les résultats ($W = 360$ et $p > 0,05$) présentés à la page 322 ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y aurait pas de différence entre les instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions, relevant des apprenants de la classe E et celles des actions du même type initiées par les apprenants de la classe f. Ainsi, nous ne pouvons établir de différence significative entre les classes E et f, en rapport avec les instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions dont ils sont les auteurs.

9.2.13. Visualisation spatiale et quête d'information sur le problème

Les actions de quête d'information sur le problème arrivent en 13^{ème} position, avec 66 occurrences, couvrant 1,65 % de la totalité des actions prises en compte durant l'activité des 6 binômes (cf. tableau A.6-14, page 281). Du point de vue de la durée, elles occupent cependant le huitième rang avec 580,1 secondes, soit 2,46 % de la durée de l'ensemble des actions.

À propos des durées cumulées et des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème, le recours à deux tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon permet de comparer les apprenants de la classe E à ceux de la classe f. Ces tests s'appuient sur les hypothèses nulles pour lesquelles il y aurait une absence de différence, entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f, de même qu'entre les instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème dont les apprenants de chacune de ces deux classes sont les auteurs. Les résultats obtenus pour le test de comparaison relatif aux durées cumulées ($n_E = 29$, $n_f = 37$, $W = 477$ et $p > 0,05$), détaillés à la page 310, et ceux en rapport avec la comparaison des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème ($W = 459,5$ et $p > 0,05$), présentés à la page 323, ne permettent pas, au seuil de 5%, de rejeter les hypothèses nulles.

Alors, nous retenons qu'il n'y aurait pas de différence statistiquement significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, tant du point de vue des durées cumulées que de celui des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème.

9.3. Synthèse du chapitre 9

Il était, dans ce chapitre, poursuivi le but de déterminer les liens probables entre la nature des actions initiées par les apprenants, dans une activité de co-conception en dyade, et les capacités spatiales des dits apprenants. Afin d'explorer cette question, nous avons mis en œuvre des tests non paramétriques de Wilcoxon visant la comparaison des apprenants dont les scores de visualisation spatiale sont les plus élevés à ceux qui ont les scores de visualisation spatiale les plus faibles. Cette comparaison est faite aussi bien du point de vue des durées cumulées investies dans chacune des actions identifiées, que des instants où ces dernières surviennent dans le courant de l'activité. Les éléments qui suivent livrent la substance des résultats issus de ce traitement.

Des durées cumulées plus importantes chez les apprenants enregistrant les scores les plus élevés en ce qui concerne :	Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les suggestions de représentation de solutions Les remises en question de solutions La validation-consolidation de solutions Les requêtes d'approbation de solutions Les requêtes de représentation de solutions
Une survenue plus précoce chez les apprenants enregistrant les scores les plus élevés en ce qui concerne :	La représentation de solutions

Des durées cumulées plus importantes chez les apprenants enregistrant les scores les plus faibles, relativement à :	L'explicitation-précision de solutions La représentation de solutions L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion L'explicitation-précision du problème
---	--

Une survenue plus précoce chez les apprenants enregistrant les scores les plus faibles, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion
--	---

Une absence de différences significatives du point de vue des instants de survenue, pour ce qui concerne :	L'explicitation-précision de solutions L'expression d'accord, de compréhension ou d'attention Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions La tenue de propos suspendus ou indéterminés La validation-consolidation de solutions Les suggestions d'organisation L'explicitation-précision du problème Les requêtes d'approbation de solutions La quête d'information sur le problème
--	--

Une absence de différences significatives du point de vue des durées cumulées, pour ce qui concerne :	L'expression d'accord, de compréhension ou d'attention La tenue de propos suspendus ou indéterminés Les suggestions d'organisation La quête d'information sur le problème
--	---

Chapitre 10. REPRÉSENTATIONS EXTERNES EN SOUTIEN AUX ACTIONS INITIÉES : EFFETS DES CAPACITÉS SPATIALES

10.1. Capacités spatiales et représentations externes selon les actions : tests statistiques

Ce chapitre adresse l'identification, selon les actions initiées, de liens hypothétiques entre la nature des représentations externes mobilisées et les capacités visuo-spatiale des acteurs. Il s'articule autour des résultats issus du traitement statistique appliqué aux données et tendant à tester les hypothèses déclinées dans ce qui suit :

- Hypothèse 3-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier.
- Hypothèse 3-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques.
- Hypothèse 3-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus recours aux représentations planes, ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
- Hypothèse 3-4 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
- Hypothèse 3-5 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, initient plus précocement des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier.
- Hypothèse 3-6 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus tôt des actions de clarification du problème

s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques.

- Hypothèse 3-7 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus tôt recours aux représentations planes ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.
- Hypothèse 3-8 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus précocement recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.

Les hypothèses 3-1 à 3-4 mettent en relation les capacités spatiales des apprenants et les durées cumulées de mobilisation des représentations externes sur différents supports, durant les actions visant la clarification du problème, la représentation, l'explicitation ou l'évaluation de solutions. Les hypothèses 3-5 à 3-8 concernent, quant à elles, les capacités spatiales des apprenants et les instants de survenue du recours aux différentes représentations externes en soutien aux actions visant la clarification du problème, la représentation, l'explicitation ou l'évaluation de solutions. Rappelons que deux classes d'apprenants ont été définies en fonction du niveau de score de visualisation spatiale. La classe E, regroupant les 6 apprenants enregistrant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et la classe f, où se retrouvent les apprenants dont les scores sont les plus faibles. Le recours au test de la somme des rangs de Wilcoxon nous permet ici de comparer les deux classes précédemment évoquées. Cette comparaison est faite par rapport aux durées cumulées et aux instants de survenue de la mobilisation des différents types de supports de représentations externes, en soutien aux actions de clarification du problème, de représentation, explicitation ou évaluation de solutions. Le choix du test non paramétrique de Wilcoxon se justifie par la distribution des durées cumulées et celle des instants de survenue, qui s'écartent de la distribution normale, selon les résultats du test de Shapiro ($p < 0,01$). Nous avons également choisi, dans les traitements auxquels nous soumettons les données, de ne prendre en compte que les actions dont la fréquence d'occurrence dépasse 1 %. Ce choix est dicté par la non significativité statistique des résultats, à laquelle une telle situation aboutit.

10.2. Visualisation spatiale et représentations externes appuyant les actions

De manière précise, cette question est adressée sous l'angle des durées cumulées et des instants de survenue des mises à contribution des représentations externes, dans le courant de chaque type d'action. Les types d'actions en question sont ceux consignés à la page 281, dans le tableau A.6-14. Du point de vue des représentations externes, nous mettons l'accent sur la nature de leurs supports et sur leur stéréoscopie. Les supports dont il s'agit dans notre étude sont soit numériques soit sur papier, la stéréoscopie renvoyant au caractère plan (en deux dimensions) ou spatial (en 3 dimensions ou volumique ou stéréoscopique) de la représentation externe.

10.2.1. Visualisation spatiale et représentations externes planes soutenant les actions

Le recours aux supports plans dans l'activité des 6 binômes qui ont participé à l'étude concerne 1425 actions (cf. tableau A.6-20, page 283). Les types d'actions dont il s'agit, qui enregistrent une fréquence d'occurrence supérieure à 1 %, sont : l'explicitation-précision de solutions (32,49 %), l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension (12,49 %), la représentation de solutions (11,93 %), la requête d'explicitation-précision de solutions (7,86 %), la remise en question de solutions (4,98 %), l'explicitation-précision du problème (4,91 %), la suggestion de représentation de solutions (4,14 %), la quête d'information sur le problème (3,37 %), la tenue de propos suspendus ou indéterminés (3,3 %), l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion (3,23 %), la validation-consolidation de solutions (3,09 %) et la suggestion d'organisation (2,25 %). Nous présentons dans ce qui suit les traitements statistiques mis en œuvre en lien avec chacun des types d'actions qui précèdent. Ces traitements ont pour but de mettre en lumière d'éventuelles différences des apprenants, dans la mobilisation des représentations externes planes en soutien à chacun des types d'action. Différences qui seraient relatives au niveau de capacités spatiales.

10.2.1.1. Recours aux représentations externes planes aux fins d'explicitation-précision de solutions

En ce qui concerne les durées cumulées et les instants de survenue de la mise à contribution de représentations externes planes en soutien à des actions d'explicitation-précision de solutions, il est fait recours à deux tests bilatéraux de la somme des rangs de Wilcoxon. La substance de ces derniers est consignée aux pages 324 et 374. Les hypothèses nulles testées

postulent une absence de différence entre les apprenants de la classe E (scores de visualisation spatiale les plus élevés) et ceux de la classe f (scores de visualisation spatiale les plus faibles), en ce qui concerne les durées cumulées et les instants de survenue de la mobilisation de représentations externes planes, en soutien à l'explicitation-précision de solutions. S'agissant des durées cumulées, les résultats obtenus avec le logiciel R se présentent comme suit : $n_E = 268$, $n_f = 195$, $W = 23680$ et $p > 0,05$. Pour ce qui est des instants de survenue, il résulte que $W = 24838$ et $p > 0,05$. Au seuil de 5 %, nous ne pouvons alors rejeter les hypothèses nulles qui précèdent. Il n'y aurait donc pas de différence statistiquement significative, entre les durées cumulées, ainsi qu'entre les instants de survenue, de la mise à contribution de représentations externes planes aux fins d'explicitation-précision de solutions, de la part des apprenants de la classe E et de la part des apprenants de la classe f.

10.2.1.2. Recours aux représentations externes planes durant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension

Concernant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension soutenue par des représentations externes planes, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes comparées à celles cumulées par les apprenants de la classe E. De surcroît, ce type d'action survient plus précocement chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Ces affirmations reposent sur les résultats des deux tests, unilatéraux à gauche, de Wilcoxon comparant les apprenants des classes E et f, le premier du point de vue des durées cumulées et le second par rapport aux instants de survenue des actions. Les résultats du premier test se présentent comme suit : $n_E = 51$, $n_f = 127$, $W = 1745$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 325). Ceux du second, détaillés à la page 375, sont : $W = 2522$ et $p < 0,05$. Avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 % pour le premier test, et à 5 % pour le second test, nous pouvons alors rejeter les hypothèses nulles. La première hypothèse postule la non infériorité des durées cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par les apprenants de la classe f. La seconde, la non infériorité des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention et de compréhension, soutenues par des supports plans, initiées par les apprenants de la classe E devant les instants de survenue des actions du même type émanant des apprenants de la classe f. Rappelons que la classe E est celle des six apprenants avec les scores de visualisation les plus élevés et dans la classe f se retrouvent les six apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus faibles. Les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans

la mise à profit de représentations externes planes, dans le but d'exprimer de l'accord, de l'attention ou de la compréhension, que ne le font ceux qui ont les capacités spatiales les plus élevées. D'autre part, les actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension soutenues par des représentations externes planes, dont les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées sont les auteurs, surviennent plus tôt dans le courant de l'activité, comparées à celles qui ont pour initiateurs les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles.

10.2.1.3. Recours aux supports plans pour la représentation de solutions

En ce qui touche à la représentation de solutions planes, les durées cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles) sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés). Il en est de même pour les instants de survenue de ces actions. Ces thèses sont tirées des résultats des tests unilatéraux à gauche de Wilcoxon comparant les classes E et f du point de vue des durées et des instants de survenue de ces actions. Les hypothèses nulles qui sont testées postulent, d'une part, qu'en ce qui concerne la représentation de solutions planes, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f ; et d'autre part, que les instants de survenue des actions de ce type initiées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieurs à ceux des actions dont les apprenants de la classe f sont les auteurs. Nous obtenons les résultats suivants : $n_E = 108$, $n_f = 62$, $W = 1721$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 326) ; $W = 2026$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 376). Tenant compte de ces résultats, nous rejetons les hypothèses nulles qui précèdent, avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %, aboutissant ainsi aux affirmations présentées en début de paragraphe.

10.2.1.4. Recours aux représentations externes planes aux fins de requérir l'explicitation-précision de solutions

Relativement à la mobilisation de représentations externes planes durant les requêtes d'explicitation-précision de solutions, les durées cumulées par les apprenants ayant les scores de visualisation les plus élevés (Classe E) sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants avec les scores les plus faibles (Classe f). Toutefois, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants des classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue des recours aux représentations externes planes, aux fins d'explicitation-précision de solutions.

Les éléments qui précèdent, en lien avec les durées cumulées, sont révélés par un test, unilatéral à droite, de Wilcoxon. Les résultats obtenus, $n_E = 70$, $n_f = 42$, $W = 2001,5$ et $p < 0,001$ (cf. page 327 pour les détails), conduisent au rejet de l'hypothèse nulle, avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Cette hypothèse supposant la non supériorité des durées, de mobilisation de représentations externes planes dans les requêtes d'explicitation-précision de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E, en comparaison de celles cumulées par les apprenants de la classe f.

L'affirmation faite en rapport avec les instants de survenue des actions, découle d'un test bilatéral de Wilcoxon. Les résultats ($W = 1527$ et $p > 0,05$) repris à la page 377, ne permettent pas de rejeter l'hypothèse nulle selon laquelle il n'y aurait pas de différence entre les apprenants des classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue des mises à contribution des représentations externes planes, en soutien aux requêtes d'explicitation-précision de solutions.

En conclusion, les durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions, soutenues par des représentations externes planes, sont plus importantes chez les apprenants de la classe E que chez ceux de la classe f. Cependant, il n'est pas révélé de différence en lien avec les instants de survenue de ces actions.

10.2.1.5. Recours aux représentations externes planes durant la remise en question de solutions

Les durées cumulées des actions de remise en question de solutions soutenues par des représentations externes planes sont plus importantes chez les apprenants de la classe E (capacités spatiales les plus élevées) comparés à ceux de la classe f (capacités spatiales les plus faibles). Ce constat est fait sur la base des résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon comparant les deux classes E et f. Ces derniers se résument dans ce qui suit : $n_E = 51$, $n_f = 20$, $W = 707$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 328). L'hypothèse nulle présume que, pour ce qui a trait au recours aux représentations externes planes durant la remise en question de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Au vu des résultats, cette hypothèse peut être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 1 %. Ainsi, les apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'investissent plus longtemps dans la mise à contribution de représentations externes planes, aux fins de remise en question de solutions, que ne le font les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Par contre, il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants des classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions de remise en question de solutions mobilisant des représentations externes planes. Les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 440$ et $p > 0,05$), consignés à la page 378, ne permettant pas le rejet de l'hypothèse nulle.

10.2.1.6. Recours aux représentations externes planes aux fins d'explicitation-précision du problème

Du point de vue de l'explicitation précision du problème soutenue par des représentations externes planes, les durées cumulées par les apprenants ayant les scores de visualisation les plus faibles (classe f) sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants avec les scores les plus élevés (classe E). Cette position trouve son fondement dans les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, dont la teneur est : $n_E = 27$, $n_f = 43$, $W = 312$ et $p < 0,001$ (cf. détails à la page 329). L'hypothèse nulle à la base de ce test avance qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes planes, en soutien à l'explicitation-précision du problème, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées qui ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats précédents légitiment le rejet de cette hypothèse avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mobilisation de représentations externes planes afin d'explicitier-préciser le problème, que ne le font ceux dont les capacités spatiales sont les plus élevées.

Cependant, du point de vue des instants de survenue des mises à contribution de représentations externes planes en soutien aux actions d'explicitation-précision du problème, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants des classes E et f. Cela en raison des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 485$ et $p > 0,05$), repris à la page 379, qui empêchent le rejet de l'hypothèse nulle.

10.2.1.7. Recours aux représentations externes planes afin de suggérer la représentation de solutions

En matière de suggestions de représentation de solutions sur la base de représentations externes planes, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles).

Cela se justifie à la lumière des résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon qui compare les deux classes E et f. Ces résultats se résument ainsi : $n_E = 52$, $n_f = 7$, $W = 353$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 330). Le risque d'erreur commise en rejetant l'hypothèse nulle est inférieur à 0,1 %. Rappelons que cette hypothèse nulle suppose la non supériorité des durées de mobilisation des représentations externes planes, dans le but de suggérer la représentation de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par ceux de la classe f. Il découle du développement qui précède que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées s'investissent plus, du point de vue des durées, dans la mobilisation de représentations externes planes pour suggérer la représentation de solutions, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Également, la survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des représentations externes planes est plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Les résultats du test de Wilcoxon unilatéral à droite ($W = 260$ et $p < 0,05$), repris à la page 380, faisant courir un risque inhérent au rejet de l'hypothèse nulle, inférieur à 5 %.

10.2.1.8. Recours aux représentations externes planes afin de quérir de l'information sur le problème

Par rapport à la quête d'information sur le problème mobilisant des représentations externes planes, nous n'avons pas décelé de différences significatives entre les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) et ceux de la classe f (scores les plus faibles), relativement aux durées cumulées des actions. Cette position est justifiée par les résultats du test bilatéral de Wilcoxon comparant les deux classes E et f, qui se résument ainsi : $n_E = 25$, $n_f = 23$, $W = 336$ et $p > 0,05$ (voir détails à la page 331). Au seuil de 5 %, l'hypothèse nulle ne peut être rejetée. Cette hypothèse nulle admet, en ce qui concerne le recours aux représentations externes planes dans le but de quérir de l'information sur le problème, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas différentes de celles cumulées par les apprenants de la classe f. Nous retenons donc que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles et ceux avec les capacités spatiales les plus élevées ne présentent pas de différences significatives, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes planes soutenant la quête d'information sur le problème.

De même, du point de vue des instants de survenue de la mise à contribution de représentations externes planes, aux fins de quête d'information sur le problème, il n'est pas

mis en évidence de différence significative entre les classes E et f. Ce résultat découle du test de Wilcoxon ($W = 263$, et $p > 0,05$), dont la substance est présentée à la page 381 et sur la base duquel nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.1.9. Recours aux représentations externes planes durant la tenue de propos suspendus ou indéterminés

Les propos suspendus ou indéterminés, soutenus par des représentations externes planes, cumulent des durées moins importantes chez les apprenants de la classe E en comparaison de ceux de la classe f. Affirmation qui est basée sur les résultats d'un test, unilatéral à gauche de Wilcoxon, destiné à comparer les deux classes E et f. En substance, ces résultats se présentent ainsi : $n_E = 14$, $n_f = 33$, $W = 99,5$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 332). Le risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle est inférieur à 1 %. Rappelons que cette hypothèse nulle suppose, au sujet du recours à des représentations externes planes en concomitance avec la tenue de propos suspendus ou indéterminés, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Ainsi, Les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mise à profit de représentations externes planes, concomitamment à la tenue de propos suspendus ou indéterminés, que ne le font ceux qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Par contre, il n'est pas révélé de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne les instants de survenue du recours aux représentations externes planes, durant la tenue de propos suspendus ou indéterminés. À la lumière des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 291$ et $p > 0,05$), présentés à la page 382, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.1.10. Recours aux représentations externes planes durant l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion

Au sujet de l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont moins importantes comparées à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette affirmation a pour soubassement les résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, du point de vue des attitudes silencieuses de réflexion. La teneur de ces résultats est la suivante : $n_E = 8$, $n_f = 38$,

$W = 63$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 333). Nous courons un risque d'erreur inférieur à 1 %, en rejetant l'hypothèse nulle selon laquelle : pour ce qui a trait à la mobilisation de représentations externes planes durant les attitudes silencieuses de réflexion, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Il convient alors d'avancer que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans les attitudes silencieuses de réflexion soutenues par des représentations externes planes, comparés aux apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Contrairement à ce qui précède, il ne nous a pas été possible de dévoiler une quelconque différence entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, en relation avec les instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion, s'appuyant sur des représentations externes planes. Sur la base des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 150$ et $p > 0,05$) présentés à la page 383, nous ne pouvions rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.1.11. Recours aux représentations externes planes afin de valider-consolider des solutions

Il n'est pas noté de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f, en ce qui concerne la mobilisation de représentations externes planes aux fins de validation-consolidation de solutions. Ce constat a été fait sur la base d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants, relativement au recours aux représentations externes planes en soutien à la validation-consolidation de solutions. Les résultats livrés par ce test sont les suivants : $n_E = 30$, $n_f = 14$, $W = 233$ et $p > 0,05$ (cf. page 334 pour les détails). De tels résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Nous avançons par conséquent qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution des représentations externes planes, pour soutenir la validation-consolidation de solutions, il n'y a pas de différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

De même, nous n'avons pas pu révéler de différence significative entre les apprenants des classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des représentations externes planes. Eu égard aux

résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 194$ et $p > 0,05$) dont la substance est présentée à la page 384, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.1.12. Recours aux représentations externes planes afin de suggérer une forme d'organisation

À propos de la mise à contribution de représentations externes planes dans la suggestion d'une forme d'organisation, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe E. Cette affirmation se fonde sur les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles). La substance de ces résultats est la suivante : $n_E = 17$, $n_f = 15$, $W = 69$ et $p < 0,05$ (cf. détails à la page 335). L'hypothèse nulle à la base de ce test suppose qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes planes, en soutien à la suggestion d'organisation, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées qui ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats précédents légitiment le rejet de cette hypothèse avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mobilisation de représentations externes planes afin de suggérer une forme d'organisation, que ne le font ceux dont les capacités spatiales sont les plus élevées.

Toutefois, il ne nous a pas été loisible de mettre en évidence une différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui a trait aux instants de survenue de la suggestion d'une forme d'organisation à partir d'une représentation externe plane. Les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 130$ et $P > 0,05$) présenté à la page 385, ne nous permettent pas au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2. Visualisation et représentations externes stéréoscopiques soutenant les actions

Durant l'activité observée, des représentations externes spatiales, ou stéréoscopiques en d'autres termes, sont mobilisées dans le courant de 1087 actions (cf. tableau A.6-20, page 283). Les actions ayant une fréquence d'occurrence supérieure à 1 %, soutenues par cette mise à contribution de représentations externes spatiales sont : la représentation de solutions (21,53 %), l'explicitation-précision de solutions (16,74 %), la suggestion de

représentation de solutions (15,92 %), l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension (11,22 %), la requête d'explicitation-précision de solutions (9,11 %), la remise en question de solutions (8,19 %), la validation-consolidation de solutions (4,23 %), la requête d'approbation de solutions (2,21 %), l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion (1,93 %), l'explicitation-précision du problème (1,38 %), la suggestion d'organisation (1,38 %), l'apport d'outils ou supports de travail (1,2 %) et la requête de représentation de solutions (1,01 %). Nous avons choisi, dans les traitements auxquels nous soumettons les données, de ne prendre en compte que les actions dont la fréquence d'occurrence dépasse 1 %. Ce choix est dicté par la non significativité statistique des résultats, à laquelle une telle situation aboutit.

10.2.2.1. Recours aux représentations externes stéréoscopiques pour la représentation de solutions

En ce qui a trait à la représentation de solutions sous forme volumique, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe E. Cette thèse est légitimée par les résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon comparant les classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), de ce point de vue. L'hypothèse nulle qui est testée postule qu'au sujet de la représentation de solutions en trois dimensions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. En substance, les résultats obtenus sont : $n_E = 175$, $n_f = 59$, $W = 4344$ et $p < 0,05$ (voir détails à la page 336). Tenant compte de ces résultats, nous rejetons l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Nous aboutissons ainsi à l'assertion selon laquelle les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées cumulent des durées moins importantes, dans la représentation de solutions tridimensionnelles, que les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus faibles.

Par contre, nous n'avons pu mettre en évidence une quelconque différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux. Sur la base des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 4769$ et $p > 0,05$) présentés à la page 386, nous excluons le rejet de l'hypothèse nulle.

10.2.2.2. Recours aux représentations externes stéréoscopiques aux fins d'explicitation-précision de solutions

Du point de vue de l'explicitation-précision de solutions soutenue par des représentations externes spatiales, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe E. Ce constat découle du test, unilatéral à gauche, de la somme des rangs de Wilcoxon auquel il est fait recours pour comparer ces deux classes. La teneur de ce test est consignée à la page 337. L'hypothèse nulle testée suppose la non infériorité des durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores de visualisation spatiale les plus élevés), devant celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores de visualisation spatiale les plus faibles), en ce qui concerne la mobilisation de représentations externes spatiales pour soutenir l'explicitation-précision de solutions. Les résultats obtenus avec le logiciel R se présentent comme suit : $n_E = 96$, $n_f = 86$, $W = 2421,5$ et $p < 0,001$. Le risque d'erreur commise en rejetant l'hypothèse nulle ne dépasse guère 0,1 %. Les durées cumulées par les apprenants de la classe E, caractérisés par les capacités spatiales les plus élevées, sont donc inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f, qui se distinguent par les capacités spatiales les plus faibles ; cela en ce qui concerne le recours aux représentations externes spatiales en soutien à l'explicitation-précision de solutions.

Toutefois, il n'a pas été révélé de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, en ce qui concerne les instants de survenue des actions mettant à contribution des représentations externes stéréoscopiques durant l'explicitation-précision de solutions. À la lumière des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 4302,5$ et $p > 0,05$) repris à la page 387, nous ne pouvions admettre le rejet de l'hypothèse nulle.

10.2.2.3. Recours aux représentations externes stéréoscopiques dans le but de suggérer la représentation de solutions

Sous le rapport de la mise à contribution de représentations externes spatiales pour suggérer la représentation de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cela se justifie à la lumière des résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon qui compare les deux classes E et f. Ces résultats se résument ainsi : $n_E = 100$, $n_f = 73$, $W = 4924$ et $p < 0,001$ (voir détails à la

page 338). Le risque d'erreur commise en rejetant l'hypothèse nulle est inférieur à 0,1 %. Rappelons que cette hypothèse nulle suppose la non supériorité des durées de mobilisation des représentations externes stéréoscopiques, dans le but de suggérer la représentation de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par ceux de la classe f. Il découle du développement qui précède que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées s'investissent plus, du point de vue des durées, dans la mobilisation de représentations externes stéréoscopiques pour suggérer la représentation de solutions, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

En outre, nous notons de la part des apprenants avec les capacités spatiales le plus faibles, une survenue plus précoce de la mise à contribution de représentations externes stéréoscopiques aux fins de suggestion de représentation de solutions. Eu égard aux résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon ($W = 4681$ et $p < 0,001$) présentés à la page 388, le risque d'erreur inhérent au rejet de l'hypothèse nulle de non supériorité est inférieur à 0,1 %. Nous rejetons alors l'hypothèse nulle.

10.2.2.4. Recours aux représentations externes stéréoscopiques durant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension

À propos de la mobilisation de représentations externes spatiales durant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, il n'est pas noté de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E, comparés à ceux de la classe f. Cette affirmation repose sur les résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon comparant les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles). Ces derniers se présentent comme suit : $n_E = 52$, $n_f = 70$, $W = 1626,5$ et $p > 0,05$ (voir détails à la page 339). Au seuil de 5 %, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle. Il convient de rappeler que cette dernière suppose, pour ce qui a trait au recours à des représentations externes stéréoscopiques en soutien à l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas différentes de celles cumulées par les apprenants de la classe f. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles n'investiraient pas plus de temps, dans la mise à profit de représentations externes stéréoscopiques, dans le but d'exprimer de l'accord ou de l'attention, que ne le font ceux qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Contrairement à ce qui précède, en comparaison avec les actions de même nature dont les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées sont les auteurs, les actions

exprimant de l'accord, de l'attention ou de la compréhension et mobilisant des représentations externes stéréoscopiques, initiées par les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus faibles surviennent plus tôt dans le courant de l'activité. En effet, les résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon ($W = 2246$ et $p > 0,05$) repris à la page 389, autorisent un rejet de l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 5 %.

10.2.2.5. Recours aux représentations externes stéréoscopiques aux fins de requérir l'explicitation-précision de solutions

En ce qui concerne le recours aux représentations externes spatiales durant les requêtes d'explicitation-précision de solutions, les apprenants de la classe E cumulent des durées plus importantes, comparés aux apprenants de la classe f. Ce constat résulte d'un test, unilatéral à droite, de Wilcoxon. Les résultats obtenus, $n_E = 68$, $n_f = 31$, $W = 1661$ et $p < 0,001$ (cf. page 340 pour les détails), conduisent au rejet de l'hypothèse nulle, avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Cette hypothèse supposant la non supériorité des durées, de recours aux représentations externes spatiales en soutien aux requêtes d'explicitation-précision de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) en comparaison de celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). D'où cette affirmation que nous faisons : les durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions soutenues par des représentations externes spatiales sont plus importantes chez les apprenants de la classe E que chez ceux de la classe f.

En revanche, Il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, pour ce qui a trait aux instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions, mobilisant des représentations externes stéréoscopiques. De fait, les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 989$ et $p > 0,05$), consignés à la page 390, n'autorisent pas, au seuil de 5 %, le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2.6. Recours aux représentations externes stéréoscopiques durant la remise en question de solutions

En relation avec la mise à contribution de représentations externes stéréoscopiques aux fins de remise en question de solutions, les apprenants de la classe E cumulent des durées plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe f. Ce constat est fait sur la base des résultats d'un test unilatéral à droite de Wilcoxon comparant les deux classes E

(scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles). Ces derniers se résument dans ce qui suit : $n_E = 66$, $n_f = 23$, $W = 1237$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 341). L'hypothèse nulle présume que, pour ce qui a trait au recours aux représentations externes stéréoscopiques durant la remise en question de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Au vu des résultats, cette hypothèse peut être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Par conséquent, les apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus élevés investissent plus de temps dans la mise à contribution de représentations externes spatiales, aux fins de remise en question de solutions, que ne le font les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Par contre, il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants des classes E (capacités spatiales les plus élevées) et f (capacités spatiales les plus faibles), en ce qui concerne les instants de survenue des mises à contribution de représentations externes stéréoscopiques aux fins de remise en question de solutions. Les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 696$ et $p > 0,05$), consignés à la page 391, ne permettant pas le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2.7. Recours aux représentations externes stéréoscopiques durant la validation-consolidation de solutions

Il n'a pas été révélé de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, à propos de la mise à contribution de représentations externes spatiales en soutien à des actions de validation-consolidation de solutions. L'affirmation précédente résulte d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), relativement au recours aux représentations externes stéréoscopiques en soutien à la validation-consolidation de solutions. Les résultats livrés par ce test sont les suivants : $n_E = 28$, $n_f = 18$, $W = 257,5$ et $p > 0,05$ (cf. page 342 pour les détails). De tels résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Alors, nous avançons qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution des représentations externes stéréoscopiques, pour soutenir la validation-consolidation de solutions, il n'y a pas de différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

De la même manière, nous n'avons pu mettre en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées (classes E) et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles (classe f), du point de vue des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des représentations externes stéréoscopiques. À la lumière des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 191$ et $p > 0,05$) dont la substance est présentée à la page 392, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2.8. Recours aux représentations externes stéréoscopiques aux fins de requête d'approbation de solutions

Par rapport à la mobilisation de représentations externes stéréoscopiques dans le but de requérir l'approbation de solutions, il n'a pas été établi de différence statistiquement significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. La thèse qui précède s'appuie sur les résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier repose sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), relativement au recours aux représentations externes stéréoscopiques en soutien à la requête d'approbation de solutions. Les résultats livrés par ce test sont les suivants : $n_E = 22$, $n_f = 2$, $W = 40$ et $p > 0,05$ (cf. page 343 pour les détails). De tels résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. De ce fait, nous avançons qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution de représentations externes stéréoscopiques pour soutenir la requête d'approbation de solutions, il n'y a pas de différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

Identiquement, il n'a pas été révélé de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, en ce qui concerne les instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des représentations externes stéréoscopiques. En raison de la nature des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 6$ et $p > 0,05$) repris à la page 393, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2.9. Recours aux représentations externes stéréoscopiques durant l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion

Relativement à la mise à contribution de représentations externes stéréoscopiques durant l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette affirmation a pour soubassement les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), du point de vue des attitudes silencieuses de réflexion. La teneur de ces résultats est la suivante : $n_E = 7$, $n_f = 14$, $W = 13$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 344). Nous courons un risque d'erreur inférieur à 1 %, en rejetant l'hypothèse nulle selon laquelle : pour ce qui a trait au recours aux représentations externes spatiales durant les attitudes silencieuses de réflexion, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Il convient alors d'avancer que : les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps dans les attitudes silencieuses de réflexion, soutenues par des représentations externes stéréoscopiques, comparés aux apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Contrairement à ce qui précède, il ne nous a pas été possible de dévoiler une quelconque différence entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui a trait aux instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion, mobilisant des représentations externes stéréoscopiques. En nous appuyant sur les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 57$ et $p > 0,05$) présentés à la page 394, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.2.10. Recours aux représentations externes stéréoscopiques aux fins d'explicitation-précision du problème

Pour ce qui est de la mobilisation de représentations externes stéréoscopiques en soutien à l'explicitation-précision du problème, il n'a pas été noté de différence statistiquement significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette position trouve son fondement dans les résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, dont la teneur est : $n_E = 11$, $n_f = 4$, $W = 32$ et $p > 0,05$ (cf. détails à la page 345). L'hypothèse nulle à la base de ce test avance qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes spatiales en

soutien à l'explicitation-précision du problème, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées qui ne seraient pas différentes de celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats précédents légitiment le fait que nous ne puissions, au seuil de 5 %, rejeter l'hypothèse nulle. Par conséquent, il n'y aurait pas de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles et ceux ayant les capacités les plus élevées, du point de vue des durées cumulées dans la mobilisation de représentations externes spatiales, afin d'explicitier-préciser le problème.

De même, du point de vue des instants de survenue des mises à contribution de représentations externes stéréoscopiques en soutien aux actions d'explicitation-précision de solutions, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles. Cela en raison des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 20$ et $p > 0,05$), repris à la page 395, qui empêchent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2.11. Recours aux représentations externes stéréoscopiques afin de suggérer une forme d'organisation

Au sujet du recours à des représentations externes stéréoscopiques en soutien à la suggestion d'une forme d'organisation, il n'a pas été révélé de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. Un tel constat découle de la lecture des résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), relativement au recours aux représentations externes stéréoscopiques en soutien à la suggestion d'une forme d'organisation. Les résultats livrés par ce test sont en substance : $n_E = 8$, $n_f = 7$, $W = 20,5$ et $p > 0,05$ (cf. page 346 pour les détails). De pareils résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Nous avançons par conséquent qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution des représentations externes stéréoscopiques pour soutenir la suggestion d'organisation, il n'y a pas de différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

En outre, il ne nous a pas été loisible de mettre en évidence une différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui a trait aux instants de survenue de la suggestion d'une

forme d'organisation à partir d'une représentation externe stéréoscopique. Les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 33$ et $P > 0,05$) présenté à la page 396, ne nous permettent pas au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence

10.2.2.12. Apport de représentations externes stéréoscopiques comme outil ou support de travail

En ce qui concerne l'apport de représentations externes stéréoscopiques comme outil ou support de travail, il n'est pas établi de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette affirmation repose sur les résultats issus du recours à un test bilatéral de la somme des rangs de Wilcoxon. La substance de ce dernier est consignée à la page 347. L'hypothèse nulle qui est testée, postule une absence de différence entre les apprenants de la classe E (scores de visualisation spatiale les plus élevés) et ceux de la classe f (scores de visualisation spatiale les plus faibles), en ce qui concerne les durées cumulées dans l'apport de représentations externes stéréoscopiques comme outil ou support de travail. Les résultats obtenus avec le logiciel R se présentent comme suit : $n_E = 7$, $n_f = 6$, $W = 9,5$ et $p > 0,05$. Au seuil de 5 % nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle. Il n'y aurait donc pas de différence statistiquement significative, entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f, dans l'apport de représentations externes stéréoscopiques comme support ou outil de travail.

Pareillement, entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux qui ont les capacités spatiales les plus faibles, il n'est pas noté de différence significative ayant trait aux instants de survenue des apports de représentations externes stéréoscopiques comme support ou outil de travail. En effet, les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 28$ et $p > 0,05$) présentés à la page 397, excluent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.2.13. Recours aux représentations externes stéréoscopiques dans le but de requérir la représentation de solutions

En matière de recours aux représentations externes stéréoscopiques aux fins de requête de représentation de solutions, il n'est pas noté de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par ceux de la classe f. Une telle position est justifiée par les résultats du test bilatéral de Wilcoxon comparant les deux

classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles). Ces résultats se résument ainsi qu'il suit : $n_E = 7$, $n_f = 4$, $W = 24$ et $p > 0,05$ (voir détails à la page 348). Au seuil de 5 %, l'hypothèse nulle ne peut être rejetée. Cette hypothèse nulle suppose, en ce qui concerne le recours aux représentations externes stéréoscopiques dans le but de requérir la représentation de solutions, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas différentes de celles cumulées par les apprenants de la classe f. D'après ce qui précède, nous retenons donc que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles et ceux avec les capacités spatiales les plus élevées ne présentent pas de différences significatives, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes stéréoscopiques soutenant les requêtes de représentation de solutions.

De la même manière, il n'est pas relevé de différence significative entre les apprenants de la classe E (capacités spatiales les plus élevées) et ceux de la classe f (capacités spatiales les plus faibles), du point de vue des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports stéréoscopiques. De fait, les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 14$ et $p > 0,05$), dont la substance est livrée à la page 398, écartent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.3. Visualisation et représentations externes sur support papier soutenant les actions

Il y a 1444 actions au cours desquelles il est fait recours à un support papier (cf. tableau A.6-18, page 283). Si l'on se limite aux fréquences d'occurrence au-dessus de 1 %, ces actions ont trait à : l'explicitation-précision de solutions (32,48 %), l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension (12,4 %), la représentation de solutions (11,77 %), la requête d'explicitation-précision de solutions (7,83 %), l'explicitation-précision du problème (5,06 %), la remise en question de solutions (4,92 %), la suggestion de représentation de solutions (4,09 %), la quête d'information sur le problème (3,39 %), la tenue de propos suspendus ou indéterminés (3,25 %), l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion (3,19 %), la validation-consolidation de solutions (3,05 %) et la suggestion d'organisation (2,22 %).

10.2.3.1. Recours à un support papier aux fins d'explicitation-précision de solutions

Du point de vue de l'explicitation-précision de solutions, soutenue par des représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants ayant les scores de visualisation les plus faibles (classe f) sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants avec les scores les plus élevés (classe E). Cette position trouve son fondement dans les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f. Ces résultats livrent ce qui suit : $n_E = 271$, $n_f = 198$, $W = 24144$ et $p < 0,05$ (cf. détails à la page 349). L'hypothèse nulle à la base de ce test avance qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes sur papier, en soutien à l'explicitation-précision de solutions, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées qui ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats précédents légitiment le rejet de cette hypothèse avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mobilisation de représentations externes sur papier afin d'explicitier-préciser les solutions, que ne le font ceux dont les capacités spatiales sont les plus élevées.

Cependant, en ce qui concerne les instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des représentations externes sur papier, aucune différence significative n'est notée entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f. En effet, la lecture des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 25333$ et $p > 0,05$), présentés à la page 399, exclut le rejet, au seuil de 5 %, de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.3.2. Recours à un support papier durant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension

Concernant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension soutenue par des représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes comparées à celles cumulées par les apprenants de la classe E. Cette affirmation repose sur les résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon comparant les deux classes E et f. Ces derniers se présentent comme suit : $n_E = 51$, $n_f = 128$, $W = 1773$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 350). Avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %, nous pouvons alors rejeter l'hypothèse nulle. Selon cette dernière, pour ce qui a trait à l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension soutenue par des représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas inférieures à

celles cumulées par les apprenants de la classe f. Rappelons que la classe E est celle des six apprenants avec les scores de visualisation les plus élevés et dans la classe f se retrouvent les six apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus faibles. Alors, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mise à profit de représentations externes sur papier dans le but d'exprimer de l'accord ou de l'attention, que ne le font ceux qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

En plus, pour ce qui est des instants de survenue de la mobilisation de représentations externes sur papier, dans le but d'exprimer de l'accord, de l'attention ou de la compréhension, les actions des apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées sont localisées plus tôt dans le courant de l'activité. De fait, les résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon ($W = 2523$ et $p < 0,01$), repris à la page 400, permettent de rejeter l'hypothèse nulle de non infériorité avec un risque d'erreur en deçà de 1 %.

10.2.3.3. Recours à un support papier pour la représentation de solutions

Pour ce qui touche à la représentation de solutions sur papier, les durées cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles) sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés). Cette thèse est tirée des résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon comparant les classes E et f de ce point de vue. L'hypothèse nulle qui est testée postule qu'en ce qui concerne la représentation de solutions planes, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Nous obtenons les résultats suivants : $n_E = 108$, $n_f = 62$, $W = 1721$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 351). Tenant compte de ces résultats, nous rejetons l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %, aboutissant ainsi à la conclusion présentée en début de paragraphe.

De même, les actions de représentation de solutions sur support papier, initiées par les apprenants de la classe E, surviennent plus tôt que celles dont les apprenants de la classe f sont les auteurs. À la lumière des résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon ($W = 2026$ et $p < 0,001$), présentés à la page 401, l'hypothèse nulle de non infériorité est rejetée avec un risque d'erreur ne dépassant pas 0,1 %.

10.2.3.4. Recours à un support papier afin de requérir l'explicitation-précision de solutions

Relativement à la mobilisation de représentations externes sur papier durant les requêtes d'explicitation-précision de solutions, les durées cumulées par les apprenants ayant les scores de visualisation les plus élevés (Classe E) sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants avec les scores les plus faibles (Classe f). Ce fait est révélé par un test, unilatéral à droite, de Wilcoxon. Les résultats obtenus, $n_E = 70$, $n_f = 43$, $W = 2035,5$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 352), conduisent au rejet de l'hypothèse nulle, avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Cette hypothèse supposant la non supériorité des durées de mise à contribution de représentations externes sur papier, durant les requêtes d'explicitation-précision de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E en comparaison de celles cumulées par les apprenants de la classe f. D'où cette affirmation que nous faisons : les durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions, soutenues par des représentations externes sur papier, sont plus importantes chez les apprenants de la classe E que chez ceux de la classe f.

Néanmoins, il n'est pas révélé de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, relativement aux instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions sur la base de support papier. Sur la base des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 1536$ et $p > 0,05$), consignés à la page 402, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.3.5. Recours à un support papier aux fins d'explicitation-précision du problème

Du point de vue de l'explicitation-précision du problème soutenue par des représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants ayant les scores de visualisation les plus faibles (classe f) sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants avec les scores les plus élevés (classe E). Cette position trouve son fondement dans les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, dont la teneur est : $n_E = 29$, $n_f = 44$, $W = 353$ et $p < 0,001$ (cf. détails à la page 353). L'hypothèse nulle à la base de ce test avance qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes sur papier en soutien à l'explicitation-précision du problème, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe

f. Les résultats précédents légitiment le rejet de cette hypothèse avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mobilisation de représentations externes sur papier afin d'explicitier-préciser le problème, que ne le font ceux dont les capacités spatiales sont les plus élevées.

Cependant, du point de vue des instants de survenue des mises à contribution de représentations externes sur papier en soutien aux actions d'explicitation-précision de solutions, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants des classes E et f. Cela en raison des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 522$ et $p > 0,05$), repris à la page 403, qui empêchent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.3.6. Recours à un support papier durant la remise en question de solutions

Les durées cumulées des actions de remise en question de solutions, soutenues par des représentations externes sur papier, sont plus importantes chez les apprenants de la classe E (capacités spatiales les plus élevées) comparés à ceux de la classe f (capacités spatiales les plus faibles). Ce constat est fait sur la base des résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon comparant les deux classes E et f. Ces derniers se résument dans ce qui suit : $n_E = 51$, $n_f = 20$, $W = 707$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 354). L'hypothèse nulle présume que, pour ce qui a trait au recours aux représentations externes sur papier durant la remise en question de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Au vu des résultats, cette hypothèse peut être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 1 %. Ainsi, les apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'investissent plus longtemps dans la mise à contribution de représentations externes sur papier, aux fins de remise en question de solutions, que ne le font les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Par contre, les apprenants de la classe E ne se montrent pas différents de ceux de la classe f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions de remise en question de solutions, mobilisant des représentations externes sur support papier. En effet, en nous référant aux résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 440$ et $p > 0,05$), dont la substance est livrée à la page 404, nous excluons le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.3.7. Recours à un support papier afin de suggérer la représentation de solutions

En matière de suggestions de représentation de solutions sur la base de représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Cela se justifie à la lumière des résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon qui compare les deux classes E et f. Ces résultats se résument ainsi : $n_E = 52$, $n_f = 7$, $W = 353$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 355). Le risque d'erreur commise en rejetant l'hypothèse nulle est inférieur à 0,1 %. Rappelons que cette hypothèse nulle suppose la non supériorité des durées de mobilisation des représentations externes sur papier, dans le but de suggérer la représentation de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par ceux de la classe f. Il découle du développement qui précède que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées s'investissent plus, du point de vue des durées, dans la mobilisation de représentations externes sur papier pour quérir la représentation de solutions, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Identiquement, la survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des représentations externes sur papier est plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Les résultats du test de Wilcoxon unilatéral à droite ($W = 260$ et $p < 0,05$), repris à la page 405, faisant courir un risque inhérent au rejet de l'hypothèse nulle, inférieur à 5 %.

10.2.3.8. Recours à un support papier dans le but de quérir de l'information sur le problème

Par rapport à la quête d'information sur le problème mobilisant des représentations externes sur papier, nous n'avons pas décelé de différences significatives entre les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) et ceux de la classe f (scores les plus faibles), relativement aux durées cumulées des actions. Cette position est justifiée par les résultats du test bilatéral de Wilcoxon comparant les deux classes E et f, qui se résument ainsi : $n_E = 25$, $n_f = 24$, $W = 350$ et $p > 0,05$ (voir détails à la page 356). Au seuil de 5 %, l'hypothèse nulle ne peut être rejetée. Cette hypothèse nulle admet, en ce qui concerne le recours aux représentations externes sur papier dans le but de quérir de l'information sur le problème, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas différentes de celles cumulées par

les apprenants de la classe f. Nous retenons donc que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles et ceux avec les capacités spatiales les plus élevées ne présentent pas de différences significatives, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes sur papier soutenant la quête d'information sur le problème.

De même, du point de vue des instants de survenue de la mise à contribution de représentations externes sur papier aux fins de quête d'information sur le problème, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les classes E et f. Ce résultat découle du test de Wilcoxon ($W = 278$, et $p > 0,05$), dont la substance est présentée à la page 406 et sur la base duquel nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.3.9. Recours à un support papier durant la tenue de propos suspendus ou indéterminés

Les propos suspendus ou indéterminés, soutenus par des représentations externes sur papier, cumulent des durées moins importantes chez les apprenants de la classe E, en comparaison de ceux de la classe f. Affirmation qui est basée sur les résultats d'un test, unilatéral à gauche de Wilcoxon, destiné à comparer les deux classes E et f. En substance, ces résultats se présentent ainsi : $n_E = 14$, $n_f = 33$, $W = 99,5$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 357). Le risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle est inférieur à 1 %. Rappelons que cette hypothèse nulle suppose, au sujet du recours à des représentations externes sur papier en concomitance avec la tenue de propos suspendus ou indéterminés, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Ainsi, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mise à profit de représentations externes sur papier, concomitamment à la tenue de propos suspendus ou indéterminés, que ne le font ceux qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Par contre, il n'est pas révélé de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne les instants de survenue du recours aux représentations externes sur papier durant la tenue de propos suspendus ou indéterminés. À la lumière des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 291$ et $p > 0,05$), présentés à la page 407, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.3.10. Recours à un support papier durant l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion

Au sujet de l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion concomitamment à la mobilisation de représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont moins importantes comparées à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette affirmation a pour soubassement les résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, du point de vue des attitudes silencieuses de réflexion. La teneur de ces résultats est la suivante : $n_E = 8$, $n_f = 38$, $W = 63$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 358). Nous courons un risque d'erreur inférieur à 1 %, en rejetant l'hypothèse nulle selon laquelle : pour ce qui a trait aux attitudes silencieuses de réflexion concomitantes au recours à des représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Il convient alors d'avancer que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans les attitudes silencieuses de réflexion soutenues par des représentations externes sur papier, comparés aux apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Contrairement à ce qui précède, il ne nous a pas été possible de dévoiler une quelconque différence entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, en relation avec les instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion, s'appuyant sur des représentations externes sur papier. Sur la base des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 150$ et $p > 0,05$) présentés à la page 408, nous ne pouvions rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.3.11. Recours à un support papier aux fins de validation-consolidation de solutions

Il n'est pas noté de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f, en ce qui concerne la mobilisation de représentations externes sur papier aux fins de validation-consolidation de solutions. Ce constat a été fait sur la base d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants, relativement au recours aux représentations externes sur papier en soutien à la validation-consolidation de solutions. Les résultats livrés par ce test sont les suivants :

$n_E = 30$, $n_f = 14$, $W = 233$ et $p > 0,05$ (cf. page 359 pour les détails). De tels résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Nous avançons par conséquent qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution des représentations externes sur papier, pour soutenir la validation-consolidation de solutions, il n'y a pas de différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

Comme dans ce qui précède, nous n'avons pas pu révéler de différence significative entre les apprenants des classes E et f, en ce qui concerne les instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des représentations externes sur papier. Eu égard aux résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 194$ et $p > 0,05$) dont la substance est présentée à la page 409, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle.

10.2.3.12. Recours à un support papier afin de suggérer une forme d'organisation

En ce qui concerne les suggestions d'organisation soutenues par des représentations externes sur papier, les durées cumulées par les apprenants ayant les scores de visualisation les plus faibles (classe f), sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants avec les scores les plus élevés (classe E). Cette position s'appuie sur les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f. La substance de ces résultats est : $n_E = 17$, $n_f = 15$, $W = 69$ et $p < 0,05$ (cf. détails à la page 360). L'hypothèse nulle à la base de ce test avance qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes sur papier en soutien aux suggestions d'organisation, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées qui ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats précédents légitiment le rejet de cette hypothèse avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans la mobilisation de représentations externes sur papier afin de suggérer une forme d'organisation, que ne le font ceux dont les capacités spatiales sont les plus élevées.

Par contre, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, du point de vue des instants de survenue des suggestions d'une forme d'organisation s'appuyant sur un support papier. En raison des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 130$ et $p > 0,05$), présentés à la page 410, nous ne pouvons au seuil de 5 % rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4. Visualisation spatiale et supports numériques soutenant les actions

Les supports numériques sont mobilisés dans 1068 actions (voir tableau A.6-18, page 283). En ne prenant en compte que les fréquences d'occurrence supérieures à 1 %, ces actions relèvent de : la représentation de solutions (21,91 %), l'explicitation-précision de solutions (16,48 %), la suggestion de représentation de solutions (16,2 %), l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension (11,33 %), la requête d'explicitation-précision de solutions (9,18 %), la remise en question de solutions (8,33 %), la validation-consolidation de solutions (4,31 %), la requête d'approbation de solutions (2,25 %), l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion (1,97 %), la suggestion d'organisation (1,4 %), l'explicitation-précision du problème (1,12 %), l'apport d'outil ou support de travail (1,03 %) et la requête de représentation de solutions (1,03 %).

10.2.4.1. Recours à un support numérique pour la représentation de solutions

En ce qui a trait à la représentation de solutions sous forme numérique, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe E. Cette thèse est légitimée par les résultats du test unilatéral à gauche de Wilcoxon comparant les classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), de ce point de vue. L'hypothèse nulle qui est testée postule qu'au sujet de la représentation de solutions sur support numérique, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. En substance, les résultats obtenus sont : $n_E = 175$, $n_f = 59$, $W = 4344$ et $p < 0,05$ (voir détails à la page 361). Tenant compte de ces résultats, nous rejetons l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Nous aboutissons ainsi à l'assertion selon laquelle les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées cumulent des durées moins importantes, dans la représentation de solutions numériques, que les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus faibles.

Par contre, nous n'avons pu mettre en évidence une quelconque différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques. Sur la base des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 4769$ et $p > 0,05$) présentés à la page 411, nous excluons le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.2. Recours à un support numérique aux fins d'explicitation-précision de solutions

Du point de vue de l'explicitation-précision de solutions, soutenue par des représentations externes numériques, les durées cumulées par les apprenants de la classe f sont plus importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe E. Ce constat découle du test, unilatéral à gauche, de la somme des rangs de Wilcoxon auquel il est fait recours pour comparer ces deux classes. La teneur de ce test est consignée à la page 362. L'hypothèse nulle testée suppose la non infériorité des durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores de visualisation spatiale les plus élevés), devant celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores de visualisation spatiale les plus faibles), en ce qui concerne la mobilisation de représentations externes numériques pour soutenir l'explicitation-précision de solutions. Les résultats obtenus avec le logiciel R se présentent comme suit : $n_E = 93$, $n_f = 83$, $W = 2309,5$ et $p < 0,001$. Le risque d'erreur commise en rejetant l'hypothèse nulle ne dépasse guère 0,1 %. Les durées cumulées par les apprenants de la classe E, caractérisés par les capacités spatiales les plus élevées, sont donc inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f, qui se distinguent par les capacités spatiales les plus faibles ; cela en ce qui concerne le recours aux représentations externes numériques en soutien à l'explicitation-précision de solutions.

Toutefois, il n'a pas été révélé de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, en ce qui concerne les instants de survenue des actions mettant à contribution des représentations externes numériques durant l'explicitation-précision de solutions. À la lumière des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 4096,5$ et $p > 0,05$) repris à la page 412, nous ne pouvions admettre le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.3. Recours à un support numérique dans le but de suggérer la représentation de solutions

Sous le rapport de la mise à contribution de représentations externes numériques pour suggérer la représentation de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cela se justifie à la lumière des résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon qui compare les deux classes E

et f. Ces résultats se résument ainsi : $n_E = 100$, $n_f = 73$, $W = 4924$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 363). Le risque d'erreur commise en rejetant l'hypothèse nulle est inférieur à 0,1 %. Rappelons que cette hypothèse nulle suppose la non supériorité des durées de mobilisation des représentations externes numériques, dans le but de suggérer la représentation de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par ceux de la classe f. Il découle du développement qui précède que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées s'investissent plus, du point de vue des durées, dans la mobilisation de représentations externes numériques pour suggérer la représentation de solutions, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

En outre, nous notons de la part des apprenants avec les capacités spatiales le plus faibles, une survenue plus précoce de la mise à contribution de représentations externes numériques aux fins de suggestion de représentation de solutions. Eu égard aux résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon ($W = 4681$ et $p < 0,001$) présentés à la page 413, le risque d'erreur inhérent au rejet de l'hypothèse nulle de non supériorité est inférieur à 0,1 %. Nous rejetons alors cette hypothèse nulle.

10.2.4.4. Recours à un support numérique durant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension

À propos de la mobilisation de représentations externes numériques durant l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, il n'est pas noté de différence significative des durées cumulées par les apprenants de la classe E comparés à ceux de la classe f. Cette affirmation repose sur les résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon comparant les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles). Ces derniers se présentent comme suit : $n_E = 52$, $n_f = 69$, $W = 1574,5$ et $p > 0,05$ (voir détails à la page 364). Au seuil de 5 %, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle. Il convient de rappeler que cette dernière suppose, pour ce qui a trait à l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension soutenue par des représentations externes numériques, que les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas différentes de celles cumulées par les apprenants de la classe f. Par conséquent, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles n'investiraient pas plus de temps, dans la mise à profit de représentations externes numériques, dans le but d'exprimer de l'accord ou de l'attention, que ne le font ceux qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Contrairement à ce qui précède, en comparaison avec les actions de même nature dont les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées sont les auteurs, les actions exprimant de l'accord, de l'attention ou de la compréhension et mobilisant des représentations externes numériques, initiées par les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus faibles surviennent plus tôt dans le courant de l'activité. En effet, les résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon ($W = 2221$ et $p < 0,05$) repris à la page 414, montrent que le rejet de l'hypothèse nulle présente un risque d'erreur inférieur à 5 %.

10.2.4.5. Recours à un support numérique afin de requérir l'explicitation-précision de solutions

En ce qui concerne le recours aux représentations externes numériques durant les requêtes d'explicitation-précision de solutions, les apprenants de la classe E cumulent des durées plus importantes comparés aux apprenants de la classe f. Ce constat résulte d'un test, unilatéral à droite, de Wilcoxon. Les résultats obtenus, $n_E = 68$, $n_f = 30$, $W = 1602$ et $p < 0,001$ (cf. page 365 pour les détails), conduisent au rejet de l'hypothèse nulle, avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Cette hypothèse supposant la non supériorité des durées, de recours aux représentations externes numériques en soutien aux requêtes d'explicitation-précision de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) en comparaison de celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). D'où cette affirmation que nous faisons : les durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions soutenues par des représentations externes numériques sont plus importantes chez les apprenants de la classe E que chez ceux de la classe f.

En revanche, Il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, pour ce qui a trait aux instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des représentations externes numériques. De fait, les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 974$ et $p > 0,05$), consignés à la page 415, n'autorisent pas, au seuil de 5 %, le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.6. Recours à un support numérique durant la remise en question de solutions

En relation avec la mise à contribution de représentations externes numériques, aux fins de remise en question de solutions, les apprenants de la classe E cumulent des durées plus

importantes que celles cumulées par les apprenants de la classe f. Ce constat est fait sur la base des résultats d'un test unilatéral à droite de Wilcoxon, comparant les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles). Ces derniers se résument dans ce qui suit : $n_E = 66$, $n_f = 23$, $W = 1237$ et $p < 0,001$ (voir détails à la page 366). L'hypothèse nulle présume que, pour ce qui a trait au recours aux représentations externes numériques durant la remise en question de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E ne seraient pas supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Au vu des résultats, cette hypothèse peut être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 0,1 %. Par conséquent, les apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus élevés investissent plus de temps dans la mise à contribution de représentations externes numériques, aux fins de remise en question de solutions, que ne le font les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Par contre, il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants des classes E (capacités spatiales les plus élevées) et f (capacités spatiales les plus faibles), en ce qui concerne les instants de survenue des mises à contribution de représentations externes numériques aux fins de remise en question de solutions. Les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 696$ et $p > 0,05$), consignés à la page 416, ne permettant pas le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.7. Recours à un support numérique afin de valider-consolider des solutions

Il n'a pas été révélé de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, à propos de la mise à contribution de représentations externes numériques en soutien à des actions de validation-consolidation de solutions. L'affirmation précédente résulte d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), relativement au recours aux représentations externes numériques en soutien à la validation-consolidation de solutions. Les résultats livrés par ce test sont les suivants : $n_E = 28$, $n_f = 18$, $W = 257,5$ et $p > 0,05$ (cf. page 367 pour les détails). De tels résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Alors, nous avançons qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution des représentations externes numériques, pour soutenir la validation-consolidation de solutions, il n'y a pas de

différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

De la même manière, nous n'avons pu mettre en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées (classes E) et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles (classe f), du point de vue des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des représentations externes numériques. À la lumière des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 191$ et $p > 0,05$) dont la substance est présentée à la page 417, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.8. Recours à un support numérique aux fins de requête d'approbation de solutions

En ce qui a trait à la mise à contribution d'un support numérique durant les requêtes d'approbation de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Les résultats d'un test unilatéral à droite de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, légitiment l'affirmation qui précède. En substance, ces résultats se déclinent comme suit : $n_E = 22$, $n_f = 2$, $W = 40$ et $p < 0,05$ (voir détails à la page 368). Le risque d'erreur lié au rejet de l'hypothèse nulle est inférieur à 5 %. L'hypothèse nulle en question présume la non supériorité des durées de mobilisation des représentations externes numériques, en soutien aux requêtes d'approbation de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par ceux de la classe f. Eu égard à ce qui précède, il convient de retenir que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées investissent plus de temps dans la requête d'approbation de solutions, soutenue par des représentations externes numériques, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Contrairement à ce qui précède, il n'a pas été révélé de différence significative entre les apprenants de la classe E et ceux de la classe f, en ce qui concerne les instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des représentations externes numériques. En raison de la nature des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 6$ et $p > 0,05$) repris à la page 418, nous ne pouvions rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.9. Mobilisation d'un support numérique durant l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion

Relativement à la mise à contribution de représentations externes numériques durant l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette affirmation a pour soubassement les résultats d'un test unilatéral à gauche de Wilcoxon, comparant les deux classes E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), du point de vue des attitudes silencieuses de réflexion. La teneur de ces résultats est la suivante : $n_E = 7$, $n_f = 14$, $W = 13$ et $p < 0,01$ (voir détails à la page 369). Nous courons un risque d'erreur inférieur à 1 %, en rejetant l'hypothèse nulle selon laquelle : pour ce qui a trait au recours aux représentations externes numériques durant les attitudes silencieuses de réflexion, les durées cumulées par les apprenants de la classe E (scores les plus élevés) ne seraient pas inférieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f (scores les plus faibles). Il convient alors d'avancer que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles investissent plus de temps, dans les attitudes silencieuses de réflexion soutenues par des représentations externes numériques, comparés aux apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées.

Contrairement à ce qui précède, il ne nous a pas été possible de dévoiler une quelconque différence entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui a trait aux instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion, mobilisant des représentations externes numériques. En nous appuyant sur les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 57$ et $p > 0,05$) présentés à la page 419, nous ne pouvions rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.10. Recours à un support numérique afin de suggérer une forme d'organisation

Au sujet du recours à des représentations externes numériques en soutien à la suggestion d'une forme d'organisation, il n'a pas été révélé de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. Un tel constat découle de la lecture des résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les durées cumulées par les deux classes d'apprenants E (scores les plus élevés) et f (scores les plus faibles), relativement au recours aux représentations externes numériques en soutien à la suggestion d'une forme

d'organisation. Les résultats livrés par ce test sont en substance : $n_E = 8$, $n_f = 7$, $W = 20,5$ et $p > 0,05$ (cf. page 370 pour les détails). De pareils résultats ne permettent pas, au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle. Nous avançons par conséquent qu'au sujet des durées cumulées de mise à contribution des représentations externes numériques, pour soutenir la suggestion d'organisation, il n'y a pas de différence significative entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

Dans le même sillage, il ne nous a pas été loisible de mettre en évidence une différence significative, entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui a trait aux instants de survenue de la suggestion d'une forme d'organisation à partir d'une représentation externe numérique. Les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 33$ et $P > 0,05$) présenté à la page 420, ne nous permettent pas au seuil de 5 %, de rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence

10.2.4.11. Recours à un support numérique pour l'explicitation-précision du problème

Pour ce qui est de la mobilisation de représentations externes numériques en soutien à l'explicitation-précision du problème, il n'a pas été noté de différence statistiquement significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette position trouve son fondement dans les résultats d'un test bilatéral de Wilcoxon, comparant les deux classes E et f, dont la teneur est : $n_E = 9$, $n_f = 3$, $W = 18$ et $p > 0,05$ (cf. détails à la page 371). L'hypothèse nulle à la base de ce test avance qu'en ce qui a trait à la mise à contribution de représentations externes numériques en soutien à l'explicitation-précision du problème, les apprenants de la classe E cumuleraient des durées qui ne seraient pas différentes de celles cumulées par les apprenants de la classe f. Les résultats précédents légitiment le fait que nous ne puissions, au seuil de 5 %, rejeter l'hypothèse nulle. Par conséquent, il n'y aurait pas de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles et ceux ayant les capacités les plus élevées, du point de vue des durées cumulées dans la mobilisation de représentations externes numériques, afin d'expliquer-préciser le problème.

De même, du point de vue des instants de survenue des mises à contribution de représentations externes numériques en soutien aux actions d'explicitation-précision du problème, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant

les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles. Cela en raison des résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 9$ et $p > 0,05$), repris à la page 421, qui empêchent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.12. Apport d'un support numérique comme outil ou support de travail

En ce qui concerne l'apport de représentations externes numériques comme outil ou support de travail, il n'est pas établi de différence significative entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cette affirmation repose sur les résultats issus du recours à un test bilatéral de la somme des rangs de Wilcoxon. La substance de ce dernier est consignée à la page 372. L'hypothèse nulle qui est testée, postule une absence de différence entre les apprenants de la classe E (scores de visualisation spatiale les plus élevés) et ceux de la classe f (scores de visualisation spatiale les plus faibles), en ce qui concerne les durées cumulées dans l'apport de représentations externes numériques comme outil ou support de travail. Les résultats obtenus avec le logiciel R se présentent comme suit : $n_E = 6$, $n_f = 5$, $W = 6,5$ et $p > 0,05$. Au seuil de 5 % nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle. Il n'y aurait donc pas de différence statistiquement significative, entre les durées cumulées par les apprenants de la classe E et celles cumulées par les apprenants de la classe f, dans l'apport de représentations externes numériques comme support ou outil de travail.

Pareillement, entre les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées et ceux qui ont les capacités spatiales les plus faibles, il n'est pas noté de différence significative ayant trait aux instants de survenue des apports de représentations externes numériques comme support ou outil de travail. En effet, les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 19$ et $p > 0,05$) présentés à la page 422, excluent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.2.4.13. Recours à un support numérique dans le but de requérir la représentation de solutions

Au sujet de la mise à contribution de représentations externes numériques dans le but de requérir la représentation de solutions, les durées cumulées par les apprenants de la classe E sont supérieures à celles cumulées par les apprenants de la classe f. Cela est justifié par les résultats du test unilatéral à droite de Wilcoxon qui compare les deux classes E et f, de ce

point de vue. L'essence des résultats en question se décline ainsi : $n_E = 7$, $n_f = 4$, $W = 24$ et $p < 0,05$ (voir détails à la page 373). Il nous est alors possible de rejeter l'hypothèse nulle avec un risque d'erreur inférieur à 5 %. Pour rappel, cette hypothèse nulle admet la non supériorité des durées de mobilisation des représentations externes numériques, dans le but de requérir la représentation de solutions, cumulées par les apprenants de la classe E devant celles cumulées par ceux de la classe f. Dans ces circonstances, nous retenons que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées mobilisent plus de temps à requérir la représentation de solutions sur la base de supports numériques, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Toutefois, il n'est pas relevé de différence significative entre les apprenants de la classe E (capacités spatiales les plus élevées) et ceux de la classe f (capacités spatiales les plus faibles), du point de vue des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques. De fait, les résultats du test bilatéral de Wilcoxon ($W = 14$ et $p > 0,05$), dont la substance est livrée à la page 423, écartent le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de différence.

10.3. Synthèse du chapitre 10

Le présent chapitre adressait la question des relations entre capacités spatiales et mise à contribution, dans une activité dyadique, de représentations externes en soutien aux actions de co-conception de différentes natures. Il a été fait recours au test non paramétrique de Wilcoxon afin de comparer les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées avec ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles. Cette comparaison mettait l'accent sur les durées cumulées et les instants de survenue des recours aux différents types de représentations externes en soutien à chacun des types d'action de co-conception identifiés. Dans ce qui suit, est livrée la substance des résultats obtenus.

Dans le recours aux représentations externes planes

Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions
Survenue plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, en ce qui concerne :	La représentation de solutions L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension
Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, relativement à :	La représentation de solutions L'explicitation-précision du problème L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion La tenue de propos suspendus ou indéterminés La suggestion d'organisation
Survenue plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions
Absence de différences significatives du point de vue des durées cumulées, pour ce qui concerne :	L'explicitation-précision de solutions La validation-consolidation de solutions La quête d'information sur le problème
Absence de différences significatives du point de vue des instants de survenue, en ce qui concerne :	L'explicitation-précision de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions La validation-consolidation de solutions L'explicitation-précision du problème La quête d'information sur le problème L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion La tenue de propos suspendus ou indéterminés La suggestion d'organisation

Dans le recours aux représentations externes stéréoscopiques

Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions
Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, relativement à :	La représentation de solutions L'explicitation-précision de solutions L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion
Survenue plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension
Absence de différences significatives du point de vue des durées cumulées, pour ce qui concerne :	La validation-consolidation de solutions Les requêtes d'approbation de solutions L'explicitation-précision du problème L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension Les suggestions d'organisation L'apport d'outil ou support de travail Les requêtes de représentation de solutions
Absence de différences significatives du point de vue des instants de survenue, pour ce qui concerne :	La représentation de solutions L'explicitation-précision de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions La validation-consolidation de solutions Les requêtes d'approbation de solutions L'explicitation-précision du problème L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion Les suggestions d'organisation L'apport d'outil ou support de travail Les requêtes de représentation de solutions

Dans le recours aux représentations externes sur papier

Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions
Survenue plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, en ce qui concerne :	La représentation de solutions L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension
Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, relativement à :	La représentation de solutions L'explicitation-précision de solutions L'explicitation-précision du problème L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion La tenue de propos suspendus ou indéterminés La suggestion d'organisation
Survenue plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions
Absence de différences significatives du point de vue des durées cumulées, pour :	La validation-consolidation de solutions La quête d'information sur le problème
Absence de différences significatives du point de vue des instants de survenue, en ce qui concerne :	L'explicitation-précision de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions La validation-consolidation de solutions L'explicitation-précision du problème La quête d'information sur le problème L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion La tenue de propos suspendus ou indéterminés La suggestion d'organisation

Dans le recours aux représentations externes numériques

Durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions Les requêtes d'approbation de solutions Les requêtes de représentation de solutions
Des durées cumulées plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, relativement à :	La représentation de solutions L'explicitation-précision de solutions L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion
Survenue plus précoce chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne :	Les suggestions de représentation de solutions L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension
Une absence de différences significatives du point de vue des durées cumulées, pour ce qui concerne :	La validation-consolidation de solutions L'explicitation-précision du problème L'expression d'accord, d'attention ou de compréhension Les suggestions d'organisation L'apport d'outil ou support de travail
Absence de différences significatives du point de vue des instants de survenue, pour ce qui concerne :	La représentation de solutions L'explicitation-précision de solutions Les requêtes d'explicitation-précision de solutions Les remises en question de solutions La validation-consolidation de solutions Les requêtes d'approbation de solutions L'explicitation-précision du problème L'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion Les suggestions d'organisation L'apport d'outil ou support de travail Les requêtes de représentation de solutions

Chapitre 11. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS ET MISE EN PARALLÈLE AVEC LES TRAVAUX ANTÉRIEURS

11.1. Synthèse des résultats et réponses aux questions

11.1.1. Parcours, caractères sociodémographiques, maîtrise d'outils et visualisation

La question des liens potentiels entre le parcours éducatif, les caractères sociodémographiques et les capacités spatiales est connexe à notre problématique. Dans le but de caractériser la situation étudiée, nous avons jugé pertinent d'adresser cette question en raison des nombreux résultats de recherche qui établissent un lien entre formation, genre et capacités spatiales. En substance, cela nous permet de disposer d'une base de comparaison relativement aux éléments qui précèdent. Ainsi donc, nous avons émis les hypothèses 0-1 à 0-6. Les différents traitements appliqués aux données de cette étude nous ont permis d'aboutir à des conclusions, relatives à ces hypothèses, que nous livrons dans ce qui suit après le rappel de la teneur de chacune des hypothèses en question.

Hypothèse 0-1 : les apprenants ayant obtenu le baccalauréat sont plus jeunes que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.

Résultat 0-1 : les apprenants ayant obtenu le baccalauréat sont plus jeunes que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.

Ce résultat est en accord avec l'hypothèse 0-1, il va dans le sens de la corroborer.

Hypothèse 0-2 : les apprenants ayant obtenu le baccalauréat ont des scores de visualisation spatiale plus élevés que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.

Résultat 0-2 : les apprenants titulaires d'un baccalauréat ont des scores de visualisation spatiale plus élevés que ceux ayant obtenu le brevet de technicien.

Ce résultat s'accorde avec l'hypothèse 0-2, il va dans le sens de la corroborer.

Hypothèse 0-3 : les apprenants de niveau d'études plus élevé ont des scores de visualisation spatiale plus élevés.

Résultat 0-3 : selon le niveau d'études, il n'est pas mis en évidence de différence significative liée à la visualisation spatiale.

Ce résultat ne nous permet pas de conforter l'hypothèse 0-3.

Hypothèse 0-4 : les garçons ont des scores de visualisation spatiale plus élevés comparés aux filles.

Résultat 0-4 : selon le genre, il n'est pas mis en évidence de différence significative relative à la visualisation spatiale.

Ce résultat ne permet pas de conforter l'hypothèse 0-4.

Hypothèse 0-5 : la maîtrise déclarée des outils de DAO est plus élevée chez les apprenants ayant obtenu le baccalauréat, comparés à ceux qui ont obtenu le brevet de technicien.

Résultat 0-5 : la maîtrise d'un seul des trois logiciels en usage est significativement liée à la nature du diplôme secondaire obtenu.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de lien significatif entre le niveau de maîtrise de deux des trois logiciels et la nature du diplôme secondaire. Ce fait n'étaye que partiellement l'hypothèse 0-5, en rapport avec le logiciel SolidWorks.

Hypothèse 0-6 : la maîtrise déclarée des outils de DAO est plus élevée chez les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés.

Résultat 0-6 : la maîtrise d'un seul des trois logiciels en usage est significativement liée à la visualisation spatiale.

Nous n'avons pas pu mettre en évidence de lien significatif entre le niveau de maîtrise de deux des trois logiciels et les scores de visualisation spatiale. Ce fait ne conforte que partiellement l'hypothèse 0-6, en rapport avec le logiciel SolidWorks.

Il apparaît alors que les hypothèses 0-1 et 0-2 ne peuvent être rejetées. Les hypothèses 0-3 et 0-4 ne sont pas confortées. Les hypothèses 0-5 et 0-6 ne sont que partiellement confortées car elles ne se vérifient que pour un des outils de modélisation sur les trois déclarés en usage.

Eu égard à ce qui précède, il semblerait que les apprenants les plus jeunes, de surcroît titulaires du baccalauréat, auraient les capacités spatiales les plus élevées, en particulier en ce qui concerne la visualisation spatiale. De même, les apprenants déclarant les niveaux de maîtrise les plus élevés du logiciel SolidWorks, ont les scores de visualisation spatiale les

plus élevés. Nous n'avons cependant pu mettre en évidence aucun lien significatif entre, d'une part la visualisation spatiale, et d'autre part le genre, le niveau d'études et le niveau de maîtrise déclaré des logiciels Catia et AutoCad.

Le traitement qui a abouti au développement qui précède, n'est pas directement dicté par notre problématique. Il ne vise donc pas a priori à répondre directement à une des questions formulées dans le Chapitre 3 du présent document. La littérature ayant cependant établi un lien réciproque entre formation et capacités spatiales d'une part, et d'autre part entre les capacités spatiales et certains caractères sociodémographiques tels que le genre, nous avons jugé opportun de situer notre échantillon de ce point de vue.

11.1.2. Visualisation spatiale et types de représentations externes mobilisées

Les liens supposés entre la visualisation spatiale et la nature des représentations externes mobilisées durant l'activité de co-conception, impliquant des binômes d'apprenants, ont donné lieu à la formulation des hypothèses 1-1 et 1-2. Les éléments qui suivent reviennent sur les résultats issus des traitements des données afin de corroborer ou infirmer lesdites hypothèses.

Hypothèse 1-1 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles recourent plus aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.

Résultat 1-1-a : les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées consacrent plus de temps dans la mobilisation de supports numériques comparés à ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles.

Résultat 1-1-b : les durées cumulées de mobilisation de supports spatiaux sont plus importantes chez les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, comparés à ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

Hypothèse 1-2 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés ont plus recours aux représentations externes planes et à celles sur papier.

Résultat 1-2-a : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de mobilisation de supports plans.

Résultat 1-2-b : la mise à contribution de représentations externes sur support papier, par les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et par les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles, ne présente pas de différences statistiquement significatives du point de vue des durées cumulées

Hypothèse 1-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles ont plus précocement recours aux représentations externes spatiales et à celles sur support numérique.

Résultat 1-3-a : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue du recours aux supports plans et à ceux sur papier.

Résultat 1-3-b : le recours aux représentations externes spatiales et à celles numériques est plus précoce de la part des apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles qu'il ne l'est chez les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées.

L'hypothèse 1-1 est infirmée par les deux résultats 1-1-a et 1-1-b, c'est plutôt le contraire de cette hypothèse qui est révélé par ces résultats.

À propos de l'hypothèse 1-2, les résultats 1-2-a et 1-2-b ne vont pas dans le sens de la corroborer, sachant qu'aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les apprenants à capacités spatiales élevées et ceux à capacités spatiales faibles, relativement aux durées cumulées de mise à contribution de représentations externes planes et sur papier.

Concernant l'hypothèse 1-3, il convient de relever que le résultat 1-3-b contribue à la conforter, les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus faibles mobilisant plus précocement les représentations externes spatiales ou numériques. Cela d'autant plus qu'il n'est pas établi de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux ayant les capacités spatiales les plus faibles, du point de vue des instants de survenue du recours aux représentations externes planes ou sur support papier.

Le tableau tableau 11-1 qui suit, livre de manière synthétique les résultats 1-1-a, 1-1-b, 1-2-a et 1-2-b, liés aux durées cumulées et évoqués dans ce qui précède. Il convient de remarquer qu'il y est également présenté un résultat qui pourrait relever de la question 1 sans être pris en compte par les hypothèses 1-1 et 1-2. Ce résultat a trait à l'absence ou à l'indétermination

d'un quelconque recours à une représentation externe donnée visant à soutenir une action en cours. Le résultat en question semblerait montrer que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées initient plus, en ce qui concerne les durées, des actions sans la moindre représentation externe en soutien.

tableau 11-1 : Synthèse des différences entre les classes E et f quant aux durées cumulées de mobilisation des représentations externes

Recours aux supports numériques	Recours aux représentations externes spatiales	Recours aux représentations externes planes	Recours aux supports sur papier	Absence de recours à un quelconque support
Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f	Classe E > Classe f
Classe E : capacités spatiales les plus élevées		Classe f : capacités spatiales les plus faibles		

Les résultats relevant des instants de survenue de la mobilisation des différents types de représentations externes, sont synthétisés dans le tableau 11-2 suivant. Les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles ont plus tôt, dans le courant de l'activité, recours aux représentations externes spatiales ou numériques comparés à leurs camarades présentant les capacités spatiales les plus élevées. Relativement à la mise à contribution des représentations externes planes, celles sur support papier ou l'absence de recours à un quelconque support, il n'est toutefois pas noté de différence entre apprenants de la classe E et ceux de la classe f, du point de vue des instants de survenue.

tableau 11-2 : Synthèse des différences entre les classes E et f quant aux instants de survenue de la mobilisation des représentations externes

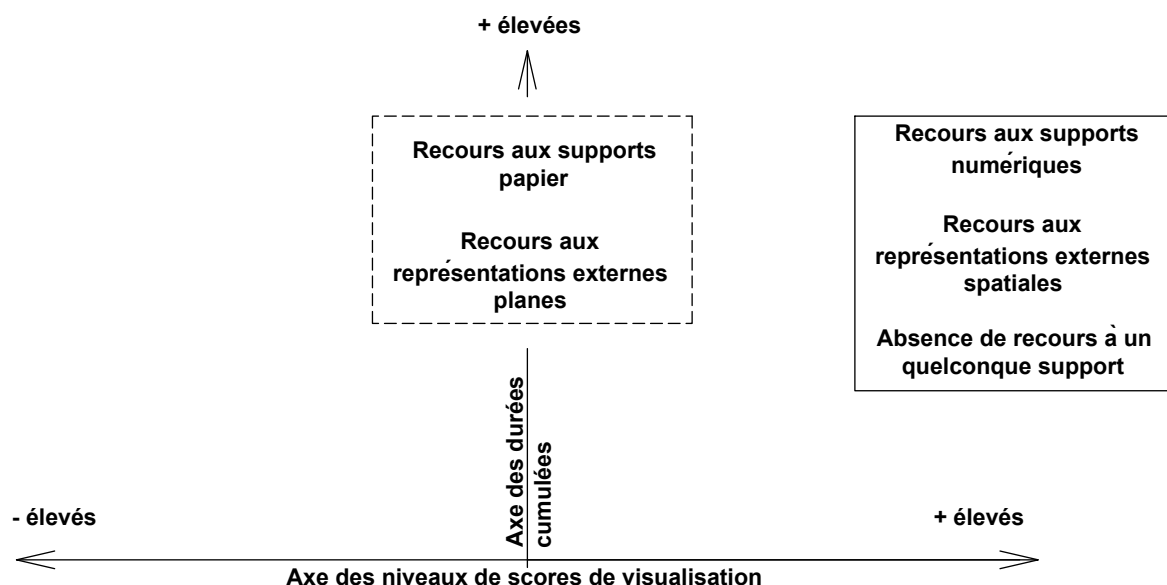
Recours aux supports numériques	Recours aux représentations externes spatiales	Recours aux représentations externes planes	Recours aux supports sur papier	Absence de recours à un quelconque support
Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Classe E : capacités spatiales les plus élevées		Classe f : capacités spatiales les plus faibles		

Revenant à la question 1, pour laquelle il y avait matière à s'interroger sur l'existence ou pas de liens entre la nature des représentations externes auxquelles ont recours les apprenants et leurs capacités visuo-spatiales, nous livrons une réponse affirmative mais nuancée aussi bien pour ce qui concerne les durées cumulées que les instants de survenue des actions de mobilisation des dites représentations externes.

En référence aux durées cumulées, nous dirons que la nature des représentations externes mobilisées est bien liée aux capacités spatiales, quand on constate que les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées consacrent plus de temps dans la mobilisation de représentations externes stéréoscopiques ou numériques, que ne le font les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Toutefois, en ce qui concerne les représentations externes planes et sur papier, il ne nous a pas été loisible de trancher la question. Au demeurant, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence, du point de vue des durées cumulées, entre apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

Les résultats relatifs aux durées cumulées, repris dans le développement qui précède, sont synthétisés sous une forme graphique sur la figure 11-1 qui suit.

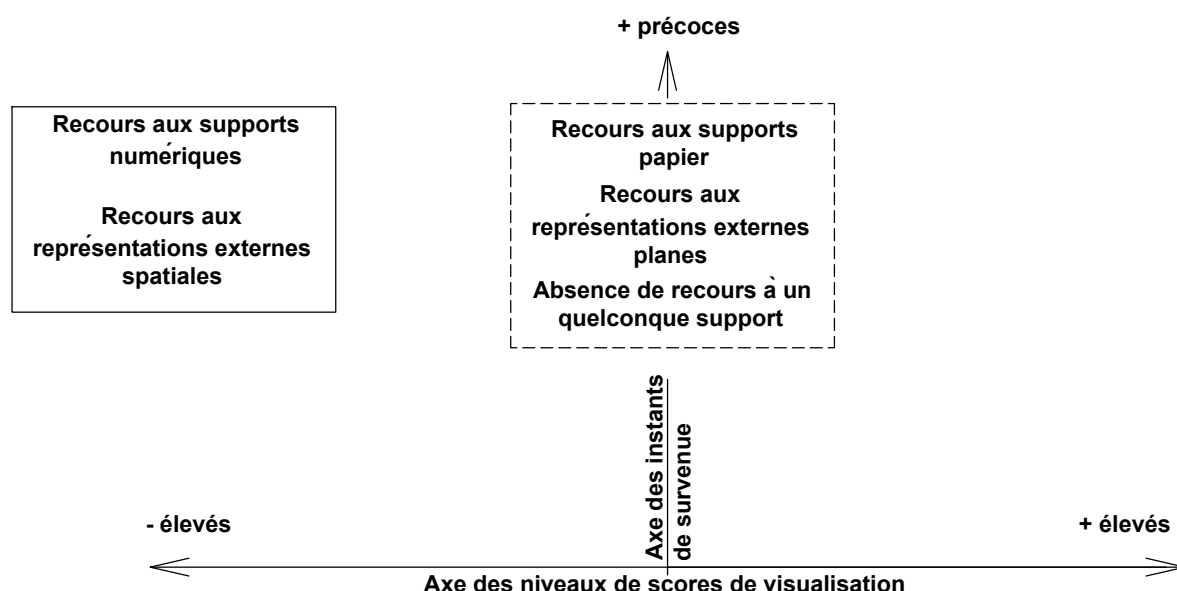
figure 11-1 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation des types et supports de représentations externes



En ce qui a trait aux instants de survenue, il faut noter que la nature des représentations externes mises à contribution est bien liée aux capacités spatiales. Quelques précisions méritent cependant d'être apportées. Les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus faibles, recourent plus tôt dans le processus aux représentations externes stéréoscopiques ou numériques, comparés aux apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées. Cependant, par rapport aux instants de survenue de la mobilisation des représentations externes planes ou sur support papier, il n'est pas mis en évidence de différence significative

entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles. Ces résultats se résument sur la figure 11-2 qui suit.

figure 11-2 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue du recours aux types et supports de représentations externes



11.1.3. Visualisation spatiale et nature des actions initiées

Nous avons, à travers les hypothèses 2-1 et 2-2, présumé l'existence de liens probables entre la visualisation spatiale et la nature des actions entreprises durant l'activité de co-conception. Les résultats auxquels a conduit notre démarche méthodologique, en relation avec ces hypothèses, sont présentés ci-après.

Hypothèse 2-1 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'activent plus dans des actions de production et d'évaluation de solutions.

Résultat 2-1-a : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, s'activent plus, du point de vue des durées, dans la suggestion de représentation de solutions, la remise en question de solutions, la validation-consolidation de solutions, la requête d'approbation de solutions et la requête de représentation de solutions.

Résultat 2-1-b : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles s'activent plus, du point de vue des durées, dans la représentation de solutions.

Hypothèse 2-2 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, s'investissent plus dans des actions visant une meilleure compréhension de leur part, tant du problème que des solutions.

Résultat 2-2-a : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles s'activent plus, du point de vue des durées, dans l'explicitation-précision de solutions, l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion et l'explicitation-précision du problème.

Résultat 2-2-b : il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, au sujet de l'expression d'accord, de compréhension ou d'attention, de la quête d'information sur le problème et de la requête d'expression de compréhension.

Résultat 2-2-c : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés s'activent plus, du point de vue des durées, dans la requête d'explicitation-précision de solutions.

Hypothèse 2-3 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, débutent plus tard la phase de genèse de solutions.

Résultat 2-3-a : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles s'investissent plus tôt dans la suggestion de représentation de solutions, ils adoptent également plus précocement une attitude silencieuse de réflexion.

Résultat 2-3-b : il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, au sujet des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème, de requête d'approbation de solutions, d'explicitation précision du problème, de suggestion d'organisation, de validation-consolidation de solutions, de remise en question de solutions, d'explicitation-précision de solutions, de requête d'explicitation-précision de solutions, d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, et de la tenue de propos suspendus ou indéterminés.

Résultat 2-3-c : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés se livrent plus tôt à la représentation de solutions.

Concernant l'hypothèse 2-1, le résultat 2-1-a corrobore l'aspect lié à l'évaluation de solution. Les actions de remise en question de solutions, de validation-consolidation de solutions et de requête d'approbation de solutions ont plutôt trait à l'évaluation de ces dernières. Cependant, en ce qui concerne la production de solutions proprement dite, il convient de relever que le résultat 2-1-b va à l'encontre de l'hypothèse 2-1, les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus faibles cumulant des durées plus importantes de ce point de vue. À cet égard, une précision mérite cependant d'être faite. La position dominante des apprenants avec les capacités spatiales les plus importantes, quant aux durées des actions de suggestion de représentation de solutions et de requête de représentation de solutions, pourrait être prise en compte en faveur de l'hypothèse 2-1 ; en réalité ces actions semblent contribuer ou inciter à la production de solutions.

À propos de l'hypothèse 2-2, le résultat 2-2-a va dans le sens de sa consolidation ; les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles s'activant plus, relativement aux durées, dans les actions d'explicitation-précision de solutions, d'explicitation-précision du problème et d'adoption d'attitude silencieuse de réflexion. Cependant, le résultat 2-2-b, relatif aux actions de quête d'information sur le problème, d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension et de requête d'expression de compréhension ne participe pas au renforcement de l'hypothèse 2-2. La quête d'information sur le problème s'inscrivant dans le registre des actions qui visent la compréhension du problème. Les actions d'expression de compréhension et celles de requête d'expression de compréhension participent de la vérification ou de l'expression de compréhension. Qui plus est, le résultat 2-2-c va à l'encontre de l'hypothèse 2-2. Il faut cependant, par rapport à l'hypothèse 2-2, remarquer le double bénéfice des actions d'explicitation-précision de solution, d'explicitation-précision du problème et de requête d'explicitation-précision de solution. Ces actions participent à l'amélioration de la compréhension chez le co-équipier, mais pas seulement car elles affectent également de manière positive le niveau de compréhension de l'apprenant qui en est l'initiateur.

Le tableau 11-3 qui suit, résume les résultats tirés des traitements mis en œuvre dans le but de tester les hypothèses 2-1 et 2-2, en lien avec les durées cumulées. S'y retrouvent donc les éléments des résultats 2-1-a, 2-1-b, 2-1-c, 2-2-a et 2-2-b, mais pas seulement. Notons la présence de deux éléments de résultats en relation avec la gestion de l'activité. Il s'agit des suggestions d'organisation et des apports de support ou outil de travail. Un troisième élément concerne la tenue de propos suspendus ou indéterminés. Cette suspension résulte soit d'une

interruption par le co-équipier, le caractère indéterminé quant à lui renvoie à des distorsions phoniques. Par rapport aux durées cumulées des actions d'apport de support ou outil de travail et des suggestions d'organisation, il n'est pas relevé de différence entre les apprenants selon les niveaux de capacités spatiales. Il en est de même pour les propos suspendus ou indéterminés.

tableau 11-3: Synthèse des différences entre les classes E et f quant aux durées cumulées d'investissement dans les actions de co-conception

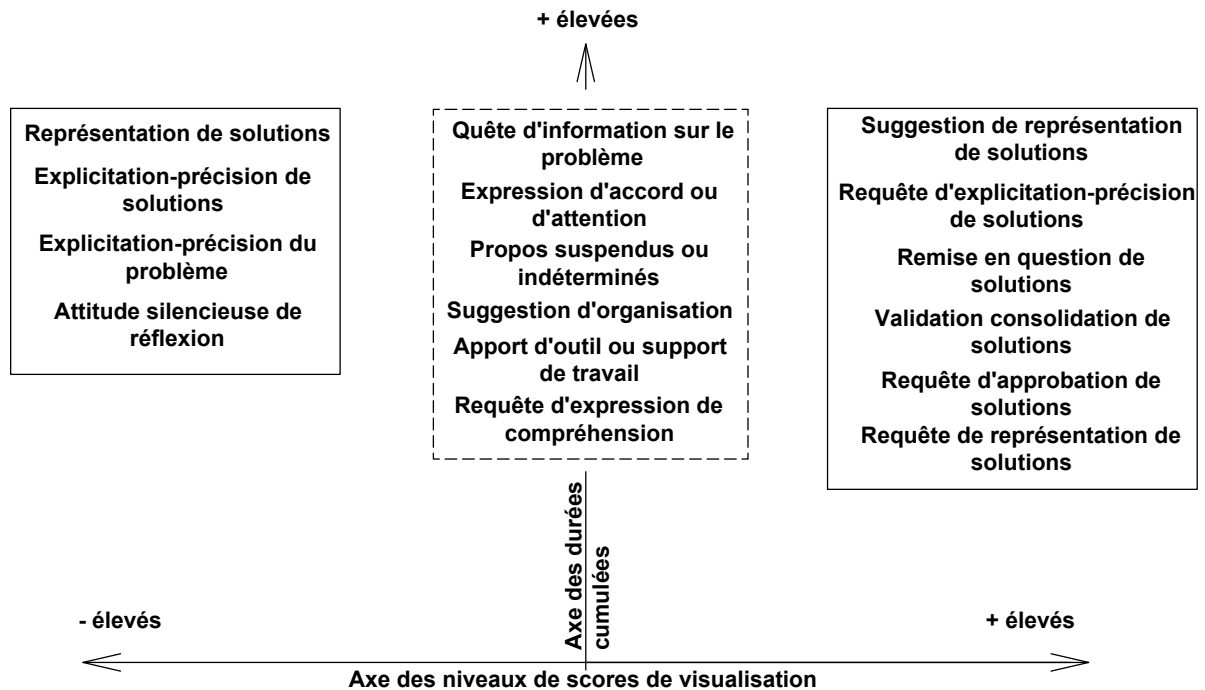
Représentation de solutions	Classe E < Classe f
Explicitation-précision de solutions	Classe E < Classe f
Suggestion de représentation de solutions	Classe E > Classe f
Requête d'explicitation-précision de solutions	Classe E > Classe f
Remise en question de solutions	Classe E > Classe f
Validation-consolidation de solutions	Classe E > Classe f
Requête d'approbation de solutions	Classe E > Classe f
Explicitation-précision du problème	Classe E < Classe f
Quête d'information sur le problème	Classe E = Classe f
Expression d'accord, d'attention ou de compréhension	Classe E = Classe f
Attitude silencieuse de réflexion	Classe E < Classe f
Propos suspendus ou indéterminés	Classe E = Classe f
Suggestion d'organisation	Classe E = Classe f
Apport d'outil ou support de travail	Classe E = Classe f
Requête de représentation de solutions	Classe E > Classe f
Requête d'expression de compréhension	Classe E = Classe f

Classe E : capacités spatiales les plus élevées

Classe f : capacités spatiales les plus faibles

La figure 11-3 qui suit reprend sous une forme graphique et résume les éléments de résultats présentés dans ce qui précède.

figure 11-3 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées d'initiation d'actions de co-conception



Les résultats 2-3-a et 2-3-b et 2-3-c tendent à corroborer l'hypothèse 2-3, avec cependant quelques nuances. Le résultat 2-3-a révèle le fait que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles s'engagent de manière plus précoce dans la suggestion de représentation de solution. Ce type d'action s'inscrit dans la contribution à la représentation de solutions. De même, le résultat 2-3-b indiquant la non mise en évidence d'une quelconque différence entre classes d'apprenants en ce qui concerne les instants de survenue des actions d'explicitation-précision et de requête d'explicitation-précision de solutions, qui sont des éléments de genèse ou d'incitation à la genèse de solutions, ne vont pas dans le sens de l'hypothèse 2-3. Toutefois, le résultat 2-3-c s'accorde avec l'hypothèse 2-3 car il établit que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées s'investissent plus tôt dans la représentation de solutions.

Les résultats présentés dans le développement qui précède et relatifs aux instants de survenue des actions de co-conception initiées par les apprenants, sont consignés sous une forme synthétique dans le tableau 11-4 qui suit.

tableau 11-4: Synthèse des différences entre les classes E et f quant aux instants de survenue des actions de co-conception

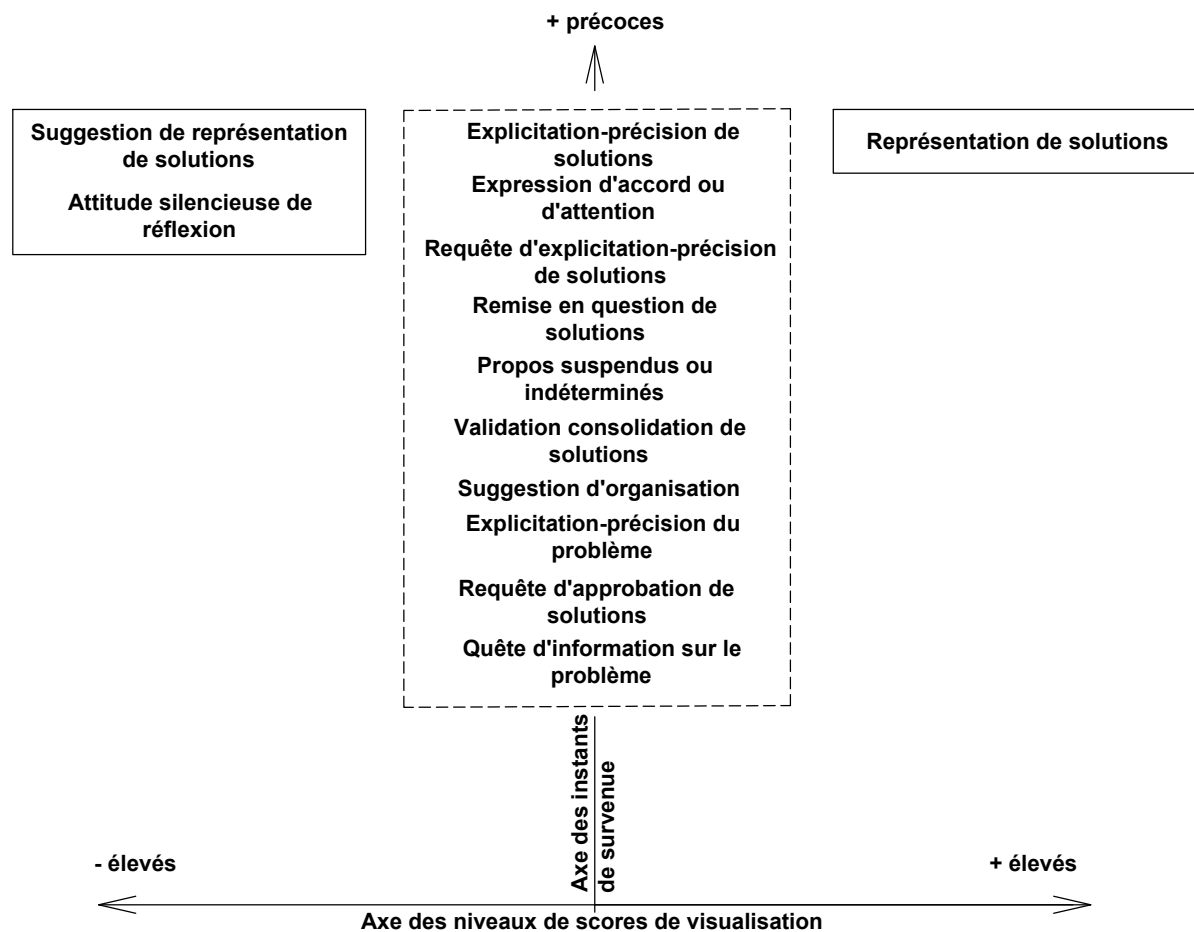
Représentation de solutions	Classe E < Classe f
Explicitation-précision de solutions	Classe E = Classe f
Suggestion de représentation de solutions	Classe E > Classe f
Requête d'explicitation-précision de solutions	Classe E = Classe f
Remise en question de solutions	Classe E = Classe f
Validation-consolidation de solutions	Classe E = Classe f
Requête d'approbation de solutions	Classe E = Classe f
Explicitation-précision du problème	Classe E = Classe f
Quête d'information sur le problème	Classe E = Classe f
Expression d'accord, d'attention ou de compréhension	Classe E = Classe f
Attitude silencieuse de réflexion	Classe E > Classe f
Propos suspendus ou indéterminés	Classe E = Classe f
Suggestion d'organisation	Classe E = Classe f
Apport d'outil ou support de travail	Classe E = Classe f
Requête de représentation de solutions	Classe E = Classe f
Requête d'expression de compréhension	Classe E = Classe f

Classe E : capacités spatiales les plus élevées

Classe f : capacités spatiales les plus faibles

La figure 11-4 qui suit est la déclinaison graphique des résultats dont il est question dans ce qui précède. Elle comporte un axe horizontal des niveaux de capacités spatiales croissants de gauche à droite et un axe vertical des instants de survenue décroissants de bas en haut. Trois zones y sont distinguées : une centrale, une à droite et une dernière à gauche. La zone centrale regroupe les actions pour lesquelles il n'est pas établi de différence entre classes d'apprenants quant aux instants de survenue. Dans la zone de droite se retrouvent les actions précocement initiées par les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées. La zone de gauche centralisant les actions qui sont, de manière précoce, le fait des apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles.

figure 11-4 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue d'actions de co-conception



Un retour à la question 2, nous permet de rappeler qu'elle adressait l'existence de rapports probables entre la nature des actions initiées durant l'activité et les capacités spatiales des apprenants qui en sont les auteurs. Cette question revêt deux aspects : un premier aspect relevant des durées cumulées dans ces actions et un second en lien avec les instants où elles surviennent. À cette question, nous apportons une réponse affirmative, qui mérite cependant quelques précisions.

Du point de vue des durées cumulées, il est intéressant de noter que les apprenants qui présentent les capacités spatiales les plus élevées sont plus actifs dans les actions visant l'évaluation des solutions et celles incitant ou contribuant à l'explicitation et à la représentation de solutions. De manière précise pour ces apprenants, les actions de remise en question de solutions, de requête d'approbation de solutions et de validation-consolidation de solutions concernent de manière générale l'évaluation de solutions. Quant aux actions de suggestion de représentation de solutions, de requête d'explicitation-précision

de solutions et de requête de représentation de solutions, elles encouragent ou contribuent à la représentation et à l'explicitation des solutions. À l'instar des apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, ceux qui ont les capacités spatiales les plus faibles, en ce qui concerne les durées, se consacrent de manière dominante à certains types d'actions. Il s'agit de la représentation de solutions, de l'explicitation-précision de solutions, l'explicitation-précision du problème et l'adoption d'attitudes silencieuses de réflexion. Il convient toutefois de préciser que les nombres d'occurrences des actions de représentation de solutions et d'explicitations de solution sont plus faibles dans cette catégorie d'apprenants. Cela signifierait que les actions de cette catégorie qu'ils entreprennent ont des durées plus longues. En dehors des types d'actions plutôt en rapport avec les capacités spatiales élevées et celles qui le sont avec les capacités spatiales faibles, certains types d'action ne sont pas de manière nette catégorisées de ce point de vue. Cette troisième catégorie d'actions renferme l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, la tenue de propos suspendus ou indéterminés, la suggestion d'organisation et la quête d'information sur le problème.

Par rapport aux instants de survenue des actions, notons que les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles, comparés à ceux dont les capacités spatiales sont les plus élevées, débutent plus tard la représentation de solutions. Par contre, de manière plus précoce, ils suggèrent la représentation de solutions et adoptent une attitude silencieuse de réflexion. Contrairement à ce qui précède, il n'est pas établi de différence entre les apprenants des classes E et f, en termes d'instant de survenue des actions de quête d'information sur le problème, de requête d'approbation de solutions, d'explicitation précision du problème, de suggestion d'organisation, de validation-consolidation de solutions, de remise en question de solutions, d'explicitation-précision de solutions, de requête d'explicitation-précision de solutions, d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, et de la tenue de propos suspendus ou indéterminés.

11.1.4. Visualisation spatiale et types de représentations externes appuyant les actions

Les hypothèses 3-1 à 3-4 concernent les liens supposés entre capacités spatiales et nature des représentations externes mobilisées, en termes de durées cumulées, en soutien à chacun des types d'actions de co-conception. Les hypothèses 3-5 et 3-6 présument quant à elles des

liens de même nature, mettant l'accent sur les instants de survenue des dites actions. Nous revenons ici sur les résultats auxquels les traitements mis en œuvre nous ont conduit.

Hypothèse 3-1 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier.

Résultat 3-1-a : les apprenants avec les scores de visualisation spatiale les plus faibles mobilisent plus, en termes de durées, des représentations externes planes ou sur support papier en soutien aux actions d'explicitation-précision de problème.

Résultat 3-1-b : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes planes ou sur support papier en vue de quérir de l'information sur le problème.

Hypothèse 3-2 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, initient plus des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques.

Résultat 3-2 : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes spatiales ou sur support numérique soutenant l'explicitation-précision du problème.

Hypothèse 3-3 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, sont ceux qui ont le plus recours aux représentations planes ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.

Résultat 3-3-a : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, ont plus recours, du point de vue des durées, aux représentations externes planes ou sur papier en soutien à la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions, comparés à ceux avec les scores les plus faibles.

Résultat 3-3-b : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, ont plus recours, du point de vue des durées, aux représentations externes planes ou sur papier dans le but de représenter des solutions, comparés à ceux avec les scores les plus élevés.

Résultat 3-3-c : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, ont plus recours, du point de vue des durées, aux représentations externes sur papier en soutien à l'explicitation-précision de solutions, comparés à ceux avec les scores les plus élevés.

Résultat 3-3-d : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes planes ou sur support papier soutenant la validation-consolidation de solutions.

Résultat 3-3-e : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes planes en soutien à l'explicitation-précision de solutions.

Hypothèse 3-4 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.

Résultat 3-4-a : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, ont plus recours, du point de vue des durées, aux représentations externes spatiales ou sur support numérique en soutien à la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions, comparés à ceux avec les scores les plus faibles.

Résultat 3-4-b : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, ont plus recours, du point de vue des durées, aux représentations externes sur supports numériques en soutien aux requêtes d'approbation de solutions et aux requêtes de représentation de solutions, comparés à ceux avec les scores les plus faibles.

Résultat 3-4-c : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles, ont plus recours, du point de vue des durées, aux représentations externes spatiales ou sur support numérique en soutien à la représentation de solutions et à l'explicitation-précision de solutions, comparés à ceux avec les scores les plus élevés.

Résultat 3-4-d : il n'est pas mis en évidence de différence significative, entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes spatiales ou sur support numérique, en soutien à la validation-consolidation de solutions.

Résultat 3-4-e : il n'est pas mis en évidence de différence significative, entre les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés et ceux dont les scores sont les plus faibles, du point de vue des durées cumulées de recours aux représentations externes spatiales, en soutien aux requêtes d'approbation de solutions et aux requêtes de représentation de solutions.

Hypothèse 3-5 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés, initient plus précocement des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature plane ou sur des supports papier.

Résultat 3-5 : il n'est pas mis en évidence de différence significative, entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions d'explicitation précision du problème ou de quête d'information sur le problème, mobilisant des représentations externes planes ou sur support papier.

Hypothèse 3-6 : Les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles initient plus tôt des actions de clarification du problème s'appuyant sur des supports de nature spatiale ou sur des supports numériques.

Résultat 3-6 : il n'est pas mis en évidence de différence significative, entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions d'explicitation précision du problème, mobilisant des représentations externes stéréoscopiques ou sur support numérique.

Hypothèse 3-7 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus élevés sont ceux qui ont le plus tôt recours aux représentations planes ou à celles sur support papier, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.

Résultat 3-7-a : les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées initient plus précocement des actions de représentation de solutions ou d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, mobilisant des représentations externes planes ou sur support papier

Résultat 3-7-b : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions, de requête d'explicitation-précision de solutions, de remise en question de solutions ou de validation-consolidation de solutions, mobilisant des représentations externes planes ou sur support papier.

Résultat 3-7-c : les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles initient plus précocement des actions de suggestion de représentation de solutions mobilisant des représentations externes planes ou sur support papier

Hypothèse 3-8 : les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui ont le plus précocement recours aux représentations spatiales ou à celles numériques, dans la représentation, l'explicitation et l'évaluation de solutions.

Résultat 3-8-a : il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux dont les capacités spatiales sont les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions de représentation de solutions, d'explicitation-précision de solutions, de requête d'explicitation-précision de solutions, de remise en question de solutions, de validation-consolidation de solutions ou de requête d'approbation de solutions, mobilisant des représentations externes spatiales ou sur support numérique.

Résultat 3-8-b : les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles initient plus précocement des actions de suggestion de représentation de solutions ou d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, mobilisant des représentations externes spatiales ou sur support numérique.

Relativement à l'hypothèse 3-1, le résultat 3-1-a est en désaccord avec ladite hypothèse et par conséquent tend à l'infirmer. Contrairement au postulat fait dans l'hypothèse 3-1, les apprenants ayant les scores de visualisation spatiale les plus faibles sont ceux qui mobilisent le plus, du point de vue des durées, les représentations externes planes et sur support papier en soutien aux actions d'explicitation-précision du problème. Le résultat 3-1-b, ne contribue guère plus à conforter l'hypothèse 3-1. Il traduit le constat d'absence de différence entre apprenants selon le niveau de capacités spatiales, relativement aux durées de recours à des représentations externes planes et sur papier aux fins de quête d'information sur le problème.

Au sujet de l'hypothèse 3-2, le résultat 3-2 présente l'absence de différence entre les deux classes d'apprenants, sous le rapport des durées de recours aux représentations externes spatiales ou sur support numérique dans le but d'explicitier-préciser les solutions.

En ce qui a trait à l'hypothèse 3-3, le résultat 3-3-a participe à la conforter. La suggestion de représentation de solution bien que ne relevant pas directement de la représentation de solutions y contribue. Il en est de même pour les requêtes d'explicitation-précision de solutions par rapport à l'explicitation de solutions. La remise en question de solutions participe de l'évaluation de solutions. Le résultat 3-3-b par contre infirme l'hypothèse 3-1, il établit que les apprenants avec les scores de visualisation les plus faibles, consacrent plus de temps à représenter des solutions planes ou sur papier, comparés à ceux avec les scores de visualisation les plus élevés. Le résultat 3-3-c va également dans le sens d'infirmer l'hypothèse 3-3. Les résultats 3-3-d et 3-3-e, ne contribuent pas non plus à conforter l'hypothèse 3-3, ils révèlent l'absence de différence entre apprenants au sujet du recours aux représentations externes planes et sur papier en vue d'explicitier-préciser des solutions ou de valider-consolider des solutions.

Pour ce qui est de l'hypothèse 3-4, les résultats 3-4-a et 3-4-b participent à la conforter, tandis que le résultat 3-4-c va plutôt dans le sens de l'infirmer. Les résultats 3-4-d et 3-4-e ne vont pas non plus dans le sens de corroborer cette hypothèse.

Les résultats 3-5 et 3-6 ne vont pas dans le sens de conforter les hypothèses 3-5 et 3-6. Ainsi, il n'est pas révélé de différence significative entre les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, à propos de la mobilisation de représentations externes planes ou sur support papier aux fins d'explicitation-précision et de quête d'information sur le problème. Il en est de même pour

la mise à contribution de représentations externes spatiales ou numériques en soutien à l'explicitation-précision de problème.

Au sujet de l'hypothèse 3-7, pour laquelle les apprenants de la classe E sont ceux qui le plus précocement recourent aux représentations externes planes ou sur support papier afin d'expliciter, de représenter ou d'évaluer les solutions, le résultat 3-7-a tend à la conforter, spécifiquement en ce qui concerne la représentation de solutions. Ce résultat révèle également que la classe E d'apprenants exprime plus tôt de l'accord ou de l'attention appuyé par des représentations externes planes ou sur support papier. Par contre, en référence au résultat 3-7-b, il n'est pas mis en évidence de différence significative, entre la classe E et la classe f, pour ce qui est des instants de survenue du recours aux représentations externes planes ou sur support papier en soutien aux actions d'explicitation-précision de solutions, à celle de remise en question de solutions ou de validation-consolidation de solutions et aux requêtes d'explicitation-précision de solutions. Par ailleurs, le résultat 3-7-c montre que les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles mobilisent plus tôt les représentations externes planes ou sur support papier, en soutien aux suggestions de représentation de solutions.

À propos de l'hypothèse 3-8, elle n'est pas corroborée par le résultat 3-8-a qui présente une absence de différence entre les classes E et f d'apprenants, dans les instants de survenue des actions de représentation de solutions, d'explicitation-précision de solutions, de requête d'explicitation-précision de solutions, de remise en question de solutions, de validation-consolidation de solutions ou de requête d'approbation de solutions, mobilisant des représentations externes spatiales ou sur support numérique. Les seules actions, au cours desquelles il est fait recours aux représentations externes spatiales ou numériques, précocement initiées par les apprenants de la classe f, sont la suggestion de représentation de solutions et l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, comme le montre le résultat 3-8-b.

Les résultats issus du traitement auquel les données ont été soumises, dans le but de tester les hypothèses 3-1, 3-2, 3-3 et 3-4 relatives aux durées cumulées, et qui ont alimenté les développements qui précèdent, sont présentés sous une forme synthétique dans le tableau 11-5, à la page 188. Comme nous l'avons remarqué pour la question 2, les résultats qui concernent les suggestions d'organisation, les apports d'outil ou support de travail et la tenue de propos suspendus ou indéterminés ne relèvent pas directement des hypothèses formulées

en relation avec la question 3. Toutefois, il s'avère que les propos suspendus ou indéterminés et les suggestions d'organisation concomitantes au recours à des représentations externes planes ou sur papier sont plus, en termes de durées, l'œuvre des apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Par rapport aux représentations externes spatiales ou numériques accompagnant les apports d'outils ou supports de travail et les suggestions d'organisation, il n'est pas mis en évidence de différence entre apprenants selon le niveau de score de visualisation. Les hypothèses 3-5, 3-6, 3-7 et 3-8 mettent l'accent sur les instants de survenue des actions mobilisant les représentations externes selon leur typologie. Ces hypothèses ont donné lieu à des traitements ayant conduit aux résultats présentés plus haut et dont la teneur est synthétisée dans le tableau 11-6, à la page 189.

À présent, il importe de recentrer notre analyse sur la question 3, qui pour rappel s'intéresse aux liens entre les capacités spatiales des apprenants et la nature des représentations externes mobilisées en soutien à chacun des types d'action. La réponse que nous formulons sur la base des résultats que nous venons de présenter est affirmative mais nuancée. Il convient de la préciser sous deux facettes : la première relevant des durées cumulées de mobilisation des différents types de représentations externes et la seconde relative aux instants de survenue de la mise à contribution des dites représentations externes. Nous structurons ces éléments de réponse en présentant successivement ceux liés aux durées de mobilisation des représentations externes planes, spatiales, sur papier et numériques. Dans la suite nous livrons la substance des réponses en relation avec les instants de survenue des mises à contribution des représentations externes planes ou sur papier, pour finir par les développements relevant des instants de survenue des recours aux représentations spatiales ou numériques, en soutien aux différentes actions.

En ce qui concerne la durée des recours aux représentations externes planes en soutien aux actions, nous relevons que les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées s'activent le plus dans la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions. A ce même sujet, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles sont ceux qui se livrent le plus à la représentation de solutions, l'explicitation-précision du problème, l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension et la suggestion d'organisation. Ils sont également ceux qui le plus adoptent une attitude silencieuse de réflexion et tiennent des propos suspendus et indéterminés.

tableau 11-5: Synthèse des différences entre les classes E et f quant aux durées cumulées de mobilisation des représentations externes en soutien aux actions de co-conception

	Recours aux représentations externes planes	Recours aux représentations externes spatiales	Recours aux supports sur papier	Recours aux supports numériques
Représentation de solutions	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f
Explicitation-précision de solutions	Classe E = Classe f	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f
Suggestion de représentation de solutions	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f
Requête d'explicitation-précision de solutions	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f
Remise en question de solutions	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f
Validation-consolidation de solutions	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Requête d'approbation de solutions	----	Classe E = Classe f	----	Classe E > Classe f
Explicitation-précision du problème	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f
Quête d'information sur le problème	Classe E = Classe f	----	Classe E = Classe f	----
Expression d'accord, d'attention ou de compréhension	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f
Attitude silencieuse de réflexion	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f	Classe E < Classe f
Propos suspendus ou indéterminés	Classe E < Classe f	----	Classe E < Classe f	----
Suggestion d'organisation	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f
Apport d'outil ou support de travail	----	Classe E = Classe f	----	Classe E = Classe f
Requête de représentation de solutions	----	Classe E = Classe f	----	Classe E > Classe f

Classe E : capacités spatiales les plus élevées Classe f : capacités spatiales les plus faibles
 ---- : non testé

tableau 11-6: Synthèse des différences entre les classes E et f quant à l'instant de survenue du recours aux représentations externes en soutien aux actions de co-conception

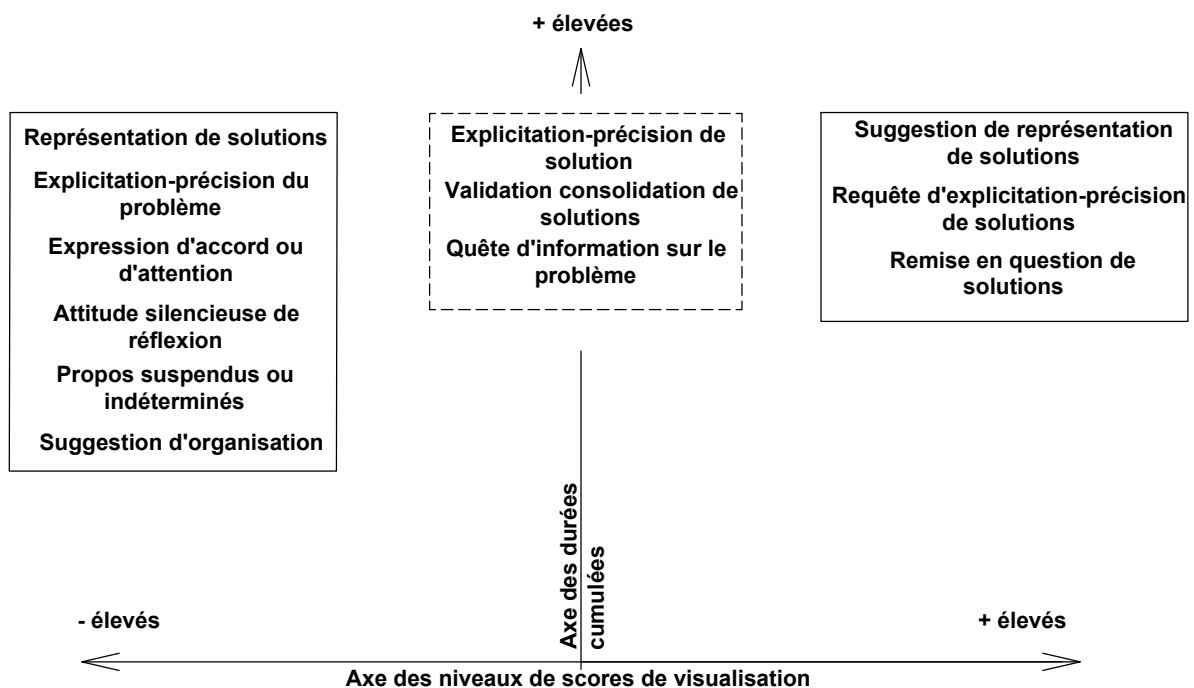
	Recours aux représentations externes planes ou sur papier	Recours aux représentations externes spatiales ou numériques
Représentation de solutions	Classe E < Classe f	Classe E = Classe f
Explicitation-précision de solutions	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Suggestion de représentation de solutions	Classe E > Classe f	Classe E > Classe f
Requête d'explicitation-précision de solutions	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Remise en question de solutions	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Validation-consolidation de solutions	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Requête d'approbation de solutions	----	Classe E = Classe f
Explicitation-précision du problème	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Quête d'information sur le problème	Classe E = Classe f	----
Expression d'accord, d'attention ou de compréhension	Classe E < Classe f	Classe E > Classe f
Attitude silencieuse de réflexion	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Propos suspendus ou indéterminés	Classe E = Classe f	----
Suggestion d'organisation	Classe E = Classe f	Classe E = Classe f
Apport d'outil ou support de travail	----	Classe E = Classe f
Requête de représentation de solutions	----	Classe E = Classe f

Classe E : capacités spatiales les plus élevées Classe f : capacités spatiales les plus faibles
 ---- : non testé

Toutefois, pour l'explicitation-précision de solutions, la validation-consolidation de solutions et la quête d'information sur le problème, mobilisant des représentations externes planes, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants avec les scores élevés et ceux avec les scores faibles, pour ce qui est des durées cumulées.

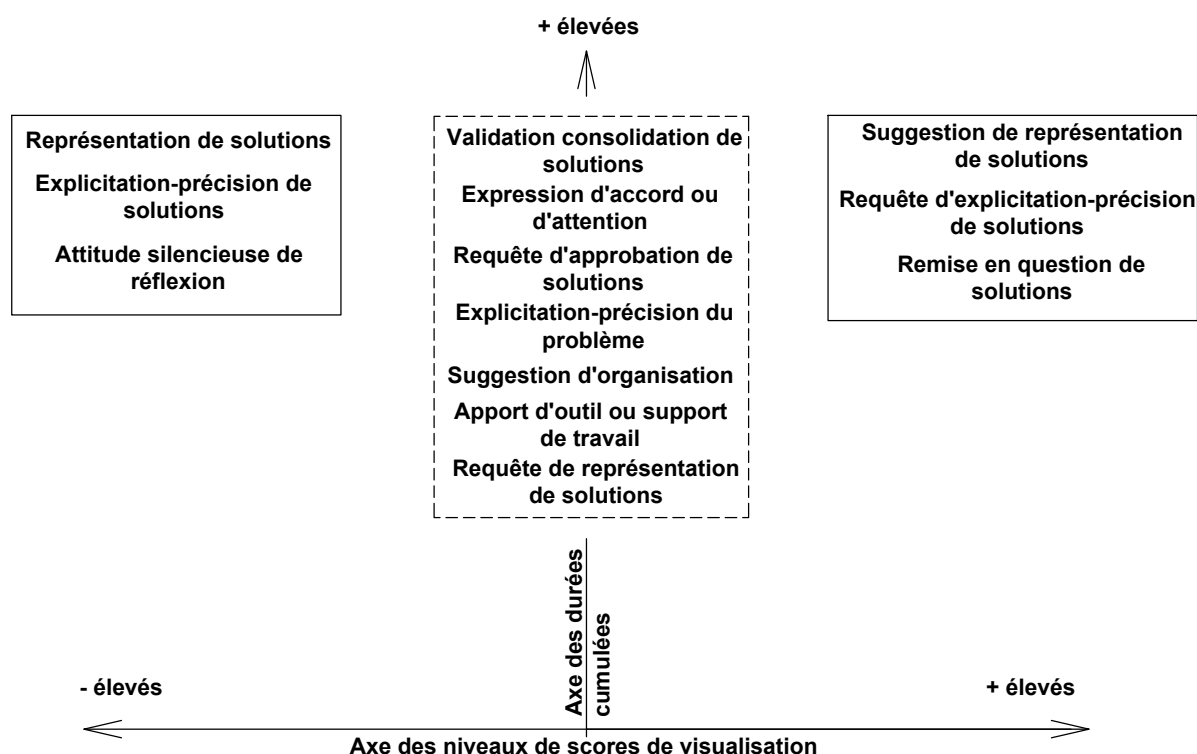
La figure 11-5 qui suit récapitule sous forme graphique les résultats présentés dans le développement qui précède, et relatifs aux liens entre les capacités spatiales des apprenants et les durées cumulées du recours aux représentations externes planes, en soutien aux différentes actions.

figure 11-5 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation de représentations externes planes en soutien aux actions de co-conception



Relativement aux durées de mise à contribution de représentations externes spatiales afin de soutenir les actions, il faut noter que les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées, sont ceux qui le plus sacrifient à la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions. Dans ce même registre, ce sont les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles qui le plus représentent les solutions, explicitent et clarifient les solutions, et adoptent des attitudes silencieuses de réflexion. Mais, il n'est pas noté de différence significative entre apprenants quant à la validation-consolidation de solutions, la requête d'approbation de solutions, l'explicitation-précision du problème, l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, la suggestion d'organisation, l'apport d'outil ou support de travail et à la requête de représentation de solution. Ces résultats se trouvent déclinés sous un aspect graphique dans la figure 11-6 ci-après.

figure 11-6 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation de représentations externes spatiales en soutien aux actions de co-conception



Pour ce qui est des durées de recours aux représentations externes sur papier en soutien aux actions, il convient de souligner que les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées s'activent le plus dans la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions. A ce même propos, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles sont ceux qui se livrent le plus à la représentation de solutions, l'explicitation-précision de solutions, l'explicitation-précision du problème, l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension et la suggestion d'organisation. Ils sont également ceux qui le plus adoptent une attitude silencieuse de réflexion et tiennent des propos suspendus et indéterminés. Toutefois, pour la validation-consolidation de solutions et la quête d'information sur le problème, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants avec les scores les plus élevés et ceux avec les scores les plus faibles. Les résultats précédents sont illustrés par la figure 11-7.

Validation consolidation de solutions
Quête d'information sur le problème

Représentation de solutions
Explicitation-précision de solution
Explicitation-précision du problème
Expression d'accord ou d'attention
Attitude silencieuse de réflexion
Propos suspendus ou indéterminés
Suggestion d'organisation

Suggestion de représentation de solutions
Requête d'explicitation-précision de solutions
Remise en question de solutions

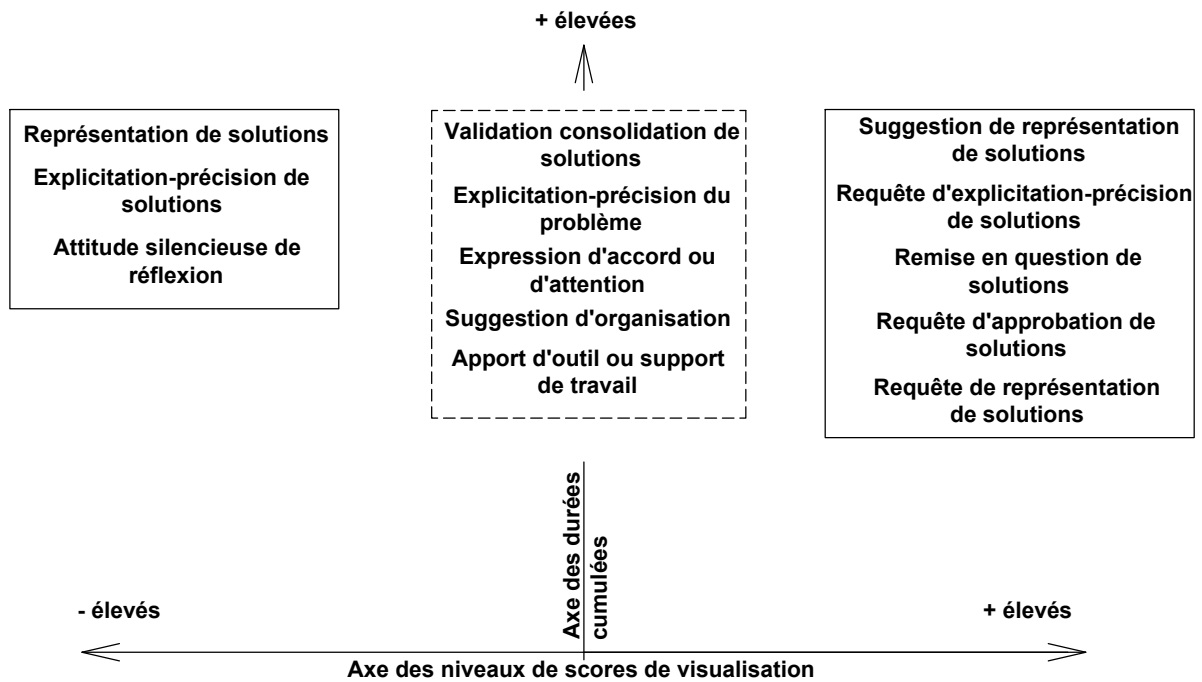
+ élevées

- élevés **+ élevés**

Axe des durées cumulées
Axe des niveaux de scores de visualisation

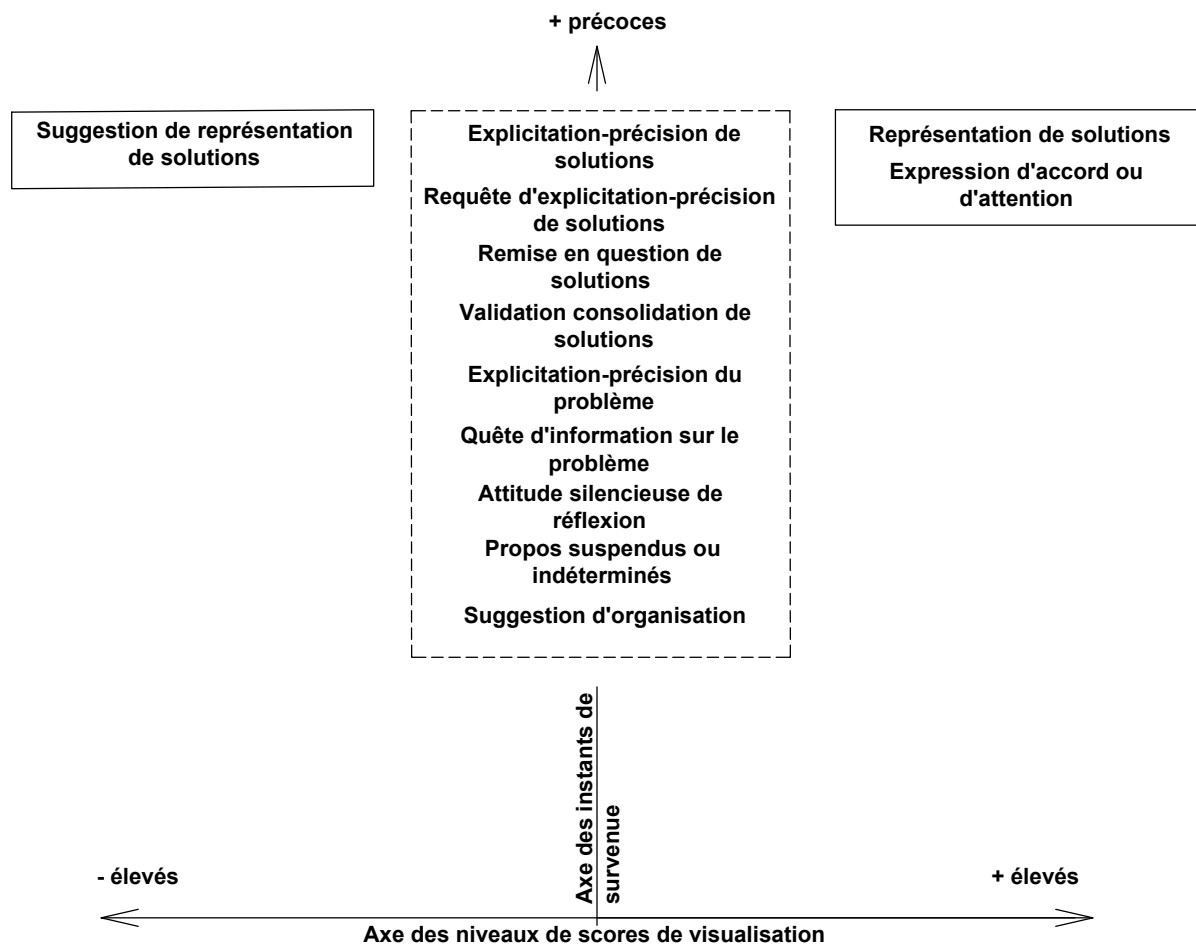
192

figure 11-8 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de recours aux représentations externes numériques en soutien aux actions de co-conception



Pour ce qui relève des instants de survenue du recours aux représentations externes planes ou sur support papier, la figure 11-9 ci-après illustre le fait que les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées mobilisent plus tôt ces représentations externes, durant l'activité de co-conception, aux fins de représentation de solutions et d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension. Nous y notons également que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles s'investissent plus tôt dans la suggestion de représentation de solutions sur la base de représentations externes planes ou sur support papier. Il faut néanmoins préciser, à la lecture de la figure susmentionnée, qu'il n'est pas mis en évidence de différence significative entre la classe E, d'apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées, et la classe f, qui regroupe les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles. Cela du point de vue des durées cumulées de mobilisation de représentations externes planes ou sur support papier, dans le but d'explicitier-préciser des solutions, de requérir l'explicitation-précision de solutions, de remettre en question des solutions, de valider-consolider des solutions, d'explicitier-préciser le problème, de quérir de l'information sur le problème, d'adopter une attitude silencieuse de réflexion, de tenir des propos suspendus ou indéterminés, ou de suggérer une forme d'organisation.

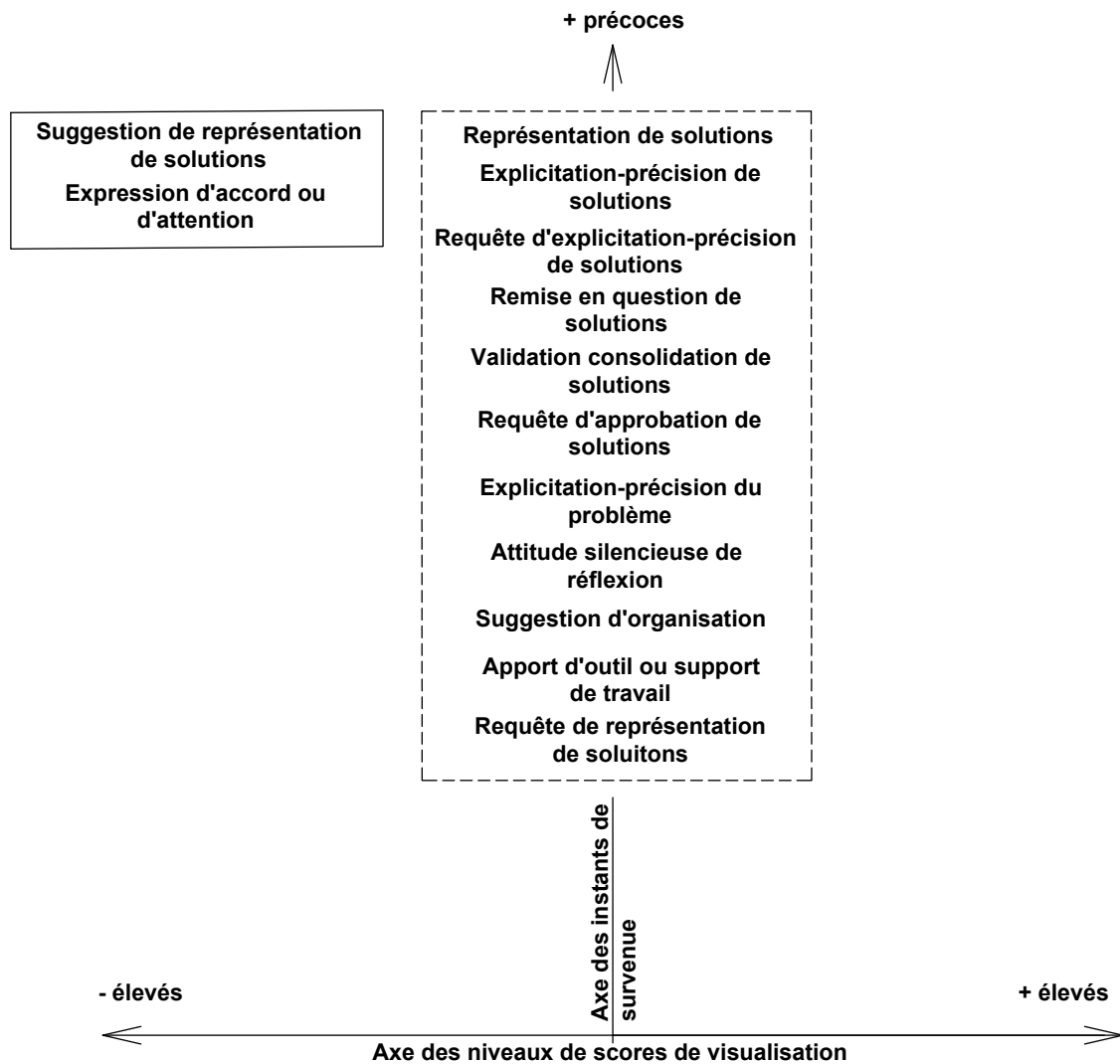
figure 11-9 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue du recours aux représentations externes planes ou sur papier en soutien aux actions de co-conception



En ce qui a trait aux instants de survenue des actions mobilisant des représentations externes stéréoscopiques ou numériques, notons que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles se livrent plus précocement à la suggestion de représentation de solutions et à l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, sur la base de ces types de représentations externes. Par contre, il n'est pas révélé de différence significative entre les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles, du point de vue des instants de survenue des actions mettant à contribution des représentations externes stéréoscopiques ou numériques aux fins d'explicitation-précision de solutions, de requête d'explicitation-précision de solutions, de remise en question de solutions, de validation-consolidation de solutions, d'explicitation-précision du problème, de quête d'information sur le problème, d'adoption d'attitude silencieuse de réflexion, de tenue de propos suspendus ou indéterminés et de suggestion

d'une forme d'organisation. Ces développements sont illustrés sous une forme graphique par la figure 11-10 ci-après.

figure 11-10 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue du recours aux représentations externes spatiales ou numériques en soutien aux actions de co-conception



11.2. Position des résultats obtenus

11.2.1. Absence de liens significatifs entre genre et visualisation spatiale

De nombreux travaux ont établi une différence en termes de capacités spatiales liée au genre, avec un avantage masculin (Cooke-Simpson & Voyer, 2007 ; Gorska, Sorby, & Leopold, 2009 ; Maeda & Yoon, 2013 ; Marunić & Glažar, 2013 ; Neuburger, Ruthsatz, Jansen, & Quaiser-Pohl, 2015 ; Voyer, Voyer, & Philip, 1995 ; Voyer et al., 1995). Contrairement à ces recherches, notre étude ne nous a pas permis de déceler des liens significatifs entre genre et capacités spatiales. Les résultats auxquels nous sommes parvenus pourraient être expliqués par les travaux montrant une réduction de l'écart entre filles et garçons, lorsqu'une formation scientifique ou technologique est suivie (Miller & Halpern, 2013). Rappelons que les apprenants qui ont participé à notre étude ont un diplôme secondaire scientifique ou technique. En outre, ils ont suivi au moins deux années de formation en électromécanique. Du point de vue des capacités spatiales, il est de manière plus générale suggéré, au-delà de la différence liée au genre, l'existence de différences interindividuelles en lien avec la nature des expériences vécues (Linn & Petersen, 1985). L'absence de significativité statistique à laquelle nos résultats nous conduisent, pourrait également être imputable à la taille de notre échantillon.

11.2.2. Parcours éducatif et capacités spatiales

Les résultats de notre étude, établissant un lien entre le diplôme secondaire obtenu et la visualisation spatiale, s'accordent avec ceux ayant montré la malléabilité des capacités visuo-spatiales (Ault & John, 2010 ; Uttal et al., 2013). Il convient de rappeler que certains types d'enseignements contribuent au développement des capacités spatiales (Gerson, Sorby, Wysocki, & Baartmans, 2001 ; Sorby, Casey, Veurink, & Dulaney, 2013 ; K. M. Ullman & Sorby, 1995). Il s'agit notamment des enseignements faisant recours aux objets 3D physiques, comme l'ont montré Kornkasem & Black (2015), de la mise à contribution d'objets virtuels numériques (Erkoc et al., 2013), de modeleurs 3D (Martín-Dorta et al., 2008) ou de la réalité virtuelle (Diplas & Komis, 2012 ; Martín-Gutiérrez et al., 2010). La nature du diplôme secondaire obtenu, et par ricochet la nature de la formation suivie, semblent être liées à la capacité de visualisation spatiale. Le caractère malléable des capacités visuo-spatiales pourrait expliquer le fait que les titulaires du baccalauréat aient des scores supérieurs aux titulaires du brevet de technicien. De surcroît, les résultats établis quant à l'influence des capacités visuo-spatiales sur la réussite dans les sciences et la technologie

(Ha & Fang, 2015 ; Hegarty, 2014 ; Hsi et al., 1997 ; Wai et al., 2009), pourraient expliquer le lien mis en évidence entre diplôme secondaire et visualisation spatiale.

11.2.3. Capacités spatiales et représentations externes

Les résultats auxquels nous sommes parvenus montrent, du point de vue de l'importance des durées, une prédominance du recours fait aux représentations spatiales ou numériques, de la part des apprenants présentant les capacités spatiales les plus élevées. De tels résultats semblent en accord avec ceux de travaux établissant que les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées tirent le plus profit et ont un niveau de réussite plus important dans le tâches mobilisant des représentations externes spatiales (Berney & Bétrancourt, 2017 ; Huk, 2006 ; Khooshabeh & Hegarty, 2010).

11.2.4. Capacités spatiales et actions initiées

Les types d'actions qui caractérisent les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées sont ceux relevant de la genèse et de l'évaluation de solutions. Les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles sont quant à eux caractérisés par l'explicitation-précision du problème et l'adoption d'attitudes silencieuses de réflexion. À propos des actions de représentation de solutions et d'explicitation-précision de solutions, une précision concernant les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles, mérite d'être faite. En effet, leurs nombres d'occurrences sont moins importants et par conséquent leurs durées ponctuelles plus longues.

Cette position dominante des apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées, eu égard aux actions de synthèse et d'évaluation de solutions, s'expliquerait par les effets positifs des capacités spatiales sur la réussite dans les STEM et les métiers connexes (Cuendet et al., 2014 ; Hsi et al., 1997 ; Wai et al., 2009), établis par des recherches antérieures. De manière spécifique en génie mécanique les liens de même nature qui ont également été mis en évidence (Ha & Fang, 2015), constitueraient un éclairage pour nos résultats. Une seconde explication de ces derniers résiderait dans les liens positifs décelés entre capacités spatiales d'une part, et créativité et innovation d'autre part (Chang, 2014 ; Kell, Lubinski, Benbow, & Steiger, 2013 ; Kozhevnikov, Kozhevnikov, Yu, & Blazhenkova, 2013 ; G. Park, Lubinski, & Benbow, 2007). Dans cette perspective, les travaux de Bonnardel (2009) ainsi que ceux de Christensen & Ball (2016) révélant, en particulier, l'importance de l'évaluation dans le processus de conception, et de manière précise dans le

développement de solutions créatives, seraient une explication plausible des résultats que nous trouvons ici. Toutefois, de tels résultats sembleraient s'opposer aux conclusions de Cho (2017) et à celles de Allen (2010), pour lesquelles il n'y aurait pas de liens entre capacités spatiales et créativité.

11.2.5. Capacités spatiales et représentations externes soutenant les actions

Nous remarquons un nombre plus important de types d'actions entreprises par les apprenants avec les capacités les plus faibles, soutenues par des représentations externes planes et sur papier, en comparaison des types d'actions initiées par les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, s'appuyant sur les mêmes types de représentations externes. À l'opposé, les types d'actions initiées par les apprenants ayant les capacités spatiales les plus élevées, soutenues par des supports numériques, qui sont dynamiques et stéréoscopiques, sont plus importants. Ce constat s'accorde avec les résultats montrant les apports des capacités spatiales dans la conception en 3D (Liao, 2017). Notamment, dans la capacité à produire à l'aide d'un modèleur, des dessins de définition en 3D de pièces constituant un ensemble représenté sous une forme plane (Branoff & Dobelis, 2013). Ce lien entre capacités visuo-spatiales et conception mécanique a trait précisément à l'effet positif qu'elles ont sur les performances en dessin technique.

11.3. Portée des résultats

L'étude que nous avons menée est plutôt descriptive, avec des échantillons de taille limitée. De ce fait, les résultats obtenus peuvent difficilement avoir en l'état, une portée allant au-delà du contexte étudié. Cette recherche avait pour ambition de jeter la lumière sur le processus de conception mécanique engageant des dyades d'apprenants. De ce point de vue, il poursuivait l'objectif de décrire l'activité, en ce qui concerne la temporalité des différentes actions en lien avec les capacités spatiales. Cette description temporelle prend en compte aussi bien les durées des actions que leur localisation temporelle dans le courant du processus.

Des 30 actions de résolution de problème, recensées et consignées dans notre grille d'encodage, seules 15 ont été prises en compte dans les traitements statistiques. Les actions restantes n'ont pas été traitées par cette étude en raison de la faiblesse de leur fréquence d'occurrence. Cela pourrait constituer une limite de notre travail, du point de vue de la

compréhension globale du processus, sachant que ces actions pourraient expliquer d'autres types d'actions survenant plus fréquemment.

En ce qui concerne les capacités spatiales, nous avons choisi un nombre donné de tests parmi d'autres en usage, malgré leur caractère multifactoriel. En nous appuyant sur la cohérence des résultats aux trois tests de mesure des capacités spatiales, nous avons poursuivi l'étude en utilisant une variable synthétique avec les risques de perte d'information que ce choix comporte.

11.4. Perspectives

Les résultats de cette étude reposant sur un échantillon de 63 apprenants, en ce qui a trait aux liens entre diplôme secondaire et capacités spatiales, elle pourrait être élargie à un échantillon plus conséquent dans le but d'en consolider la validité externe. Dans la même optique le nombre restreint de dyades étudiées durant l'activité de co-conception, 6 au total, pourrait connaître une amélioration. Ainsi la caractérisation de l'activité en fonction des capacités spatiales des individus pourrait être élargie à celles de binômes et aux écarts entre co-équipiers. Cela permettrait d'aborder la question sous un second angle avec comme unité d'analyse le binôme lui-même, caractérisé par sa moyenne de scores et l'écart entre ses membres.

Notre étude ayant focalisé sur le processus, pourrait alors s'intéresser à l'activité complète de manière à aborder la question sous l'angle du produit, se donnant l'opportunité de mener l'étude par rapport à la nature des représentations externes en plus du type comme cela a été le cas ici. Cela permettrait de mettre en lumière les relations probables entre la structure du processus, la qualité du produit et les capacités spatiales avec des développements possibles sur les liens éventuels de ces éléments avec la créativité.

Nous avons évoqué dans notre développement, la présence d'actions durant lesquelles il n'est fait recours à aucune représentation externe, sans que cette question ne soit approfondie. Il pourrait être intéressant, dans le cadre de la poursuite de ce travail, d'éclairer cette question en lien avec la typologie des actions concernées, leur temporalité et les capacités spatiales des apprenants qui en sont les auteurs.

Pour finir, il serait également intéressant, en guise d'ouverture, d'explorer la nature des manifestations relatives aux avancées neuroscientifiques en rapport avec la structure du processus de conception, les capacités spatiales et la créativité. Cela en prenant en compte les capacités spatiales et la créativité dans leur caractère multifactoriel.

CONCLUSION

Nous poursuivions dans cette étude l'objectif d'éclairer l'activité de conception co-localisée, engageant des apprenants, sous l'angle des capacités spatiales de ces derniers, des actions de résolution de problème initiées et des représentations externes qui y sont mobilisées. De manière précise, est abordée la question adressant les relations qui pourraient exister, dans une telle activité, entre les capacités visuo-spatiales des apprenants d'une part et d'autre part les actions entreprises et les représentations externes mises à contribution.

Cette recherche menée en deux phases a d'abord intéressé, dans la première, un groupe de 63 apprenants, puis s'est poursuivie avec une focalisation sur 6 dyades. La première phase consistant au recueil des caractéristiques sociodémographiques, de celles liées au parcours éducatif et à mesurer les capacités visuo-spatiales par le biais de tests. Dans la seconde phase, il s'est agi d'appréhender les actions de production de solutions et les caractéristiques des représentations externes mises à contribution à cet effet. L'analyse de cette activité s'est inspirée du modèle DeFT de Ainsworth afin d'éclairer les représentations externes. Concernant les actions, dans une première approche, les micro-stratégies identifiées par Purcell et al., reprises par Mc Neil et Gero, nous ont servi de base pour construire et enrichir notre cadre d'analyse. Le traitement des vidéos de l'activité a abouti à la comparaison de deux classes d'apprenants, caractérisés par leur niveau de capacités spatiales, qui se retrouvent identiquement répartis dans les 6 dyades.

Relativement aux capacités spatiales, aux caractères sociodémographiques et au parcours éducatif, nous soulignons, en termes de résultats, la mise en évidence de liens entre les capacités spatiales et le parcours éducatif. Par contre, notre étude n'a pas décelé de lien significatif entre capacités spatiales et genre.

En ce qui concerne l'activité de co-conception, commençons par retenir la relation, du point de vue des durées, du recours aux représentations externes fait par les apprenants avec leur niveau de capacités spatiales. Nous présentons ensuite, relativement aux actions de co-conception, l'orientation de l'activité en fonction des capacités spatiales. Enfin, est caractérisée la mobilisation des types de représentations externes en soutien aux différentes actions, selon les capacités spatiales.

Capacités spatiales élevées ou faibles : les plus jeunes devant les plus âgés, les bacheliers devant les techniciens, tandis qu'il y a une absence d'effet du niveau d'études post bac

Au sujet des capacités spatiales, l'échantillon ciblé par cette étude montre quelques particularités qu'il convient de présenter. Il est remarqué que les capacités spatiales sont liées à l'âge et au type de diplôme obtenu en fin de cycle secondaire. Ainsi, les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées sont ceux qui sont les plus jeunes. De même, ceux titulaires du baccalauréat ont des capacités spatiales plus élevées que ceux ayant obtenu le brevet de technicien. À propos du niveau d'étude, il n'est toutefois pas mis en évidence de différence significative du niveau des capacités spatiales des élèves ingénieurs (bac+5) avec celui des élèves techniciens supérieurs (bac+2).

Capacités spatiales : pas de différence entre filles et garçons

Nos résultats n'ont pas mis en évidence de différence significative entre filles et garçons, en ce qui concerne les capacités spatiales. Néanmoins, des travaux antérieurs ont montré que les garçons avaient des capacités spatiales plus élevées comparés aux filles.

Une domination des apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées dans le recours aux représentations externes stéréoscopiques ou numériques

Nous constatons, du point de vue temporel, une mise à contribution des représentations externes spatiales ou dynamiques, plus importante de la part des apprenants à capacités spatiales les plus élevées, devant ceux qui ont les capacités spatiales les plus faibles. De même, il importe de relever un aspect marquant, bien qu'il n'ait pas fait l'objet de développements dans le but d'identifier la typologie des actions concernées. Il s'agit de la prédominance, en termes de durées, des actions initiées par les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées, sans le moindre soutien d'une quelconque représentation externe. Par contre, à propos du recours aux représentations externes planes ou sur support papier, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre apprenants à capacités spatiales les plus élevées et ceux avec les capacités spatiales les plus faibles.

Actions d'évaluation et d'incitation ou de contribution à la genèse de solutions : les apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées s'illustrent

En ce qui a trait aux types d'actions auxquelles il est consacré le plus de temps, rappelons que les apprenants avec les capacités spatiales les plus importantes, s'investissent plus dans

les actions d'incitation ou de contribution à la genèse de solutions et dans celles d'évaluation de solutions. Signalons à ce propos que l'action de contribution à la genèse de solutions concernée est la suggestion de représentation de solutions. Celles relevant de l'incitation à la genèse de solutions sont : la requête d'explicitation-précision de solutions, et la requête de représentation de solutions. Quant aux actions de remise en question, de validation-consolidation et de requête d'approbation de solutions, elles renvoient à l'évaluation de solutions.

À ce propos, précisons que pour les actions de requête d'expression de compréhension il n'est pas noté de différence significative entre les apprenants ayant les scores de visualisation les plus élevés et ceux avec les scores de visualisation les plus faibles. Il en est de même pour la suggestion d'organisation et l'apport d'outil ou de support de travail qui s'inscrivent dans le registre de la gestion de l'activité.

Actions visant la compréhension du problème et des solutions : un temps plus important investi par les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles

Les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus faibles sont ceux qui consacrent le plus de temps aux actions visant la compréhension du problème et des solutions. Il s'agit de la représentation et de l'explicitation-précision de solutions, de l'explicitation-précision du problème et de l'adoption d'une attitude silencieuse de réflexion. L'importance des durées de représentation et d'explicitation-précision de solutions, jure cependant d'avec le nombre d'occurrences de ces actions qui est plus faible chez ces apprenants. Ce fait ne serait-il pas révélateur de difficultés qu'éprouveraient ces apprenants dans la représentation et l'explicitation-précision de solutions ? Il faut néanmoins soulever le fait qu'il n'ait pas été mis en évidence de différence significative, du point de vue des durées des actions de quête d'information sur le problème, d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension. Le même constat est fait pour les propos suspendus ou indéterminés.

Capacités spatiales élevées ou faibles : quelques variantes dans le type de représentations externes mobilisées en soutien à l'incitation à la production / évaluation et à la quête de compréhension

Concernant les représentations externes planes, nous relevons que les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées sont ceux qui, du point de vue temporel, y ont le plus recours en soutien à la suggestion de représentation de solutions, la requête

d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions. A ce même sujet, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles sont ceux qui se livrent le plus à la représentation de solutions, l'explicitation-précision du problème, l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension et la suggestion d'organisation, soutenues par des représentations externes planes. Concomitamment aux représentations externes de ce type, ils sont également ceux qui le plus adoptent une attitude silencieuse de réflexion et tiennent des propos suspendus et indéterminés. Toutefois, pour l'explicitation-précision de solutions, la validation-consolidation de solutions et la quête d'information sur le problème, accompagnées de représentations externes planes, il n'est pas mis en évidence de différence significative entre les apprenants avec les scores élevés et ceux avec les scores faibles.

À propos des représentations externes stéréoscopiques, il faut noter que les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées, sont ceux qui les mobilisent le plus longtemps en soutien à la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions. Dans ce même registre, ce sont les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles qui le plus, mobilisant des représentations externes spatiales, représentent, explicitent et clarifient des solutions, et adoptent des attitudes silencieuses de réflexion. Mais, il n'est pas noté de différence significative, des durées du recours aux représentations externes spatiales, fait par les apprenants, en soutien à la validation-consolidation de solutions, la requête d'approbation de solutions, l'explicitation-précision du problème, l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, la suggestion d'organisation, l'apport d'outil ou support de travail et à la requête de représentation de solutions.

Relativement aux représentations externes sur support papier, il convient de souligner que les apprenants qui ont les capacités spatiales les plus élevées sont ceux qui y recourent le plus dans la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions et la remise en question de solutions. A ce même propos, les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles sont ceux qui le plus, mobilisent ce type de représentations externes concomitamment à la représentation de solutions, l'explicitation-précision de solutions, l'explicitation-précision du problème, l'expression d'accord, d'attention ou de compréhension et la suggestion d'organisation. Ils sont également ceux qui le plus adoptent une attitude silencieuse de réflexion et tiennent des propos suspendus et indéterminés en mobilisant des représentations externes sur papier. Toutefois, pour la validation-consolidation de solutions et la quête d'information sur le

problème soutenues par le même type de représentations externes, il n'est pas mis en évidence de différence significative, relativement aux durées, entre les apprenants avec les scores élevés et ceux avec les scores faibles.

Par rapport aux durées, nous remarquons que les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus élevées, sont ceux qui le plus mobilisent les représentations externes numériques en soutien à la suggestion de représentation de solutions, la requête d'explicitation-précision de solutions, la remise en question de solutions, la requête d'approbation de solutions et la requête de représentation de solutions. Dans le même cadre, ce sont les apprenants ayant les capacités spatiales les plus faibles qui le plus, mettent à contribution des représentations externes numériques durant la représentation de solutions, l'explicitation-précision de solutions, et l'adoption d'attitudes silencieuses de réflexion. Toutefois, il n'est pas noté de différence significative entre apprenants quant aux durées de recours aux représentations externes numériques aux fins de validation-consolidation de solutions, de requête d'approbation de solutions, d'explicitation-précision du problème, d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension, de suggestion d'organisation et d'apport d'outil ou support de travail.

Ce travail descriptif caractérise les apprenants sénégalais, du point de vue des relations entre les capacités spatiales, d'une part et d'autre part, les caractères sociodémographiques (âge et genre), le parcours éducatif (diplôme secondaire et niveau d'études post bac) et la maîtrise déclarée d'outils de modélisation graphique. Une telle étude présente l'intérêt d'apporter des éléments d'éclairage du contexte sénégalais, sous un angle non encore abordé. De même la description de l'activité de conception de dyades d'apprenants, contribue à la compréhension de cette dernière en rapport avec les actions qu'ils initient, la mobilisation qu'ils font des représentations externes stéréoscopiques ou planes, sur support numérique ou papier, en soutien aux précédentes actions. L'importance de ce travail réside dans le fait qu'il incite à une définition contextualisée, selon les caractéristiques des apprenants, des objets et outils d'apprentissage en conception mécanique. Cela en raison des résultats de cette recherche montrant la domination des apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées dans le recours aux supports numériques. Ainsi de manière précise, la mise en application des prescriptions en faveur de la mise en avant des OPC numériques pourrait être infléchie de manière à les faire concourir à l'amélioration des capacités spatiales des apprenants comme le montrent les travaux de Martín-Dorta et al. (2008), Erkoc et al. (2013), Martín-Gutiérrez et al. (2013), ainsi que ceux de Diplas & Komis (2012).

En ce qui a trait aux types d'actions initiées et aux représentations externes qui les soutiennent, nous montrons que les apprenants avec les capacités spatiales les plus faibles s'investissent plus dans les actions visant une meilleure compréhension de leur part tant du problème que des solutions. Tandis que les actions liées à l'évaluation des solutions et à l'incitation à la genèse de solutions sont plus le fait des apprenants avec les capacités spatiales les plus élevées. La prise en compte de tels résultats dans l'apprentissage permettrait, en plus de celles visant l'amélioration des capacités spatiales, une définition d'activités d'apprentissage différenciées destinées à améliorer la compréhension des systèmes, la production et l'évaluation de solutions technologiques chez les apprenants dont les capacités spatiales sont les plus faibles.

BIBLIOGRAPHIE

- Acuna, A., & Sosa, R. (2011). The Complementary Role of Representations in Design Creativity : Sketches and Models. Dans *Design Creativity 2010* (p. 265–270). Consulté à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-0-85729-224-7_34
- Adams, D. M., Stull, A. T., & Hegarty, M. (2014). Effects of Mental and Manual Rotation Training on Mental and Manual Rotation Performance. *Spatial Cognition & Computation*, 14(3), 169-198. <https://doi.org/10.1080/13875868.2014.913050>
- Adanez, G. P., & Velasco, A. D. (2002). Predicting academic success of engineering students in technical drawing from visualization test scores. *Journal of Geometry and Graphics*, 6(1), 99–109.
- Afonja, A. A., Sraku-Larkey, K., & Oni, S. A. (2005). *Engineering Education for Industrial Development : Case Studies of Nigeria, Ghana and Zimbabwe*. Nairobi: African Technology Policy Studies Network.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT : A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- Alfonso, V. C., Flanagan, D. P., & Radwan, S. (2005). The Impact of the Cattell–Horn–Carroll Theory on Test Development and Interpretation of Cognitive and Academic Abilities. Dans D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Éd.), *Contemporary Intellectual Assessment, Second Edition : Theories, Tests, and Issues* (p. 18). New York, NY, US: Guilford Press.
- Allen, A. D. (2010). Complex Spatial Skills : The Link Between Visualization and Creativity. *Creativity Research Journal*, 22(3), 241-249. <https://doi.org/10.1080/10400419.2010.503530>
- Altshuller, G. (1984). *Creativity As an Exact Science* (1 edition). New York: CRC Press.
- Altshuller, G. (1999). *The Innovation Algorithm:TRIZ, systematic innovation and technical creativity* (1st edition). Worcester, Mass: Technical Innovation Ctr.
- Amigues, R., Ginestie, J., & Johsua, S. (1994). *La place de la technologie dans l'enseignement général et les recherches actuelles sur son enseignement*. Consulté à l'adresse <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/23363>
- Andreasen, M. M., Hansen, C. T., & Cash, P. (2015). *Conceptual Design*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19839-2>
- Archer, B. (1984). Systematic Method for Designers. Dans N. Cross (Éd.), *Developments in design methodology* (p. 57-82). Chichester ; New York: Wiley.
- Arcidiacono, G., Yang, K., Trewin, J., & Bucciarelli, L. (2016). Application of Axiomatic Design for Project-based Learning Methodology. *Procedia CIRP*, 53, 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.003>
- Atilola, O., Tomko, M., & Linsey, J. S. (2016). The effects of representation on idea generation and design fixation : A study comparing sketches and function trees. *Design Studies*, 42, 110-136. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.10.005>
- Ault, H. K., & John, S. (2010). Assessing and Enhancing Visualization Skills of Engineering Students in Africa : A Comprehensive Study. *Engineering Design Graphics Journal*, 74(2), 12–20.

- Béguin, P., & Pastré, P. (2002). Working, learning, interacting through simulation. *Proceedings of the 11th European Conference on Cognitive Ergonomics: cognition, culture and design*, 5–13. Consulté à l'adresse <http://tecfa.unige.ch/tecfa/teaching/aei/papiers/begpast2002.pdf>
- Benson, C. (2011). Twenty Years of Primary Design and Technology in England. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 3-11). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_1
- Berney, S., & Bétrancourt, M. (2017). Learning Three-Dimensional Anatomical Structures with Animation : Effect of Orientation References and Learners' Spatial Ability. Dans R. Lowe & R. Ploetzner (Éd.), *Learning from Dynamic Visualization* (p. 279-303). https://doi.org/10.1007/978-3-319-56204-9_12
- Blessing, L. T. M., & Chakrabarti, A. (2009). *DRM, a Design Research Methodology*. Consulté à l'adresse <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84882-587-1>
- Bodner, G. M., & Guay, R. B. (1997). The Purdue visualization of rotations test. *The Chemical Educator*, 2(4), 1–17.
- Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité : De l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. *Le travail humain*, Vol. 72(1), 5-22.
- Bonnini, S., Corain, L., Marozzi, M., & Salmaso, L. (2014). *Nonparametric Hypothesis Testing*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd.
- Branoff, T. J., & Dobelis, M. (2013). The Relationship between Spatial Visualization Ability and Students' Ability to Model 3D Objects from Engineering Assembly Drawings. *Engineering Design Graphics Journal*, 76(3). Consulté à l'adresse <http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/view/319>
- Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing Engineering Education in P-12 Classrooms. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 369-387. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00985.x>
- Brown, D. C., & Chandrasekaran, B. (1989). *Design problem solving : Knowledge structures and control strategies*. Consulté à l'adresse <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=1876963>
- Cardella, M. E., Atman, C. J., & Adams, R. S. (2006). Mapping between design activities and external representations for engineering student designers. *Design Studies*, 27(1), 5-24. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.05.001>
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities : A survey of factor-analytic studies*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Cartonnet, Y. (1999). Experimental Research on the Relations between Stereoscopic Vision and Mechanical Designers' Activities, with a View to C.A.D. Teaching. *International Journal of Technology and Design Education*, 9(2), 153-172. <https://doi.org/10.1023/A:1008884520138>
- Cartonnet, Y., & Poitou, J.-P. (1996). Compréhension des relations spatiales et cinématiques dans les dessins techniques : Influence du mode graphique et de l'expérience. *Le Travail Humain*, 59(2), 113-135.
- CEEB. (1939). *Special Aptitude Test in Spatial Relations*. USA : College Entrance Examination Board.
- Chang, Y. (2014). *3D-CAD effects on creative design performance of different spatial abilities*

students. Consulté à l'adresse
<https://xa.yimg.com/kq/groups/17978666/439103630/name/jcal12051.pdf>

- Chatoney, M., & Ginestié, J. (2011). Primary Technological Education for All in France. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 13-27). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_2
- Cho, J. Y. (2017). An investigation of design studio performance in relation to creativity, spatial ability, and visual cognitive style. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2016.11.006>
- Christensen, B. T., & Ball, L. J. (2016). Dimensions of creative evaluation : Distinct design and reasoning strategies for aesthetic, functional and originality judgments. *Design Studies*, 45, Part A, 116-136. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2015.12.005>
- Christophe, F., Bernard, A., & Coatanéa, É. (2010). RFBS : A model for knowledge representation of conceptual design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59(1), 155-158. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2010.03.105>
- Chua, K. J., Yang, W. M., & Leo, H. L. (2014). Enhanced and conventional project-based learning in an engineering design module. *International Journal of Technology and Design Education*, 24(4), 437-458. <https://doi.org/10.1007/s10798-013-9255-7>
- Clot, Y., & Béguin, P. (2004). L'action située dans le développement de l'activité. *Activites*, 01(2). <https://doi.org/10.4000/activites.1237>
- Compton, V. (2011). Technology in the Primary Sector in New Zealand. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 29-38). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_3
- Conein, B. (2004). Cognition distribuée, groupe social et technologie cognitive. *Réseaux*, no 124(2), 53-79.
- Conein, B., & Jacopin, É. (1994). Action située et cognition. Le savoir en place. *Sociologie du travail*, 36(4), 475-500. <https://doi.org/10.3406/sotra.1994.2191>
- Conseil présidentiel pour l'Enseignement supérieur et la Recherche. (2013). *Décisions présidentielles relatives à l'enseignement supérieur et à la recherche* (p. 7). Consulté à l'adresse Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche website: http://www.cres-sn.org/sites/default/files/cnaes_decisions19aout-1.pdf
- Cooke-Simpson, A., & Voyer, D. (2007). Confidence and gender differences on the Mental Rotations Test. *Learning and Individual Differences*, 17(2), 181-186. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.03.009>
- Corder, G. W., & Foreman, D. I. (2009). *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians : A Step-by-Step Approach*. <https://doi.org/10.1002/9781118165881>
- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S., Brodeur, D. R., & Edström, K. (2014). Historical Accounts of Engineering Education. Dans *Rethinking Engineering Education* (p. 231-255). Consulté à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05561-9_10
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The Informed Design Teaching and Learning Matrix. *Journal of Engineering Education*, 101(4), 738-797. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2012.tb01127.x>
- Cross, N. (2000). *Engineering design methods : Strategies for product design* (3rd ed). Chichester ; New York: Wiley.

- Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods*. Consulté à l'adresse <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0470519266.html>
- Cross, N., Christiaans, H., & Dorst, K. (1994). Design Expertise Amongst Student Designers. *Journal of Art & Design Education*, 13(1), 39-56. <https://doi.org/10.1111/j.1476-8070.1994.tb00356.x>
- Cuendet, S., Dehler-Zufferey, J., Arn, C., Bumbacher, E., & Dillenbourg, P. (2014). A study of carpenter apprentices' spatial skills. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 6(1), 3.
- Dalgaard, P. (2008). *Introductory Statistics with R*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-79054-1>
- Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le travail humain*, 72(1), 43-59.
- Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (2004). 33. Les activités de conception et leur assistance. *Hors collection*, 545-563.
- Darses, F., Falzon, P., & Munduteguy, C. (2004). 12. Paradigmes et modèles pour l'analyse cognitive des activités finalisées. *Hors collection*, 191-212.
- Depover, C., Karsenti, T., & Komis, V. (2007). *Enseigner Avec les Technologies : Favoriser les Apprentissages, Développer des Compétences*. PUQ.
- Deshpande, J. V., Naik-Nimbalkar, U., & Dewan, I. (2018). *Nonparametric statistics : Theory and methods*. New Jersey: World Scientific.
- Détienne, F., Visser, W., & Tabary, R. (2006). Articulation des dimensions graphico-gestuelle et verbale dans l'analyse de la conception collaborative. *Psychologie de l'interaction*, (21-22), 283-307.
- Devon, R., Engel, R., & Turner, G. (1998). The effects of spatial visualization skill training on gender and retention in engineering. *Journal of Women and Minorities in Science and Engineering*, 4(4). Consulté à l'adresse <http://www.dl.begellhouse.com/journals/00551c876cc2f027,1116735e14b5b29f,2b80a07f5cbe21f3.html>
- Diplas, C., & Komis, V. (2012). Spatial Abilities in Virtual Environment's Learning Spaces. *International Journal of Learning*, 18(10). Consulté à l'adresse <http://www.academia.edu/download/30950617/j35-diplas-komis-2013-spatial-habilities.pdf>
- Doppelt, Y. (2003). Implementation and Assessment of Project-Based Learning in a Flexible Environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 13(3), 255-272. <https://doi.org/10.1023/A:1026125427344>
- Dow, W. J. (2011). Technology in the Scottish Primary School. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 39-50). Rotterdam: SensePublishers.
- Eckert, C. M., Albers, A., Bursac, N., Chen, H. X., Clarkson, J., Gericke, K., ... Wynn, D. (2015, juillet 27). *Integrated product and process models : Towards an integrated framework and review*. Présenté à 20th International Conference on Engineering Design (ICED 2015), Milan. <http://oro.open.ac.uk/43910/1/integrated%20models.pdf>
- Eckert, C. M., & Stacey, M. K. (2010). What is a Process Model? Reflections on the Epistemology of Design Process Models. Dans P. Heisig, P. J. Clarkson, & S. Vajna (Éd.), *Modelling and*

Management of Engineering Processes (p. 3-14). https://doi.org/10.1007/978-1-84996-199-8_1

- Eckert, C. M., Wynn, D. C., Maier, J. F., Albers, A., Bursac, N., Xin Chen, H. L., ... Shapiro, D. (2017). On the integration of product and process models in engineering design. *Design Science*, 3. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.2>
- Eder, W. E. (1966). Definitions and Methodologies. Dans S. A. Gregory (Éd.), *The Design Method* (p. 19-31). New York: Springer Science+Business Media.
- Ekolu, S. O. (2006). *On Capacity and Quality Issues in Engineering Studies across Sub-Saharan Africa : A Review*. 7.
- Engeström, Y., Miettinen, R., & Punamäki-Gitai, R.-L. (Éd.). (1999). *Perspectives on activity theory*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological review*, 87(3), 215.
- Erkoc, M. F., Gecu, Z., & Erkoc, C. (2013). The Effects of Using Google SketchUp on the Mental Rotation Skills of Eighth Grade Students. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 13(2), 1285-1294.
- Evbuomwan, N. F. O., Sivaloganathan, S., & Jebb, A. (1996). A Survey of Design Philosophies, Models, Methods and Systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 210(4), 301-320. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1996_210_123_02
- Falzon, P., & Darses, F. (1996). La conception collective : Une approche de l'ergonomie cognitive. Dans G. de Terssac & E. Friedberg (Éd.), *Coopération et conception* (Octarès, p. 123–135). Consulté à l'adresse http://ergonomie.cnam.fr/equipe/falzon/articles_pf/concep_collect_96.pdf
- Ferguson, A. M., Maloney, E. A., Fugelsang, J., & Risko, E. F. (2015). On the relation between math and spatial ability : The case of math anxiety. *Learning and Individual Differences*, 39, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2015.02.007>
- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering design. Part I : Descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51-67. <https://doi.org/10.1007/BF01580003>
- Folcher, V., & Rabardel, P. (2004). 15. Hommes, artefacts, activités : Perspective instrumentale. *Hors collection*, 251-268.
- French, M. J. (1985). *Conceptual Design for Engineers*. Consulté à l'adresse <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-11364-6>
- Froese, M.-E., Tory, M., Evans, G.-W., & Shrikhande, K. (2013). Evaluation of static and dynamic visualization training approaches for users with different spatial abilities. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 19(12), 2810–2817.
- Gardner, H. (1997). *Formes de l'intelligence (Les)*. Odile Jacob.
- Gero, J. S. (1990). Design Prototypes : A Knowledge Representation Schema for Design. *AI Magazine*, 11(4), 26-36.
- Gero, J. S. (1996). Creativity, emergence and evolution in design. *Knowledge-Based Systems*, 9(7), 435-448. [https://doi.org/10.1016/S0950-7051\(96\)01054-4](https://doi.org/10.1016/S0950-7051(96)01054-4)
- Gero, J. S., & Kannengiesser, U. (2004). The situated function–behaviour–structure framework.

- Design Studies*, 25(4), 373-391. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2003.10.010>
- Gero, J. S., & Mc Neill, T. (1998). An approach to the analysis of design protocols. *Design Studies*, 19(1), 21-61. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00015-X)
- Géronimi, A., de Vries, E., Prudhomme, G., & Baillé, J. (2005). Objets intermédiaires dans une situation de conception en technologie avec CAO au collège. *Aster [ISSN 0297-9373]*, 2005, N° 41; pp. 115-137, 248, 252, 256 [25 p.]. <https://doi.org/10.4267/2042/8869>
- Gerson, H. B., Sorby, S. A., Wysocki, A., & Baartmans, B. J. (2001). The development and assessment of multimedia software for improving 3-D spatial visualization skills. *Computer Applications in Engineering Education*, 9(2), 105–113.
- Ginestié, J. (2006). Analysing Technology Education through the curricular evolution and the investigation themes. *International Handbook of Technology Education: Reviewing the past twenty years*, 387–398.
- Ginestié, J. (2011). How Pupils Solve Problems in Technology Education and What They Learn. Dans M. Barak & M. Hacker (Éd.), *Fostering Human Development Through Engineering and Technology Education* (p. 171-189). Consulté à l'adresse http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-6091-549-9_10
- Gorska, R., Sorby, S. A., & Leopold, C. (2009). Gender differences in visualization skills-an international perspective. *Engineering Design Graphics Journal*, 62(3). Consulté à l'adresse <http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/view/115/111>
- Goudiaby, C. (2017). *Odyssée et mutations actuelles de l'enseignement technique et professionnel au Sénégal de 1817 à 2016 : Portées et limites des modèles qui se sont succédé. perspectives de complémentarité entre modèles traditionnels et modèles nouveaux*. Dakar: L'Harmattan Sénégal.
- Ha, O., & Fang, N. (2015). Spatial Ability in Learning Engineering Mechanics : Critical Review. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 0(0), 04015014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000266](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000266)
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2002). CK theory. *Proceedings of the Herbert Simon International Conference on «Design Sciences*, 15, 16. Consulté à l'adresse <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.105.5226&rep=rep1&type=pdf>
- Hatchuel, A., & Weil, B. (2008). C-K design theory : An advanced formulation. *Research in Engineering Design*, 19(4), 181. <https://doi.org/10.1007/s00163-008-0043-4>
- Hatchuel, A., Weil, B., & others. (2003). A new approach of innovative Design : An introduction to CK theory. *DS 31: Proceedings of ICED 03, the 14th International Conference on Engineering Design, Stockholm*. Consulté à l'adresse https://www.designsociety.org/publication/24204/a_new_approach_of_innovative_design_an_introduction_to_c-k_theory
- Hegarty, M. (2014). Spatial Thinking in Undergraduate Science Education. *Spatial Cognition & Computation*, 14(2), 142-167. <https://doi.org/10.1080/13875868.2014.889696>
- Hegarty, M., Kriz, S., & Cate, C. (2003). The Roles of Mental Animations and External Animations in Understanding Mechanical Systems. *Cognition and Instruction*, 21(4), 209-249. https://doi.org/10.1207/s1532690xci2104_1
- Hegarty, M., & Sims, V. K. (1994). Individual differences in mental animation during mechanical reasoning. *Memory & Cognition*, 22(4), 411-430. <https://doi.org/10.3758/BF03200867>

- Hérol, J.-F., & Ginestier, J. (2011). Help with solving technological problems in project activities. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(1), 55-70. <https://doi.org/10.1007/s10798-009-9106-8>
- Höffler, T. N. (2010). Spatial Ability : Its Influence on Learning with Visualizations—a Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review*, 22(3), 245-269. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9126-7>
- Höffler, T. N., & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures : A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 17(6), 722-738. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.09.013>
- Hollan, J., Hutchins, E., & Kirsh, D. (2000). Distributed cognition : Toward a new foundation for human-computer interaction research. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 7(2), 174-196. <https://doi.org/10.1145/353485.353487>
- Hollander, M., & Wolfe, D. A. (1999). *Nonparametric Statistical Methods*. Wiley.
- Hsi, S., Linn, M. C., & Bell, J. E. (1997). The Role of Spatial Reasoning in Engineering and the Design of Spatial Instruction. *Journal of Engineering Education*, 86(2), 151-158. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.1997.tb00278.x>
- Hubka, V., & Eder, W. E. (1982). *Principles of engineering design* (1st English ed). London ; Boston: Butterworth Scientific.
- Huk, T. (2006). Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability. *Journal of computer assisted learning*, 22(6), 392–404.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT Press.
- Ilevbare, I. M., Probert, D., & Phaal, R. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation*, 33(2-3), 30-37. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2012.11.003>
- International Engineering Alliance. (2011). *Glossary of Terms Ver 2 : 15 September 2011*.
- Jones, J. C. (1984). A Method of Systematic Design. Dans N. Cross (Éd.), *Developments in design methodology* (p. 9-31). Chichester ; New York: Wiley.
- Julià, C., & Antolí, J. Ò. (2016). Spatial ability learning through educational robotics. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(2), 185-203. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9307-2>
- Kaptelinin, V., Kuutti, K., & Bannon, L. (1995). Activity theory : Basic concepts and applications. Dans B. Blumenthal, J. Gornostaev, & C. Unger (Éd.), *Human-Computer Interaction* (p. 189-201). https://doi.org/10.1007/3-540-60614-9_14
- Kaptelinin, V., & Nardi, B. (2012). Affordances in HCI : Toward a Mediated Action Perspective. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 967–976. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208541>
- Kaptelinin, V., & Nardi, B. A. (2006). *Acting with technology : Activity theory and interaction design*. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Kaptelinin, V., Nardi, B., Bødker, S., Carroll, J., Hollan, J., Hutchins, E., & Winograd, T. (2003). Post-cognitivist HCI : Second-wave Theories. *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 692–693. <https://doi.org/10.1145/765891.765933>
- Katsioloudis, P., Dickerson, D., Jovanovic, V., & Jones, M. (2015). Evaluation of Static Vs.

Dynamic Visualizations for Engineering Technology Students and Implications on Spatial Visualization Ability : A Quasi-Experimental Study. *Engineering Design Graphics Journal*, 79(1). Consulté à l'adresse <http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/view/416>

- Keirl, S. (2011). Caught in the Currents—The Shaping of Primary Technology Education in Australia. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 61-76). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_6
- Kell, H. J., Lubinski, D., Benbow, C. P., & Steiger, J. H. (2013). Creativity and Technical Innovation : Spatial Ability's Unique Role. *Psychological Science*, 24(9), 1831–1836.
- Kelly Jr, W. F., Branoff, T. J., & Clark, A. (2014). Spatial Ability Measurement in an Introductory Graphic Communications Course. *age*, 24, 1.
- Khooshabeh, P., & Hegarty, M. (2010). Inferring Cross-Sections : When Internal Visualizations Are More Important Than Properties of External Visualizations. *Human–Computer Interaction*, 25(2), 119-147. <https://doi.org/10.1080/07370020903586704>
- Kirsh, D. (2008). Problem Solving and Situated Cognition. Dans P. Robbins & M. Aydede (Éd.), *The Cambridge Handbook of Situated Cognition* (p. 264-306). <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816826.015>
- Kirsh, D. (2010). Thinking with external representations. *AI & SOCIETY*, 25(4), 441-454. <https://doi.org/10.1007/s00146-010-0272-8>
- Kornkasem, S., & Black, J. B. (2015). Formation of spatial thinking skills through different training methods. *Cognitive Processing*, 16(1), 281-285. <https://doi.org/10.1007/s10339-015-0707-8>
- Koschmann, T., Kuutti, K., & Hickman, L. (1998). The Concept of Breakdown in Heidegger, Leont'ev, and Dewey and Its Implications for Education. *Mind, Culture, and Activity*, 5(1), 25-41. https://doi.org/10.1207/s15327884mca0501_3
- Kozhevnikov, M., Kozhevnikov, M., Yu, C. J., & Blazhenkova, O. (2013). Creativity, visualization abilities, and visual cognitive style. *British Journal of Educational Psychology*, 83(2), 196-209. <https://doi.org/10.1111/bjep.12013>
- Kurtulus, A. (2011). Effect of Computer-Aided Perspective Drawings on Spatial Orientation and Perspective Drawing Achievement. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 10(4), 138–147.
- Lafaye de Micheaux, P., Drouilhet, R., & Liquet, B. (2014). *Le logiciel R : Maîtriser le langage : effectuer des analyses (bio)statistiques*. Paris ; Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer.
- Laisney, P., & Brandt-Pomares, P. (2014). Role of graphics tools in the learning design process. *International Journal of Technology and Design Education*, 25(1), 109-119. <https://doi.org/10.1007/s10798-014-9267-y>
- Lavoisy, O., & Vinck, D. (2000). Le dessin comme objet intermédiaire de l'entreprise. Dans P. Delchambre (Éd.), *Communications organisationnelles. Objets, pratiques et dispositifs* (p. 47-63). Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00261643>
- Le Masson, P., Weil, B., & Hatchuel, A. (2017). *Design Theory Methods and Organization for Innovation*. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg.
- Lebahar, J.-C. (2005). L'activité cognitive du sujet-concepteur. *Actes du colloque:«Le design en question (s)», Centre Pompidou*. Consulté à l'adresse <http://a.appliques.creteil.free.fr/telechargements/design/JCh%20Lebahar%20conf.pdf>

- Lebeaume, J. (2001). Chapitre 5. Pratiques socio-techniques de référence, un concept pour l'intervention didactique : Diffusion et appropriation par les enseignants de technologie. *Perspectives en éducation et formation*, 127-142.
- Lebeaume, J. (2003). Construction de la technologie pour l'école moyenne en France : Un aperçu historique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 3(1), 83-99. <https://doi.org/10.1080/14926150309556553>
- Lebeaume, J. (2011). L'éducation technologique au collège : Un enseignement pour questionner la refondation du curriculum et les réorientations des disciplines. *Éducation et didactique*, 5(2), 7-22. <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1178>
- Lebeaume, J. (2015). La dynamique de composition, fragmentation et recomposition curriculaires et disciplinaires, l'exemple de la Technologie dans le second degré en France. Dans *Sciences de la nature et de la société dans une école en mutation* (p. 51-63). De Boeck Supérieur « Perspectives en éducation et formation ».
- Leopold, C., Gorska, R. A., & Sorby, S. A. (2001). International experiences in developing the spatial visualization abilities of engineering students. *Journal for Geometry and Graphics*, 5(1), 81-91.
- Leplat, J. (2008). La conception en design industriel et en architecture. Désir, pertinence, coopération et cognition de Lebahar. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (10-2). Consulté à l'adresse <https://pistes.revues.org/2927>
- Liao, K.-H. (2017). The abilities of understanding spatial relations, spatial orientation, and spatial visualization affect 3D product design performance : Using carton box design as an example. *International Journal of Technology and Design Education*, 27(1), 131-147. <https://doi.org/10.1007/s10798-015-9330-3>
- Lindemann, U. (Éd.). (2003). *Human Behaviour in Design*. Consulté à l'adresse <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-07811-2>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability : A Meta-Analysis. *Child Development*, 56(6), 1479. <https://doi.org/10.2307/1130467>
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial Ability : A Review and Reanalysis of the Correlational Literature*. (N° TR-8). Consulté à l'adresse School of Education, Stanford University California website: <http://www.dtic.mil/docs/citations/ADA075972>
- Loi d'orientation de la formation professionnelle et technique*. , Pub. L. No. 2015-01 (2015).
- Loi n° 91-22 du 16 février 1991 portant orientation de l'Éducation nationale*. , (1991).
- Maeda, Y., & Yoon, S. Y. (2013). A Meta-Analysis on Gender Differences in Mental Rotation Ability Measured by the Purdue Spatial Visualization Tests : Visualization of Rotations (PSVT:R). *Educational Psychology Review*, 25(1), 69-94. <https://doi.org/10.1007/s10648-012-9215-x>
- March, L. (1984). The Logic of Design. Dans N. Cross (Éd.), *Developments in design methodology* (p. 265-276). Chichester ; New York: Wiley.
- Martin, P., & Velay, J.-L. (2010). Do computers improve the drawing of a geometrical figure for 10 year-old children? *International Journal of Technology and Design Education*, 22(1), 13-23. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9140-6>
- Martinand, J.-L. (1995). The purposes and methods of technological education on the threshold of

the twenty-first century. *Prospects*, 25(1), 49–56.

- Martinand, J.-L. (2003a). La question de la référence en didactique du curriculum. *Investigações em Ensino de Ciências*, 8(2), 125–130.
- Martinand, J.-L. (2003b). L'éducation technologique à l'école moyenne en France : Problèmes de didactique curriculaire. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 3(1), 101-116. <https://doi.org/10.1080/14926150309556554>
- Martín-Dorta, N., Saorín, J. L., & Contero, M. (2008). Development of a Fast Remedial Course to Improve the Spatial Abilities of Engineering Students. *Journal of Engineering Education*, 97(4), 505-513. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2008.tb00996.x>
- Martin-Gutierrez, J., Garcia-Dominguez, M., Roca Gonzalez, C., & Corrediguas, M. C. (2013). Using different methodologies and technologies to training spatial skill in Engineering Graphic subjects. *Frontiers in Education Conference, 2013 IEEE*, 362–368. Consulté à l'adresse http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6684848
- Martín-Gutiérrez, J., Luís Saorín, J., Contero, M., Alcañiz, M., Pérez-López, D. C., & Ortega, M. (2010). Design and validation of an augmented book for spatial abilities development in engineering students. *Computers & Graphics*, 34(1), 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2009.11.003>
- Marunić, G., & Glažar, V. (2013, janvier 1). *Spatial Ability of Engineering Students—Gender Differences*. Présenté à 11th International Conference on Advanced Engineering, Computer Aided Design and Manufacturing - CADAM 2013. Consulté à l'adresse <http://bib.irb.hr/prikazi-rad?rad=677120>
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities : Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.5.889>
- McGrew, K. S. (2005). The Cattell-Horn-Carroll Theory of Cognitive Abilities : Past, Present, and Future. Dans P. Flanagan & P. L. Harrison (Éd.), *Contemporary Intellectual Assessment : Theories, Tests, and Issues* (p. 136-181). New York, NY, US: Guilford Press.
- McKoy, F. L., Vargas-Hernández, N., Summers, J. D., & Shah, J. J. (2001). Influence of design representation on effectiveness of idea generation. *ASME IDETC Design Theory and Methodology Conference, Pittsburgh, PA, Sept, 9–12*. Consulté à l'adresse <http://chriswildrick.com/images/collaboration%20texts/recommended/design%20sketching.pdf>
- Mer, S., Jeantet, A., & Tichkiewitch, S. (1995). Les objets intermédiaires de la conception : Modélisation et communication. *Le communicationnel pour concevoir*, 21–41.
- Miller, D. I., & Halpern, D. F. (2013). Can spatial training improve long-term outcomes for gifted STEM undergraduates? *Learning and Individual Differences*, 26, 141-152. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.03.012>
- Mills, J. E., & Treagust, D. F. (2003). Engineering education – is problem-based or project-based learning the answer? *Australasian Journal of Engineering Education*, 2-16.
- Mioduser, D., & Betzer, N. (2007). The contribution of Project-based-learning to high-achievers' acquisition of technological knowledge and skills. *International Journal of Technology and Design Education*, 18(1), 59-77. <https://doi.org/10.1007/s10798-006-9010-4>
- Moè, A. (2009). Are males always better than females in mental rotation? Exploring a gender belief explanation. *Learning and Individual Differences*, 19(1), 21-27.

<https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.02.002>

- Mohamedbhai, G. (2015). Improving Engineering Education in Sub-Saharan Africa. *International Higher Education*, (80), 25. <https://doi.org/10.6017/ihe.2015.80.6155>
- Mohamedbhai, G. (2016). Engineering Education in Sub-Saharan Africa : Quest for Quality. *International Journal of African Higher Education*, 2(1). <https://doi.org/10.6017/ijahe.v2i1.9259>
- Musta'amal, A. H., Norman, E., & Hodgson, T. (2009). Gathering Empirical Evidence Concerning Links between Computer Aided Design (CAD) and Creativity. *Design and Technology Education*, 14(2), 53-66.
- Musta'amal, A. H., Norman, E., Jabor, M. K., & Buntat, Y. (2012). Does CAD Really Encourage Creative Behaviors among its Users : A Case Study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56, 602-608. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.694>
- Nardi, B. A. (1996). *Context and Consciousness : Activity Theory and Human-computer Interaction*. MIT Press.
- Nardi, B. A., & Zamer, C. L. (1993). Beyond Models and Metaphors : Visual Formalisms in User Interface Design. *Journal of Visual Languages & Computing*, 4(1), 5-33. <https://doi.org/10.1006/jvlc.1993.1002>
- Németh, B., & Hoffmann, M. (2006). Gender differences in spatial visualization among engineering students. *Annales Mathematicae et Informaticae*, 33, 169–174. Consulté à l'adresse <http://www.emis.ams.org/journals/AMI/2006/nemeth.pdf>
- Neuburger, S., Ruthsatz, V., Jansen, P., & Quaiser-Pohl, C. (2015). Can girls think spatially? Influence of implicit gender stereotype activation and rotational axis on fourth graders' mental-rotation performance. *Learning and Individual Differences*, 37, 169-175. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.09.003>
- Newcombe, N. S., & Shipley, T. F. (2015). Thinking About Spatial Thinking : New Typology, New Assessments. Dans *Studying Visual and Spatial Reasoning for Design Creativity* (p. 179-192). https://doi.org/10.1007/978-94-017-9297-4_10
- Newton, J. H., & McGrew, K. (2010). Introduction to the special issue : Current research in Cattell-Horn-Carroll-based assessment. *Psychology in the Schools*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/pits.20495>
- Norman, D. A. (1993). *Things that Make Us Smart : Defending Human Attributes in the Age of the Machine*. Addison-Wesley Publishing Company.
- O'Sullivan, G. (2011). Primary Technology Education in New Zealand. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 89-95). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_8
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering design : A systematic approach* (3rd ed). London: Springer.
- Park, G., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2007). Contrasting Intellectual Patterns Predict Creativity in the Arts and Sciences : Tracking Intellectually Precocious Youth Over 25 Years. *Psychological Science*, 18(11), 948-952. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.02007.x>
- Park, S. I., Lee, G., & Kim, M. (2009). Do students benefit equally from interactive computer simulations regardless of prior knowledge levels? *Computers & Education*, 52(3), 649-655. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.11.014>

- Pastré, P., Mayen, P., & Vergnaud, G. (2006). La didactique professionnelle. *Revue française de pédagogie. Recherches en éducation*, (154), 145-198. <https://doi.org/10.4000/rfp.157>
- Perry, M. (2003). Distributed Cognition. Dans *HCI models, theories, and frameworks : Toward a multidisciplinary science* (p. 193-223).
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1977). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Presses universitaires de France.
- Potter, C., & van der Merwe, E. (2001). Spatial ability, visual imagery and academic performance in engineering graphics. *International Conference on Engineering Education, Oslo, Norway*. Consulté à l'adresse <http://www.ineer.org/events/icee2001/proceedings/papers/498.pdf>
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies; approche cognitive des instruments contemporains*. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01017462/document>
- Rantanen, K., & Domb, E. (2010). *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals, Second Edition*. CRC Press.
- Rasinen, A., Ikonen, P., & Rissanen, T. (2011). Technology Education in Finnish Comprehensive Schools. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 97-105). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_9
- Rebetez, C., & Bétrancourt, M. (2007). Faut-il vraiment prôner l'interactivité dans les environnements multimédias d'apprentissage? *Actes de la conférence EIAH 2007*. Consulté à l'adresse <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00161641/>
- Robertson, B. F., & Radcliffe, D. F. (2009). Impact of CAD tools on creative problem solving in engineering design. *Computer-Aided Design*, 41(3), 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.06.007>
- Rogers, Y. (2005). New theoretical approaches for human-computer interaction. *Annual Review of Information Science and Technology*, 38(1), 87-143. <https://doi.org/10.1002/aris.1440380103>
- Rogers, Y. (2008). 57 Varieties of Activity Theory. *Interacting with Computers*, 20(2), 247-250. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2007.07.004>
- Rogers, Y. (2012). *HCI Theory: Classical, Modern, and Contemporary*. Morgan & Claypool Publishers.
- Rogers, Y., & Ellis, J. (1994). Distributed cognition : An alternative framework for analysing and explaining collaborative working. *Journal of Information Technology*, 9(2), 119-128. <https://doi.org/10.1057/jit.1994.12>
- Rubinstein, S. L. (2007). La question de la conscience et de l'activité dans l'histoire de la psychologie soviétique. Dans V. Nosulenko & P. Rabardel (Éd.), *Rubinstein aujourd'hui. Nouvelles figures de l'activité humaine* (p. 255-262). Toulouse: Octares.
- Ruiz-Dominguez, G. A. (2005). *Caractérisation de l'activité de conception collaborative à distance : Étude des effets de synchronisation cognitive* (Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG). Consulté à l'adresse <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00221509/>
- Sachse, P., Hacker, W., & Leinert, S. (2004). External thought—Does sketching assist problem analysis? *Applied Cognitive Psychology*, 18(4), 415-425. <https://doi.org/10.1002/acp.992>
- Safin, S., Leclercq, P., & Decortis, F. (2007). Impact d'un environnement d'esquisses virtuelles et d'un modèle 3D précoce sur l'activité de conception architecturale. *Revue d'Interaction*

Homme-Machine= Journal of Human-Machine Interaction, 8(2). Consulté à l'adresse <http://orbi.ulg.be/handle/2268/4967>

- Salembier, P. (2002). *Cadres conceptuels et méthodologiques pour l'analyse, la modélisation et l'instrumentation des activités coopératives situées*. 21.
- Salembier, P., Theureau, J., Zouinar, M., & Vermersch, P. (2001). *Action/Cognition située et assistance à la coopération*. 20.
- Scaife, M., & Rogers, Y. (1996). External cognition : How do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*, 45(2), 185-213. <https://doi.org/10.1006/ijhc.1996.0048>
- Schmidt, K. (1990). *Analysis of Cooperative Work*. 60.
- Schneider, W. J., & McGrew, K. S. (2012). The Cattell–Horn–Carroll Model of Intelligence. Dans D. P. Flanagan & P. L. Harrison (Éd.), *Contemporary Intellectual Assessment, Third Edition : Theories, Tests, and Issues* (p. 99-144). New York, NY, US: Guilford Press.
- Schön, D. A. (1984). Problems, frames and perspectives on designing. *Design Studies*, 5(3), 132–136.
- Schön, D. A. (1992). Designing as reflective conversation with the materials of a design situation. *Research in Engineering Design*, 3(3), 131-147. <https://doi.org/10.1007/BF01580516>
- Siampou, F., Komis, V., & Tselios, N. (2014). Online versus face-to-face collaboration in the context of a computer-supported modeling task. *Computers in Human Behavior*, 37, 369-376. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.032>
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill structured problems. *Artificial Intelligence*, 4(3), 181-201. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(73\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0004-3702(73)90011-8)
- Sorby, S. A., & Baartmans, B. J. (2000). The Development and Assessment of a Course for Enhancing the 3-D Spatial Visualization Skills of First Year Engineering Students. *Journal of Engineering Education*, 89(3), 301-307. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2000.tb00529.x>
- Sorby, S. A., Casey, B., Veurink, N., & Dulaney, A. (2013). The role of spatial training in improving spatial and calculus performance in engineering students. *Learning and Individual Differences*, 26, 20-29. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.03.010>
- Sorby, S. A., Nevin, E., Behan, A., Mageean, E., & Sheridan, S. (2014). *Spatial Skills as Predictors of Success in First-year Engineering*. Consulté à l'adresse https://www.researchgate.net/profile/Edmund_Nevin/publication/267269130_Spatial_Skills_as_Predictors_of_Success_in_First-year_Engineering/links/55113aa90cf20352196daae9.pdf
- Sorby, S. A., & Veurink, N. (2010). Long-term Results from Spatial Skills Intervention among First-Year Engineering Students. *Proceedings of the 65th Midyear Meeting of the Engineering Design Graphics Division of ASEE*. Consulté à l'adresse http://edgd.asee.org/conferences/proceedings/65th%20Midyear/Sorby_Veurink_Long_term_Results_Spatial_Skills_intervention.pdf
- Stevens, A., & Morshuizen, K. T. (2011). The Implementation of Primary Technology Education in South Africa. Dans C. Benson & J. Lunt (Éd.), *International Handbook of Primary Technology Education* (p. 107-116). https://doi.org/10.1007/978-94-6091-546-8_10
- Suchman, L. A. (2007). *Human-machine reconfigurations : Plans and situated actions*. Cambridge;

New York: Cambridge University Press.

- Suh, N. P. (1998). Axiomatic design theory for systems. *Research in engineering design*, 10(4), 189–209.
- Suh, N. P. (1999). Applications of Axiomatic Design. Dans H. Kals & F. van Houten (Éd.), *Integration of Process Knowledge into Design Support Systems* (p. 1-46). https://doi.org/10.1007/978-94-017-1901-8_1
- Suh, N. P. (2001). *Axiomatic Design : Advances and Applications*. Oxford University Press.
- Suwa, M., Gero, J., & Purcell, T. (1999). Unexpected discoveries : How designers discover hidden features in sketches. *Visual and spatial reasoning in design*, 99. Consulté à l'adresse <http://mason.gmu.edu/~jgero/publications/1999/99SuwaGeroPurcellVR99.pdf>
- Suwa, M., Gero, J., & Purcell, T. (2000). Unexpected discoveries and S-invention of design requirements : Important vehicles for a design process. *Design Studies*, 21(6), 539-567. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(99\)00034-4](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(99)00034-4)
- Suwa, M., & Tversky, B. (1997). What do architects and students perceive in their design sketches? A protocol analysis. *Design Studies*, 18(4), 385-403. [https://doi.org/10.1016/S0142-694X\(97\)00008-2](https://doi.org/10.1016/S0142-694X(97)00008-2)
- Tang, W., He, H., & Tu, X. M. (2012). *Applied Categorical and Count Data Analysis*. CRC Press.
- Tovey, M. (1989). Drawing and CAD in industrial design. *Design Studies*, 10(1), 24-39. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(89\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0142-694X(89)90022-7)
- Tseng, K.-H., Chang, C.-C., Lou, S.-J., & Chen, W.-P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>
- Ugural, A. C. (2015). *Mechanical Design of Machine Components, Second Edition*. CRC Press.
- Ullman, D. G. (2010). *The mechanical design process* (4th ed). Boston: McGraw-Hill Higher Education.
- Ullman, D. G., & Dietterich, T. A. (1987). Mechanical design methodology : Implications on future developments of Computer-Aided Design and Knowledge-Based Systems. *Engineering with Computers*, 2(1), 21-29. <https://doi.org/10.1007/BF01200174>
- Ullman, D. G., Wood, S., & Craig, D. (1990). The importance of drawing in the mechanical design process. *Computers & Graphics*, 14(2), 263-274. [https://doi.org/10.1016/0097-8493\(90\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0097-8493(90)90037-X)
- Ullman, K. M., & Sorby, S. A. (1995). Enhancing the visualization skills of engineering students through computer modeling. *Computer Applications in Engineering Education*, 3(4), 251-258. <https://doi.org/10.1002/cae.6180030407>
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills : A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*, 139(2), 352-402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- van As, F. (2018). An exploratory evaluation of a South African project-based curriculum module focused on authentic technological practice utilizing student portfolios and an open-ended questionnaire. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(1), 107-121. <https://doi.org/10.1007/s10798-018-9439-2>

- van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method : A practical guide to modelling cognitive processes*. London: Academic Press.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 47(2), 599-604. <https://doi.org/10.2466/pms.1978.47.2.599>
- Veillard, L. (2013). Les méthodologies de constitution et d'analyse des enregistrements vidéo. Dans A. Tiberghien (Éd.), *ViSA : Instrumentation de la recherche en éducation*. Consulté à l'adresse <http://books.openedition.org/editionsmsmh/1990>
- Visser, W. (2001). *Conception individuelle et collective. Approche de l'ergonomie cognitive* (Rapport de Recherche N° 4257; p. 1-19). Roqencourt: INRIA.
- Visser, W. (2004). *Dynamic aspects of design cognition : Elements for a cognitive model of design* (Rapport de Recherche N° 5144; p. 1-116). Consulté à l'adresse INRIA website: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.196.7160&rep=rep1&type=pdf>
- Visser, W. (2006). Designing as Construction of Representations : A Dynamic Viewpoint in Cognitive Design Research. *Human-Computer Interaction*, 21(1), 103-152. https://doi.org/10.1207/s15327051hci2101_4
- Visser, W. (2009). La conception : De la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le Travail Humain*, 72(1), 61-78.
- Visser, W., Darses, F., & Détienne, F. (2004). Chapitre 5. Approches théoriques pour une ergonomie cognitive de la conception. *Le Travail humain*, 97-118.
- Vogel, J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bowers, J., Bowers, C. A., Muse, K., & Wright, M. (2006). Computer Gaming and Interactive Simulations for Learning : A Meta-Analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 34(3), 229-243. <https://doi.org/10.2190/FLHV-K4WA-WPVQ-H0YM>
- Voyer, D., Voyer, S., & Philip, M. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities : A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250-270. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- Vries, M. J. de. (2005). *Teaching about technology : An introduction to the philosophy of technology for non-philosophers*. Dordrecht: Springer.
- Vries, M. J. de. (2018). Technology Education : An International History. Dans *Springer International Handbooks of Education. Handbook of Technology Education* (p. 73-84). https://doi.org/10.1007/978-3-319-44687-5_8
- Vries, M. J. de, Gumaelius, L., & Skogh, I.-B. (2016). Pre-University Engineering Education : An introduction. Dans *Pre-University Engineering Education* (p. 1-12). Springer.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society : The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains : Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 817-835. <https://doi.org/10.1037/a0016127>
- Wu, C.-F., & Chiang, M.-C. (2013). Effectiveness of applying 2D static depictions and 3D animations to orthographic views learning in graphical course. *Computers & Education*, 63, 28-42. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.11.012>
- Wynn, D. C., & Clarkson, J. (2005). Models of designing. Dans J. Clarkson & C. M. Eckert (Éd.),

Design process improvement (p. 34-59). https://doi.org/10.1007/978-1-84628-061-0_2

Wynn, D. C., & Clarkson, P. J. (2018). Process models in design and development. *Research in Engineering Design*, 29(2), 161-202. <https://doi.org/10.1007/s00163-017-0262-7>

Zacklad, M. (2003). Un cadre théorique pour guider la conception des collecticiels dans les situations de coopération structurellement ouvertes. Dans C. Bonardi, P. Georget, C. Roland-Levy, & N. Roussiau, *Press, Coll Psycho, Paris. Psychologie Sociale Appliquée, Economie, Médias et Nouvelles Technologies* (p. 135–164).

Zhang, J. (1997). *The Nature of External Representations in Problem Solving*. 39.

Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in Distributed Cognitive Tasks. *Cognitive Science*, 18(1), 87-122. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1801_3

Zhang, J., & Patel, V. L. (2006). *Distributed cognition, representation, and affordance*. 10.

LISTE DES FIGURES

figure 1-1 : Typologie des tâches de conception inspirée de Brown & Chandrasekaran (1989) et de Ullman (2010)	10
figure 5-1 : Exemple du type de question du PSVT-R	70
figure 5-2 : Exemple présentant le type de question du MCT	70
figure 5-3 : Exemple présentant le type de question du MRT	71
figure 5-4 : Dispositif de recueil des données vidéographiques	75
figure 11-1 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation des types et supports de représentations externes	172
figure 11-2 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue du recours aux types et supports de représentations externes	172
figure 11-3 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées d'initiation d'actions de co-conception	177
figure 11-4 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue d'actions de co-conception	179
figure 11-5 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation de représentations externes planes en soutien aux actions de co-conception	190
figure 11-6 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation de représentations externes spatiales en soutien aux actions de co-conception	191
figure 11-7 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de mobilisation de représentations externes sur papier en soutien aux actions de co-conception	192
figure 11-8 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et durées cumulées de recours aux représentations externes numériques en soutien aux actions de co-conception	193
figure 11-9 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue du recours aux représentations externes planes ou sur papier en soutien aux actions de co-conception	194
figure 11-10 : Synthèse graphique des liens entre capacités spatiales et instants de survenue du recours aux représentations externes spatiales ou numériques en soutien aux actions de co-conception	195
figure A.1-1 : Cycle de vie d'un produit (Ullman, 2010)	239
figure A.1-2 : Éclatement du processus de base d'après Archer (1984)	239
figure A.1-3 : Les principales phases de conception d'après Archer (1984)	239
figure A.1-4 : Processus selon le cycle production – déduction – induction (PDI) de March (1984)	240
figure A.1-5 : Processus de conception selon VDI 2221 (Pahl et al., 2007)	241
figure A.1-6 : Processus en quatre étapes selon Cross (2000)	242
figure A.1-7 : Processus de conception selon French (1985)	242
figure A.1-8 : Processus de conception selon Pahl et Beitz (2007)	243
figure A.1-9 : Cycle TRIZ de génération de solution inventives selon Rantanen & Domb (2010)	244
figure A.1-10 : Processus de conception selon le modèle axiomatique de Suh (2001)	244
figure A.1-11 : Processus de conception selon le modèle FBS de Gero (2004)	245

figure A.1-12 : Processus de conception selon le modèle FBS situé (Gero & Kannengiesser, 2004)	245
figure A.1-13 : Processus de conception selon le modèle RFBS (Christophe et al., 2010)	247
figure A.1-14 : Processus de conception selon la CK theory	249
figure A.2-1 : Structure conceptuelle et fonctionnelle des capacités selon le modèle CHC (Schneider & McGrew, 2012)	252
figure A.3-1 : Principe Vygotskyen d'activité médiée par des artefacts	254
figure A.3-2 : Structuration hiérarchique de l'activité selon Leontiev	254
figure A.3-3 : Activité dans un contexte social de collaboration selon Engeström	254
figure A.5-1 : Dessin plan réduit d'une rectifieuse de soupapes (Bals, 1991, p. 42)	260
figure A.5-2 : Schéma cinématique plan d'une rectifieuse de soupapes (Bals, 1991, p. 43)	260
figure A.5-3 : Dessin plan réduit d'un étai orientable (Bals, 1991, p. 28)	261
figure A.5-4 : Schéma cinématique spatial réduit d'un étai orientable (Bals, 1991, p. 32)	261
figure A.5-5 : Capture d'écran de l'animation du schéma cinématique spatial d'un étai orientable	262
figure A.5-6 : Dessin réaliste 3D de l'étai orientable fourni sur papier comme support à l'activité de co-conception	262
figure A.5-7 : Dispositif d'enregistrement vidéo des espaces de travail	268
figure A.5-8 : Binômes lors d'une séance de travail	268
figure A.5-9 : capture d'écran de vidéo obtenue	268
figure A.6-1 : Boîte à moustaches de l'âge des participants à l'étude (n=63)	275
figure A.6-2 : Distribution de l'âge des participants à l'étude	276
figure A.6-3 : Diagramme quantiles-quantiles de normalité de la distribution de l'âge	276
figure A.6-4 : Distribution des scores au PSVT-R, MCT, MRT et de leur moyenne	278
figure A.6-5 : Distribution des moyennes des scores au PSVT-R, MCT et MRT	279
figure A.6-6 : Diagramme quantiles-quantiles de normalité de la distribution des moyennes de scores au PSVT-R, MCT et MRT	279
figure A.7-1 : Distribution de l'âge selon la nature du diplôme secondaire obtenu	284
figure A.7-2 : Distribution de la moyenne des scores liés à la visualisation spatiale selon le diplôme secondaire obtenu	284
figure A.7-3 : Distribution de la moyenne des scores liés à la visualisation spatiale selon le niveau d'études	285
figure A.7-4 : Distribution de la moyenne des scores liés à la visualisation spatiale selon le genre	285
figure A.7-5 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks selon le diplôme obtenu	286
figure A.7-6 : Moyenne des scores de visualisation spatiale selon le niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks	286
figure A.8-1 : Distribution des durées cumulées de représentation de solutions selon le rôle au sein des équipes	287
figure A.8-2 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports numériques selon le niveau de score	288

figure A.8-3 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports spatiaux selon le niveau de score.....	289
figure A.8-4 : Distribution des durées cumulées d'absence de recours à un quelconque support selon le niveau de score	290
figure A.8-5 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports sur papier selon le niveau de score	291
figure A.8-6 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports plans selon le niveau de score.....	292
figure A.9-1 : Distribution des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score	298
figure A.9-2 : Distribution des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score	299
figure A.9-3 : Distribution des durées cumulées des actions de représentation de solutions selon le niveau de score.....	300
figure A.9-4 : Distribution des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	301
figure A.9-5 : Distribution des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score	302
figure A.9-6 : Distribution des durées cumulées des remises en question de solutions selon le niveau de score.....	303
figure A.9-7 : Distribution des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score.....	304
figure A.9-8 : Distribution des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score.....	305
figure A.9-9 : Distribution des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score.....	306
figure A.9-10 : Distribution des durées cumulées des suggestions d'organisation selon le niveau de score	307
figure A.9-11 : Distribution des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score	308
figure A.9-12 : Distribution des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions selon le niveau de score.....	309
figure A.9-13 : Distribution des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score	310
figure A.9-14 : Distribution des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	311
figure A.9-15 : Distribution des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score	312
figure A.9-16 : Distribution des instants de survenue des actions de représentation de solutions selon le niveau de score	313
figure A.9-17 : Distribution des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	314
figure A.9-18 : Distribution des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score	315

figure A.9-19 : Distribution des instants de survenue des remises en question de solutions selon le niveau de score.....	316
figure A.9-20 : Distribution des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score.....	317
figure A.9-21 : Distribution des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score.....	318
figure A.9-22 : Distribution des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score	319
figure A.9-23 : Distribution des instants de survenue des suggestions d'organisation selon le niveau de score	320
figure A.9-24 : Distribution des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score	321
figure A.9-25 : Distribution des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions selon le niveau de score.....	322
figure A.9-26 : Distribution des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score	323
figure A-10-1 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans.....	324
figure A-10-2 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports plans	325
figure A-10-3 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions sur supports plans.....	326
figure A-10-4 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de requête d'explicitation de solutions mobilisant des supports plans.....	327
figure A-10-5 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de remise en question de solutions mobilisant des supports plans.....	328
figure A-10-6 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans.....	329
figure A-10-7 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans	330
figure A-10-8 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans	331
figure A-10-9 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans.....	332
figure A-10-10 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans.....	333
figure A-10-11 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans	334
figure A-10-12 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans	335
figure A-10-13 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	336
figure A-10-14 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux	337

figure A-10-15 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	338
figure A-10-16 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports spatiaux	339
figure A-10-17 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	340
figure A-10-18 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	341
figure A-10-19 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	342
figure A-10-20 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	343
figure A-10-21 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux	344
figure A-10-22 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports spatiaux	345
figure A-10-23 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux	346
figure A-10-24 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail.....	347
figure A-10-25 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	348
figure A-10-26 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier	349
figure A-10-27 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier.....	350
figure A-10-28 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier.....	351
figure A-10-29 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier	352
figure A-10-30 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports papier	353
figure A-10-31 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions recourant à des supports papier	354
figure A-10-32 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier.....	355
figure A-10-33 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier.....	356
figure A-10-34 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier	357
figure A-10-35 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier	358
figure A-10-36 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier.....	359

figure A-10-37 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier.....	360
figure A-10-38 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	361
figure A-10-39 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques.....	362
figure A-10-40 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	363
figure A-10-41 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports numériques	364
figure A-10-42 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation de solutions mobilisant des supports numériques.....	365
figure A-10-43 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques	366
figure A-10-44 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques	367
figure A-10-45 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques	368
figure A-10-46 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques.....	369
figure A-10-47 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques	370
figure A-10-48 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques.....	371
figure A-10-49 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques.....	372
figure A-10-50 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	373
figure A-10-51 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans.....	374
figure A-10-52 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports plans	375
figure A-10-53 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions sur supports plans.....	376
figure A-10-54 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de requête d'explicitation de solutions mobilisant des supports plans	377
figure A-10-55 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de remise en question de solutions mobilisant des supports plans	378
figure A-10-56 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans.....	379
figure A-10-57 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans	380
figure A-10-58 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans.....	381

figure A-10-59 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans.....	382
figure A-10-60 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans	383
figure A-10-61 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans	384
figure A-10-62 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans	385
figure A-10-63 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	386
figure A-10-64 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	387
figure A-10-65 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	388
figure A-10-66 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'expressions d'accord ou d'attention mobilisant des supports spatiaux	389
figure A-10-67 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	390
figure A-10-68 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	391
figure A-10-69 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	392
figure A-10-70 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	393
figure A-10-71 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux	394
figure A-10-72 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports spatiaux	395
figure A-10-73 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux	396
figure A-10-74 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail.....	397
figure A-10-75 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	398
figure A-10-76 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier	399
figure A-10-77 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier.....	400
figure A-10-78 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier.....	401
figure A-10-79 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier	402
figure A-10-80 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports papier	403

figure A-10-81 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions recourant à des supports papier	404
figure A-10-82 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier	405
figure A-10-83 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier	406
figure A-10-84 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier.....	407
figure A-10-85 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier	408
figure A-10-86 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier.....	409
figure A-10-87 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier.....	410
figure A-10-88 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	411
figure A-10-89 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques.....	412
figure A-10-90 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	413
figure A-10-91 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports numériques	414
figure A-10-92 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation de solutions mobilisant des supports numériques.....	415
figure A-10-93 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques	416
figure A-10-94 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques.....	417
figure A-10-95 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques	418
figure A-10-96 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques.....	419
figure A-10-97 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques	420
figure A-10-98 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques.....	421
figure A-10-99 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques.....	422
figure A-10-100: Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	423

LISTE DES TABLEAUX

tableau 4-1 : Dimensions, composantes, variables et indicateurs de la situation de co-conception d'apprenants	59
tableau 5-1 : Organisation et logistique de prise de données de l'activité de co-conception.....	74
tableau 8-1 : Structure des équipes selon le niveau de score et le rôle des apprenants.....	100
tableau 11-1 Synthèse des différences entre les classes E et f quant à la mobilisation des représentations externes	171
tableau 11-2 : Synthèse des différences entre les classes E et f quant à l'investissement dans les actions de co-conception.....	176
tableau 11-3 : Synthèse des différences entre les classes E et f quant à la mobilisation des représentations externes en soutien aux actions de co-conception	187
tableau A.1-1 : Les différents processus du modèle FBS situé	246
tableau A.1-2 : Typologie des processus du Modèle RFBS	247
tableau A.1-3 : Différences entre enseignement de l'ingénierie et de la technologie (Vries et al., 2016)	249
tableau A.2-1 : facteurs de l'intelligence selon le modèle CHC (McGrew, 2005; Schneider & McGrew, 2012)	250
tableau A.2-2 : facteurs des capacités visuo-spatiales selon le modèle CHC (Schneider & McGrew, 2012)	253
tableau A.5-1 : Encodage de 5 minutes de vidéo par trois codeurs.....	269
tableau A.5-2 : Dictionnaire d'encodage initial	272
tableau A.5-3 : Dictionnaire d'encodage stabilisé.....	273
tableau A.6-1 : Genre des apprenants participant à l'étude.....	275
tableau A.6-2 : Âge des apprenants participant à l'étude (n = 63)	275
tableau A.6-3 : Effectifs des apprenants selon le niveau d'études	276
tableau A.6-4 : Effectifs des apprenants selon la nature du diplôme secondaire	277
tableau A.6-5 : Distribution des apprenants selon la spécialité du diplôme secondaire.....	277
tableau A.6-6 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel AutoCad	277
tableau A.6-7 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel Catia	277
tableau A.6-8 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks	277
tableau A.6-9 : Structure des résultats aux tests de visualisation spatiale (n = 63).....	278
tableau A.6-10 : Âge des apprenants impliqués dans l'activité de co-conception (n= 12)	279
tableau A.6-11 : Scores aux tests de visualisation spatiale des apprenants impliqués dans l'activité de co-conception (n = 12)	280
tableau A.6-12 : Temporalité des actions de co-conception et du recours aux représentations externes (n = 4007)	280
tableau A.6-13 : Distribution des actions durant l'activité selon l'apprenant	281
tableau A.6-14 : Distribution des actions de résolution de problème.....	281
tableau A.6-15 : Distribution des actions durant l'activité selon le binôme	282
tableau A.6-16 : Nature des représentations externes mobilisées durant l'activité.....	282

tableau A.6-17 : Distribution des actions de résolution de problème selon le support de présentation du résultat final.....	282
tableau A.6-18 : Support des représentations externes mobilisées.....	283
tableau A.6-19 : Dynamisme des représentations externes mobilisées.....	283
tableau A.6-20 : Stéréoscopie des représentations externes mobilisées.....	283
tableau A.8-1 : Distribution des actions de représentation de solutions au sein des binômes	287
tableau A.8-2 : Description des durées cumulées des actions de représentation de solution selon le niveau de score.....	288
tableau A.8-3 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports numériques selon le niveau de score	288
tableau A.8-4 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports spatiaux selon le niveau de score	289
tableau A.8-5 : Description des durées cumulées des actions ne recourant au moindre support selon le niveau de score	290
tableau A.8-6 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports papier selon le niveau de score	291
tableau A.8-7 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports plans selon le niveau de score.....	292
tableau A.9-1 : Description des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	298
tableau A.9-2 : Description des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score	299
tableau A.9-3 : Description des durées cumulées des actions de représentation de solutions selon le niveau de score.....	300
tableau A.9-4 : Description des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	301
tableau A.9-5 : Description des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score	302
tableau A.9-6 : Description des durées cumulées des remises en question de solutions selon le niveau de score	303
tableau A.9-7 : Description des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score	304
tableau A.9-8 : Description des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score	305
tableau A.9-9 : Description des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score.....	306
tableau A.9-10 : Description des durées cumulées des suggestions d'organisation selon le niveau de score	307
tableau A.9-11 : Description des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score	308
tableau A.9-12 : Description des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions selon le niveau de score	309
tableau A.9-13 : Description des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score	310

tableau A.9-14 : Description des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	311
tableau A.9-15 : Description des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score.....	312
tableau A.9-16 : Description des instants de survenue des actions de représentation de solutions selon le niveau de score	313
tableau A.9-17 : Description des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score.....	314
tableau A.9-18 : Description des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score.....	315
tableau A.9-19 : Description des instants de survenue des remises en question de solutions selon le niveau de score	316
tableau A.9-20 : Description des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score.....	317
tableau A.9-21 : Description des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score	318
tableau A.9-22 : Description des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score.....	319
tableau A.9-23 : Description des instants de survenue des suggestions d'organisation selon le niveau de score	320
tableau A.9-24 : Description des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score	321
tableau A.9-25 : Description des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions selon le niveau de score	322
tableau A.9-26 : Description des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score	323
tableau A.10-1 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans.....	324
tableau A.10-2 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports plans	325
tableau A.10-3 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions sur supports plans.....	326
tableau A.10-4 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans.....	327
tableau A.10-5 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports plans.....	328
tableau A.10-6 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans.....	329
tableau A.10-7 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans	330
tableau A.10-8 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans	331
tableau A.10-9 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans.....	332

tableau A.10-10	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans	333
tableau A.10-11	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans	334
tableau A.10-12	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans	335
tableau A.10-13	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	336
tableau A.10-14	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solution mobilisant des supports spatiaux	337
tableau A.10-15	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	338
tableau A.10-16	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions exprimant un accord ou de l'attention et mobilisant des supports spatiaux	339
tableau A.10-17	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux	340
tableau A.10-18	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	341
tableau A.10-19	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux	342
tableau A.10-20	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	343
tableau A.10-21	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux	344
tableau A.10-22	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports spatiaux	345
tableau A.10-23	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux	346
tableau A.10-24	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail.....	347
tableau A.10-25	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	348
tableau A.10-26	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions recourant à des supports papier	349
tableau A.10-27	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier.....	350
tableau A.10-28	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier	351
tableau A.10-29	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier	352
tableau A.10-30	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports papier	353
tableau A.10-31	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports papier	354

tableau A.10-32	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier.....	355
tableau A.10-33	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier	356
tableau A.10-34	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier.....	357
tableau A.10-35	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier	358
tableau A.10-36	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier.....	359
tableau A.10-37	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier.....	360
tableau A.10-38	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions sur supports numériques.....	361
tableau A.10-39	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques.....	362
tableau A.10-40	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	363
tableau A.10-41	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports numériques ...	364
tableau A.10-42	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques.....	365
tableau A.10-43	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques	366
tableau A.10-44	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques	367
tableau A.10-45	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques	368
tableau A.10-46	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques.....	369
tableau A.10-47	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques	370
tableau A.10-48	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques.....	371
tableau A.10-49	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques.....	372
tableau A.10-50	: Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques	373
tableau A.10-51	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans.....	374
tableau A.10-52	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports plans	375
tableau A.10-53	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions sur supports plans.....	376

tableau A.10-54	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans.....	377
tableau A.10-55	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports plans.....	378
tableau A.10-56	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans.....	379
tableau A.10-57	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans.....	380
tableau A.10-58	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans.....	381
tableau A.10-59	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans.....	382
tableau A.10-60	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans.....	383
tableau A.10-61	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans.....	384
tableau A.10-62	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans.....	385
tableau A.10-63	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	386
tableau A.10-64	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solution mobilisant des supports spatiaux.....	387
tableau A.10-65	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	388
tableau A.10-66	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions exprimant un accord ou de l'attention et mobilisant des supports spatiaux.....	389
tableau A.10-67	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	390
tableau A.10-68	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	391
tableau A.10-69	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	392
tableau A.10-70	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	393
tableau A.10-71	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux.....	394
tableau A.10-72	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports spatiaux.....	395
tableau A.10-73	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux.....	396
tableau A.10-74	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail.....	397
tableau A.10-75	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux.....	398

tableau A.10-76	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions recourant à des supports papier	399
tableau A.10-77	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier.....	400
tableau A.10-78	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier.....	401
tableau A.10-79	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier	402
tableau A.10-80	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports papier	403
tableau A.10-81	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports papier	404
tableau A.10-82	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier	405
tableau A.10-83	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier	406
tableau A.10-84	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier.....	407
tableau A.10-85	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier	408
tableau A.10-86	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier.....	409
tableau A.10-87	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier	410
tableau A.10-88	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions sur supports numériques.....	411
tableau A.10-89	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques.....	412
tableau A.10-90	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques.....	413
tableau A.10-91	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports numériques ...	414
tableau A.10-92	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques.....	415
tableau A.10-93	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques	416
tableau A.10-94	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques	417
tableau A.10-95	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques	418
tableau A.10-96	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques.....	419
tableau A.10-97	: Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques	420

tableau A.10-98 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques..... 421

tableau A.10-99 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques..... 422

tableau A.10-100 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques 423

ANNEXES

annexe 1. : Figures et tableaux en lien avec la théorie de la conception

figure A.1-1 : Cycle de vie d'un produit (Ullman, 2010)

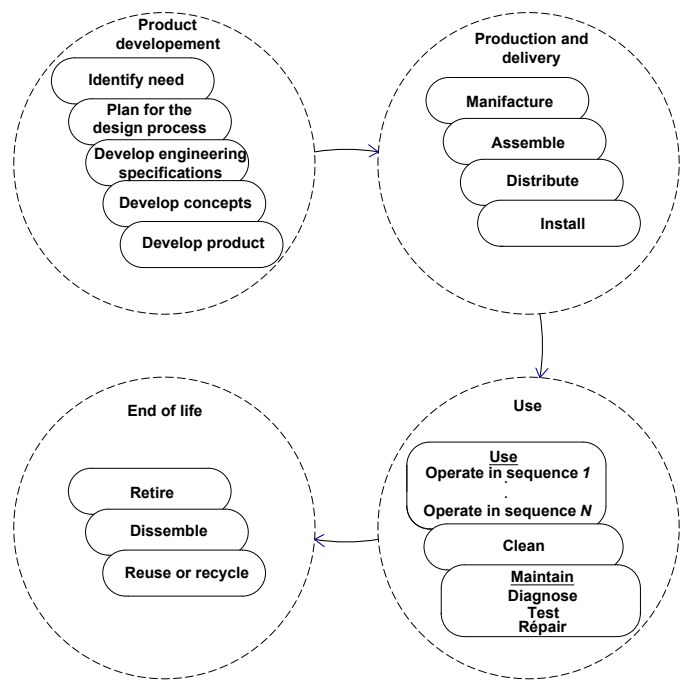


figure A.1-2 : Éclatement du processus de base d'après Archer (1984)

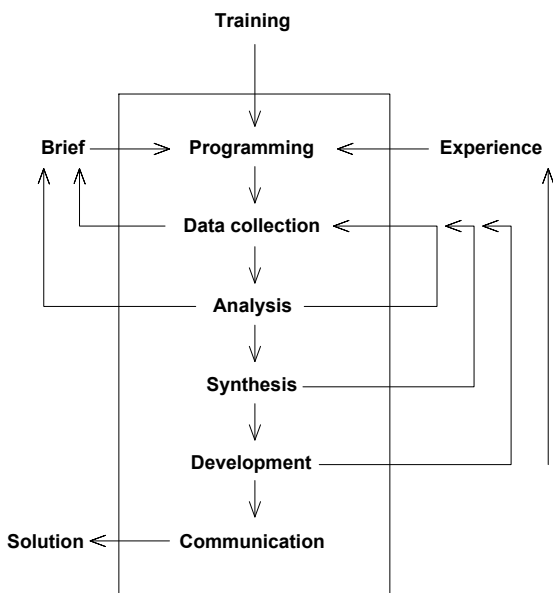


figure A.1-3 : Les principales phases de conception d'après Archer (1984)

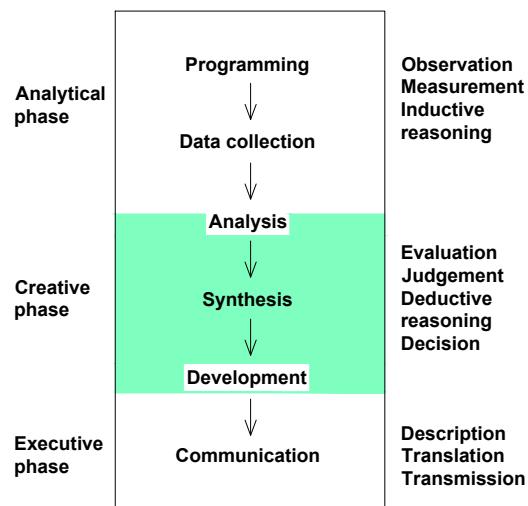


figure A.1-4 : Processus selon le cycle production – déduction – induction (PDI) de
March (1984)

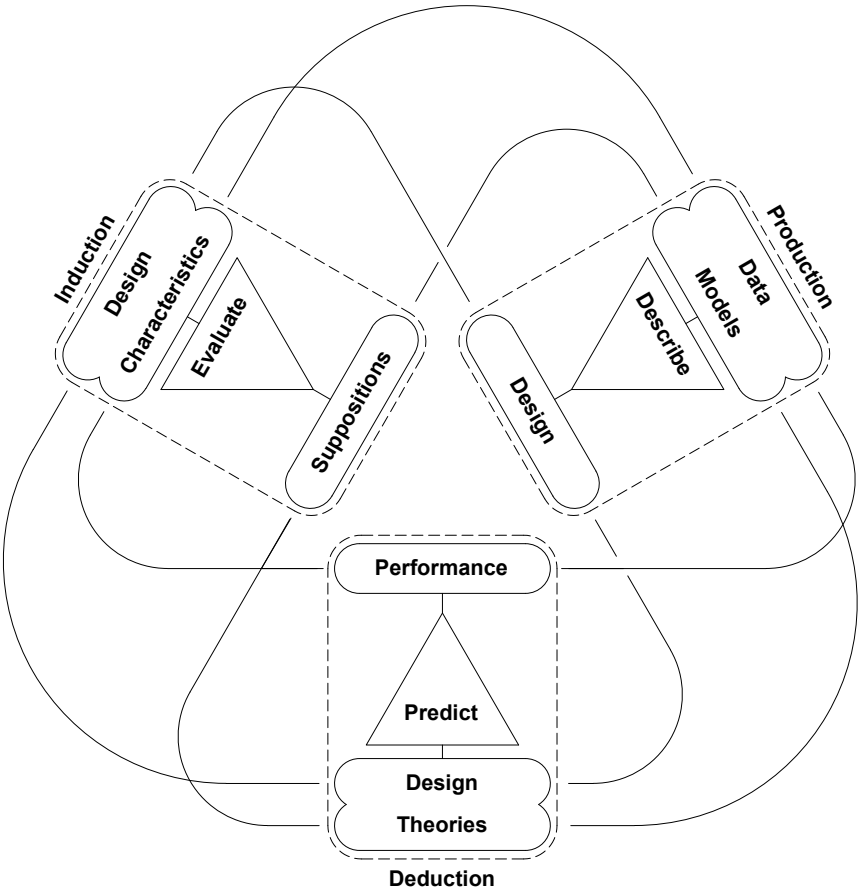


figure A.1-5 : Processus de conception selon VDI 2221 (Pahl et al., 2007)

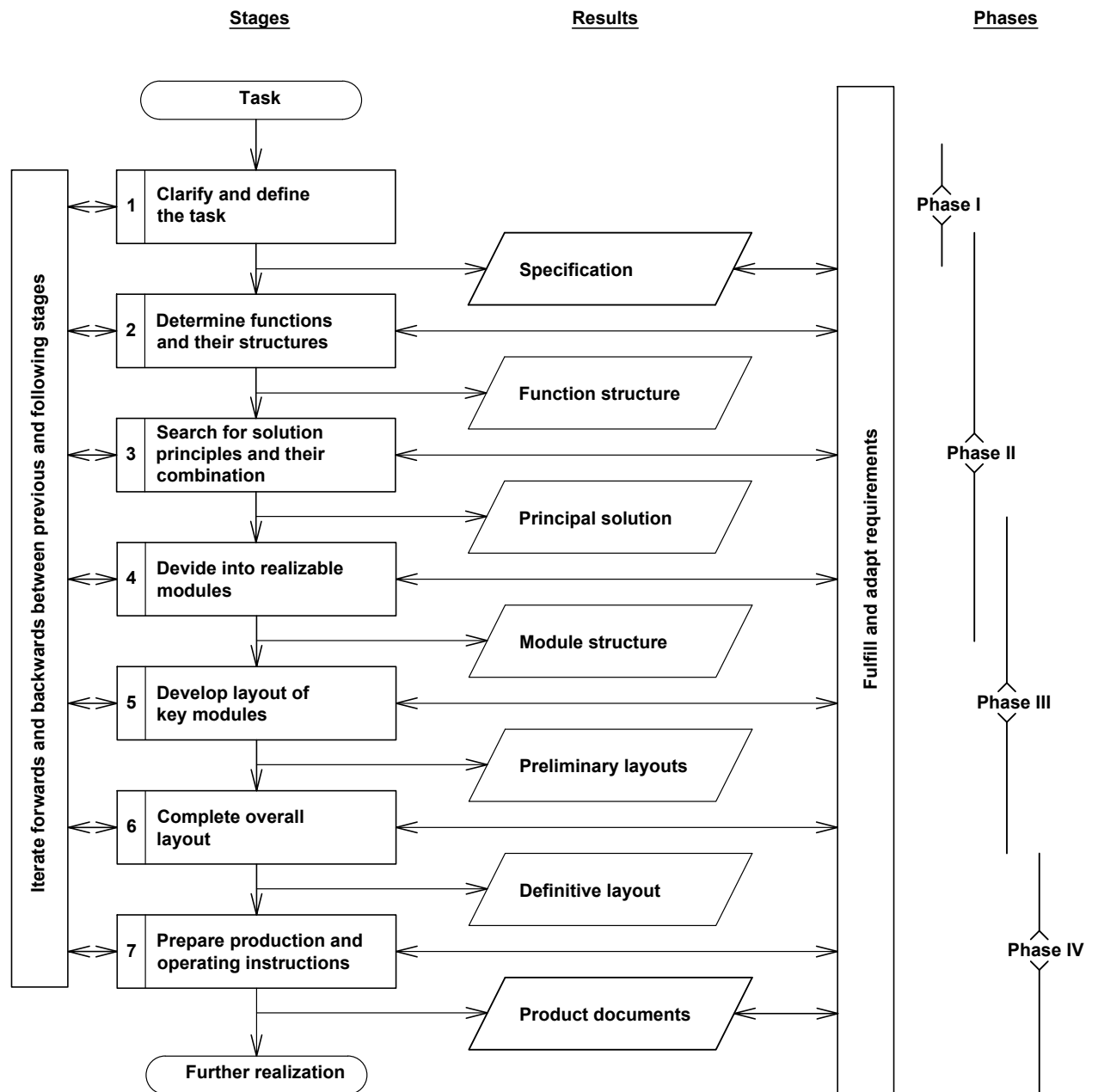


figure A.1-6 : Processus en quatre étapes selon Cross (2000)

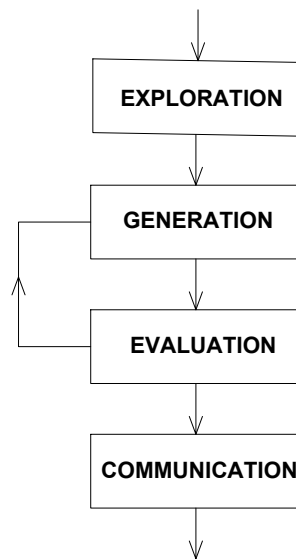


figure A.1-7 : Processus de conception selon French (1985)

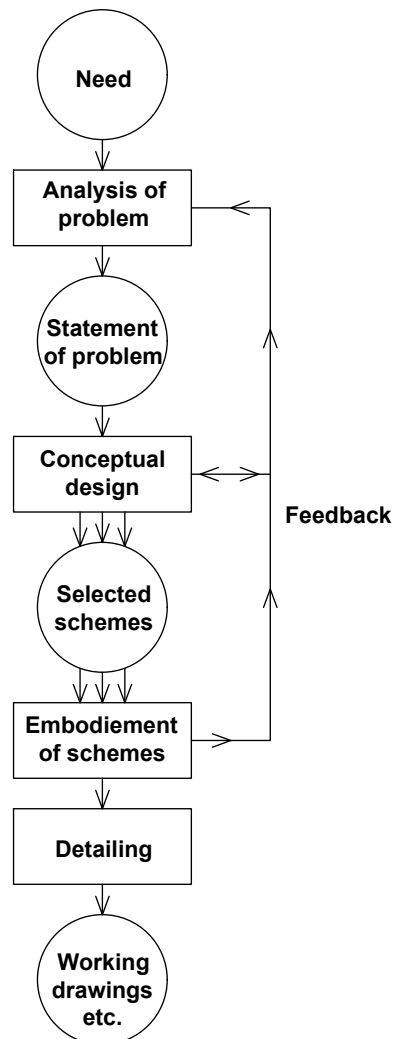


figure A.1-8 : Processus de conception selon Pahl et Beitz (2007)

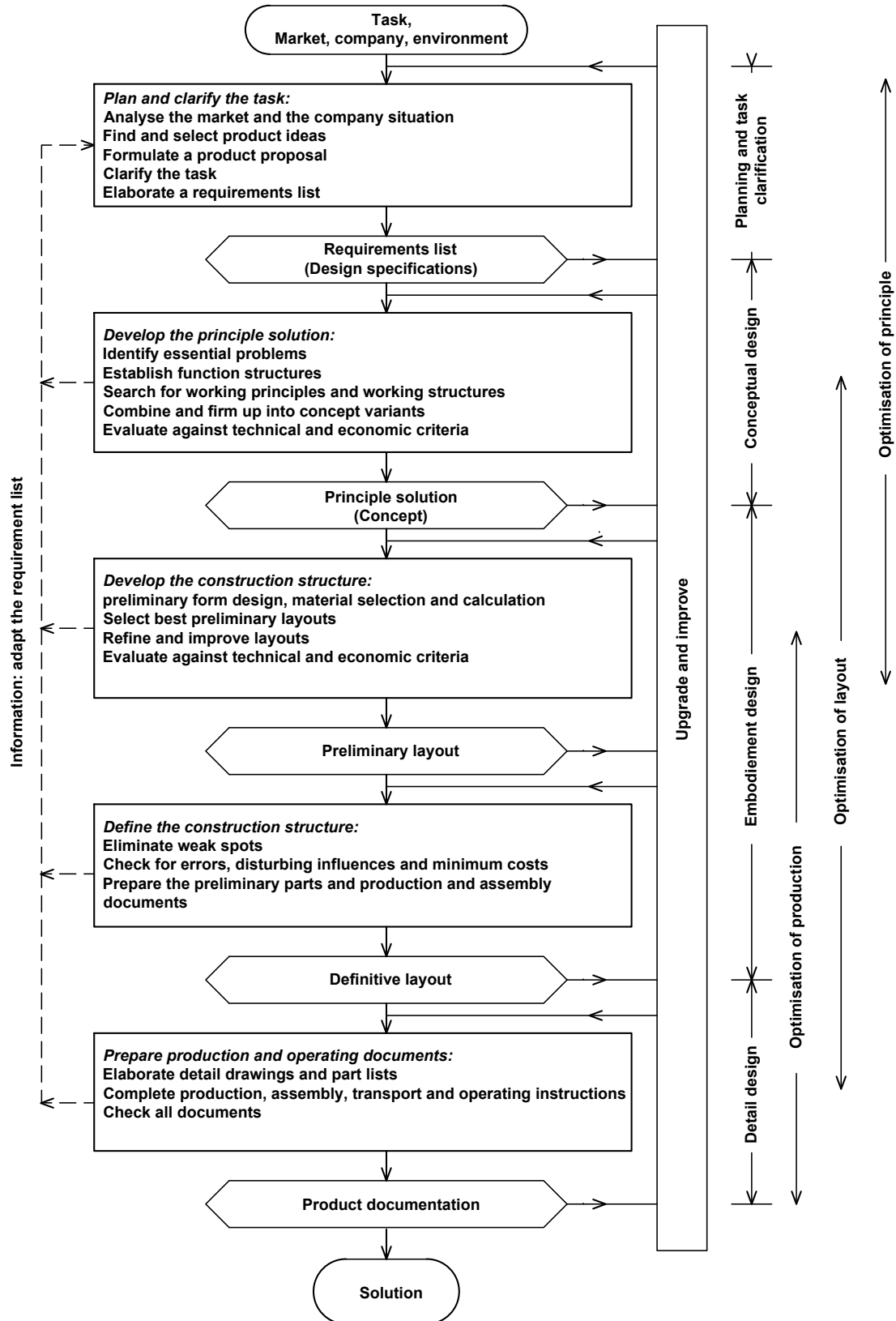


figure A.1-9 : Cycle TRIZ de génération de solution inventives selon Lantane & Domb
(2010)

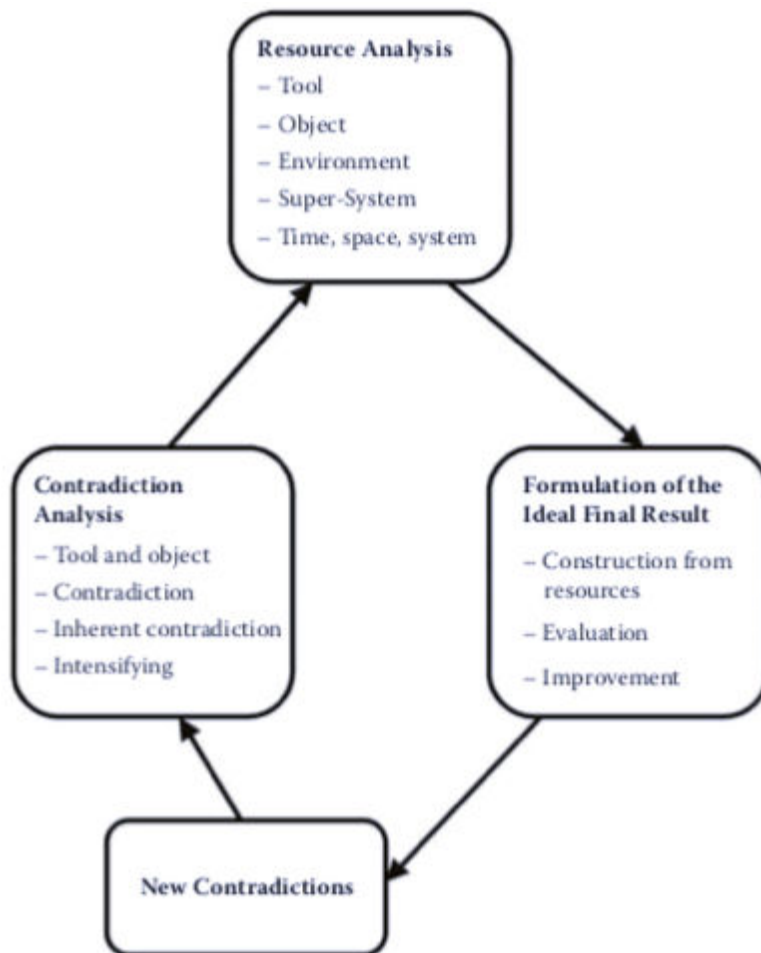


figure A.1-10 : Processus de conception selon le modèle axiomatique de Suh (2001)

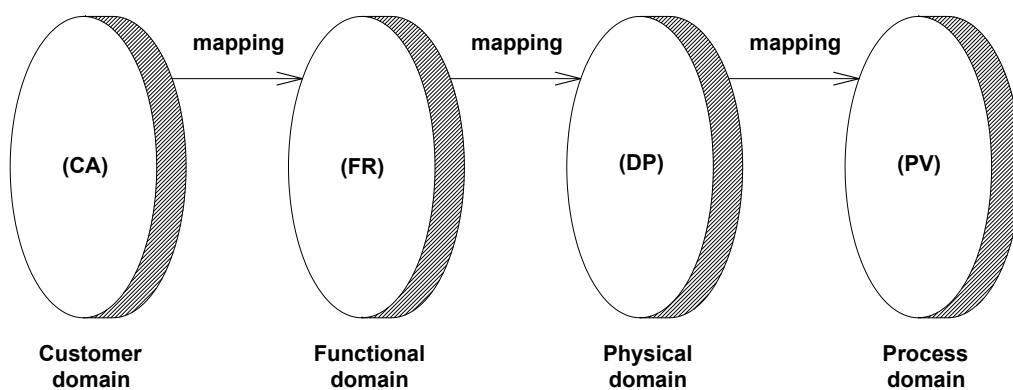


figure A.1-11 : Processus de conception selon le modèle FBS de Gero (2004)

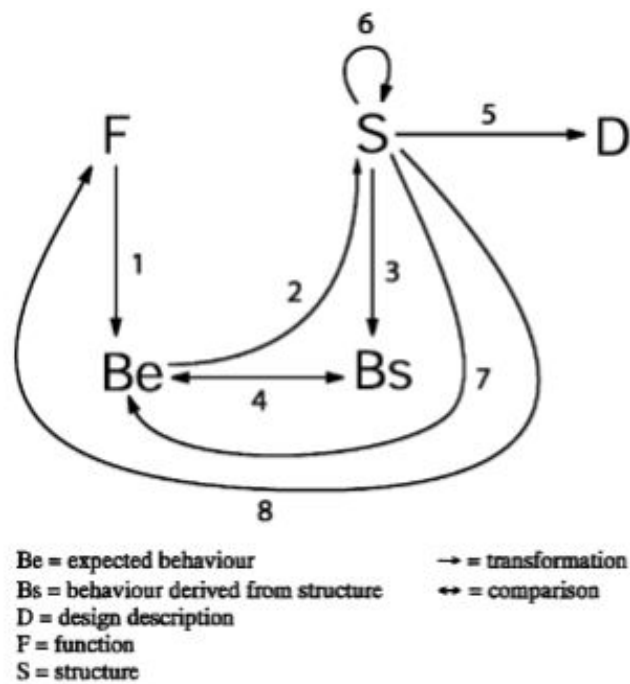


figure A.1-12 : Processus de conception selon le modèle FBS situé (Gero & Kannengiesser, 2004)

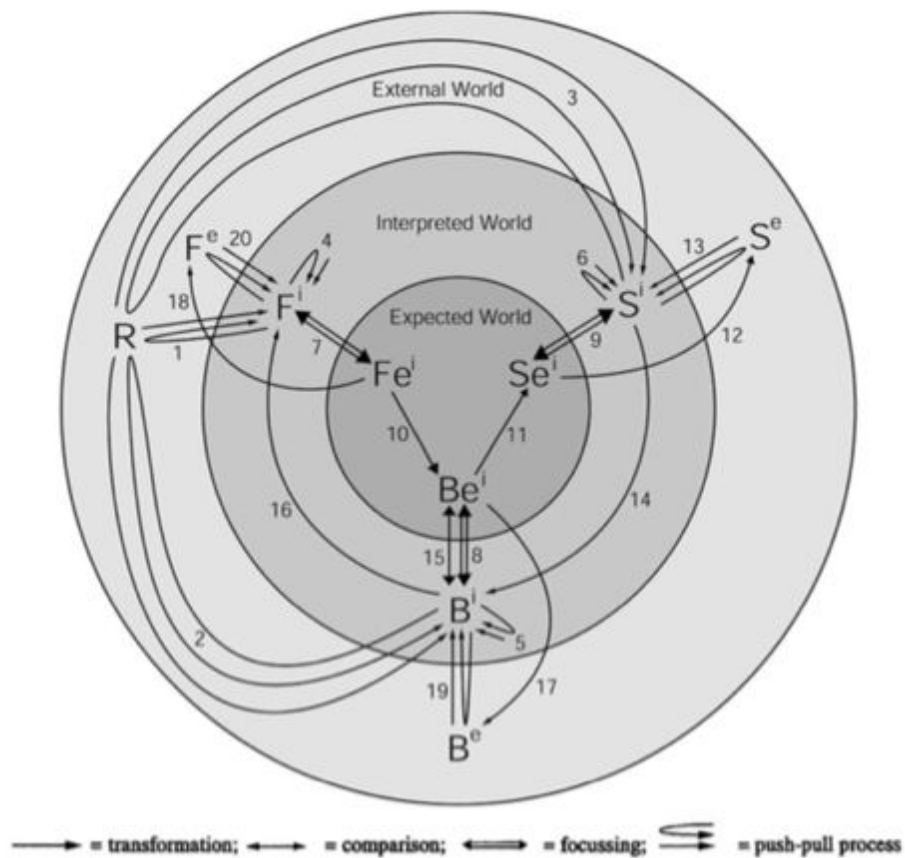


tableau A.1-1 : Les différents processus du modèle FBS situé

Étapes de représentation	Processus de génération conceptuelle	Processus de reformulation
R est l'ensemble des contraintes et des critères de performance requis par le système	1. Analyse des exigences : transforme le problème de conception, exprimé en exigences (R), en fonctions (F) que le système devrait fournir	7'''. Reformulation type 4 : apporte des changements dans l'espace d'état de conception en termes de variables d'exigences ou leurs plages de valeurs (cette reformulation implique des discussions afin de s'accorder avec le client)
F représente un ensemble de fonctions, les connaissances nécessaires pour pouvoir expliquer ce que le système doit faire selon les exigences, donc F est dérivé de R.	1'. Formulation du problème : (processus 1 de Gero) transforme le problème de conception, exprimé en fonction (F) et exigences (R), en comportement (Be) qui devrait permettre à cette fonction de marcher selon les critères de performance définis par les exigences	7''. Reformulation type 3 : (processus 8 de Gero) aborde les changements dans l'espace d'état de conception en termes de variables de fonction ou leurs plages de valeurs (cette reformulation induit des changements automatiques dans le comportement attendu)
Be est le comportement attendu du système, en particulier l'ensemble des variables montrant comment le système devrait fonctionner, Be est défini en fonction des exigences (R) et des fonctions (F)	2. Présynthèse : transforme l'architecture fonctionnelle du système (F) en une structure générique (GS) utilisant des organes abstraits.	
GS est la représentation de la structure générique, en particulier des classes abstraites encapsulant une fonction et ses attributs intrinsèques, GS est dérivé de F	3. Synthèse : (processus 2 de Gero) spécialise GS selon le comportement attendu (Be) dans une structure de solution (S) destinée à présenter ce comportement souhaité	7'. Reformulation type 2 : adresse les changements dans l'espace d'état de conception en termes d'organes abstraits ou de variables de structure génériques ou leurs plages de valeurs
S est l'ensemble des classes représentant la structure physique du système, S spécialise GS selon Be	4. Analyse : (processus 3 de Gero) dérive le comportement « réel » (Bs) de la structure synthétisée (S)	7. reformulation type 1 : (processus 6 de Gero) adresse les changements dans l'espace d'état de conception en termes de variables de structure ou de leurs plages de valeurs
Bs est l'ensemble des variables permettant la représentation du comportement effectif du système, par ex. son comportement « réel »	5. Évaluation : (processus 4 de Gero) compare le comportement dérivé de la structure (Bs) avec le comportement attendu afin de préparer la validation de la solution conçue.	
D représente le passage des modèles à l'étape de	6. Définition : prépare tous les modèles dessinés pour la phase de conception détaillée (des	

conception suivante :	classes de travail à l'implication
conception détaillée	technologique)

figure A.1-13 : Processus de conception selon le modèle RFBS (Christophe et al., 2010)

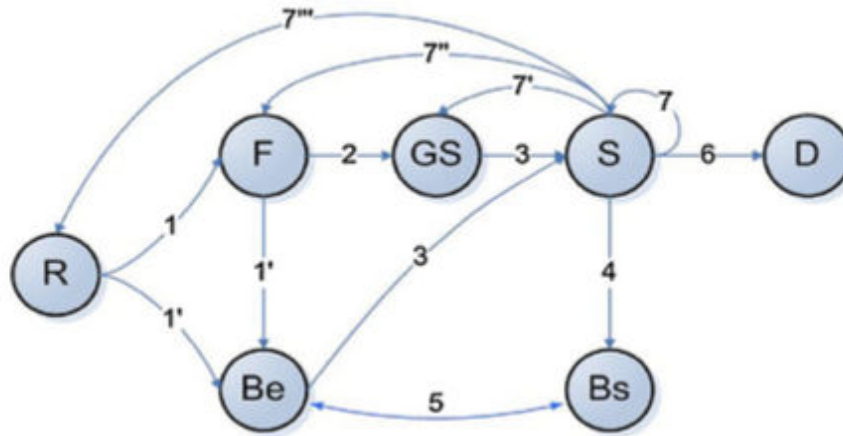


tableau A.1-2 : Typologie des processus du Modèle RFBS

Processus relevant de la formulation	• Processus 1 : formulation de fonctions interprétées F^i à partir d'exigences explicites R • Processus 2 : identification de comportements interprétés B^i à partir d'exigences explicites R • Processus 3 : identification de structures interprétées S^i à partir d'exigences explicites R • Processus 4 : recours à la mémoire constructive résultant des expériences passées et présentes pour décliner des fonctions interprétées F^i • Processus 5 : recours à la mémoire constructive résultant des expériences passées et présentes pour décliner des comportements interprétés B^i • Processus 6 : recours à la mémoire constructive résultant des expériences passées et présentes pour décliner des structures interprétées S^i • Processus 7 : focalisation sur un sous-ensemble Fe^i de fonctions interprétées comme étant souhaitées afin de produire un espace d'état initial de fonctions • Processus 8 : focalisation sur un sous-ensemble Be^i de comportements interprétés comme étant souhaitées afin de produire un espace d'état initial de comportements • Processus 9 : focalisation sur un sous-ensemble Se^i de structures interprétées comme étant souhaitées afin de produire un espace d'état initial de structures • Processus 10 : transformation de fonctions interprétées comme étant souhaitées Fe^i en comportements interprétés comme étant souhaités Be^i
Processus relevant de la synthèse	• Processus 11 : transformation de comportements interprétés comme étant souhaités Be^i en structures interprétées comme étant souhaitées Se^i • Processus 12 : transformation de structures interprétées comme étant souhaitées Se^i en structures externes S^e
Processus relevant de l'analyse	• Processus 13 : mise à contribution des structures externes S^e et des objectifs d'analyse pour produire des structures interprétées S^i • Processus 14 : transformation de structures interprétées S^i en comportements

	interprétés B ⁱ
Processus relevant de l'évaluation	Processus 15 : comparaison des comportements interprétés comme étant souhaités Beⁱ aux comportements interprétés Bⁱ
Processus relevant de la documentation	- Processus 12 : transformation de structures interprétées comme étant souhaitées Seⁱ en structures externes S^e pouvant servir de description de l'objet conçu aux fins de fabrication - Processus 17 : transformation de comportements interprétés comme étant souhaités Beⁱ en comportements externes B^e complétant la description de l'objet conçu issue d'un processus 12 - Processus 18 : transformation de fonctions interprétées comme étant souhaitées Feⁱ en fonctions externes F^e complétant la description de l'objet conçu issue d'un processus 12
Processus relevant de la reformulation de type 1	- Processus 9 : permettre l'apport de structures interprétées Sⁱ à l'espace d'état des structures et le retrait de structures interprétées comme étant souhaitées Seⁱ de ce dernier - Processus 13 : construction de nouvelles structures interprétées Sⁱ à partir de structures externes S^e. Cette construction représente une classe de processus identifiées comme incluant l'émergence, l'analogie, la mutation, la combinaison et les principes de base. - Processus 6 : construction, de mémoire, de nouvelles structures interprétées Sⁱ. Elle représente une classe de processus similaires à ceux décrits au processus 13.
Processus relevant de la reformulation de type 2	- Processus 8 : permettre l'apport de comportements interprétés Bⁱ à l'espace d'état des structures et le retrait de comportements interprétés comme étant souhaités Beⁱ de ce dernier - Processus 14 : déduction de nouveaux comportements interprétés Bⁱ de structures interprétées Sⁱ - Processus 19 : construction de nouveaux comportements interprétés Bⁱ à partir de comportements externes Be. Il s'agit de la même classe de processus que ceux décrits pour la construction de structures interprétées Sⁱ - Processus 5 : construction, de mémoire, de nouveaux comportements interprétés Bⁱ. Il s'agit de la même classe de processus que ceux décrits pour la construction des structures interprétées Sⁱ
Processus relevant de la reformulation de type 3	- Processus 7 : permettre l'apport de fonctions interprétées Fⁱ à l'espace d'état des fonctions et le retrait de fonctions interprétées comme étant souhaitées Feⁱ de ce dernier - Processus 16 : attribution de nouvelles fonctions interprétées Fⁱ à des comportements interprétés Bⁱ - Processus 20 : construction de nouvelles fonctions interprétées Fⁱ à partir de fonctions externes F^e. Il s'agit de la même classe de processus que ceux décrits pour la construction de structures interprétées Sⁱ - Processus 4 : construction, de mémoire, de nouvelles fonctions interprétées Fⁱ. Il s'agit de la même classe de processus que ceux décrits pour la construction des structures interprétées Sⁱ

figure A.1-14 : Processus de conception selon la CK theory

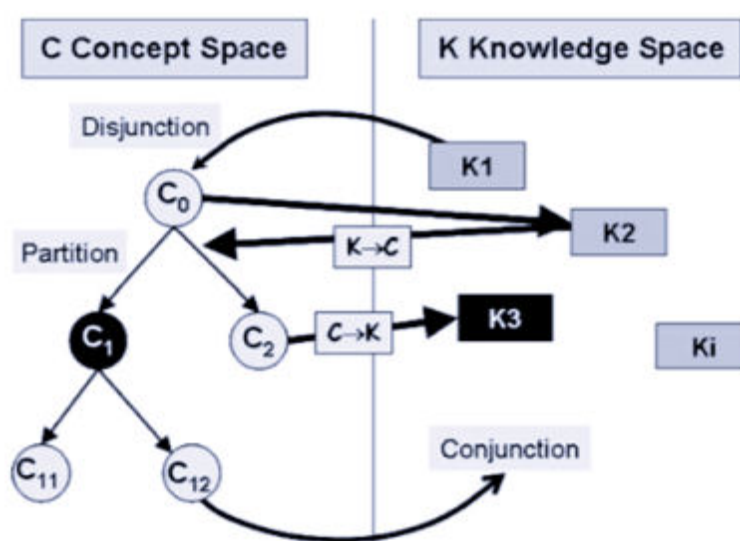


tableau A.1-3 : Différences entre enseignement de l'ingénierie et de la technologie (Vries et al., 2016)

	Ingénierie	Technologie
Visées	Construction de compétences en lien avec le développement de nouveaux produits	Développement d'une culture technologique pour des citoyens vivant dans un environnement marqué par la technologie
Méthodes	Combinaison de méthodes qualitatives et quantitatives	Qualitatives
Place et nature de la conception	Place centrale et nature méthodique et structurée	Place accessoire et nature essentiellement intuitive
Place et nature de la modélisation	Place centrale et nature explicite	Place accessoire et nature implicite
Lien avec des pratiques de référence	Forte référence à des pratiques sociales	Projets scolaires, faible référence à des pratiques sociales

annexe 2. : Figures et tableaux en lien avec les capacités spatiales

tableau A.2-1 : facteurs de l'intelligence selon le modèle CHC (McGrew, 2005; Schneider & McGrew, 2012)

	Définition de McGrew, 2005	Définition de Schneider & McGrew, 2012
Intelligence fluide / raisonnement (Gf)	Utilisation délibérée et contrôlée d'opérations mentales dans le but de résoudre des problèmes nouveaux ne pouvant être résolus de manière automatique	Contrôle délibéré et flexible de l'attention dans le but de résoudre des problèmes non familiers dont la solution ne peut être trouvée en recourant uniquement à des démarches apprises
Intelligence cristallisée / connaissance (Gc)	Intelligence issue de la culture, incorporée par les individus à travers un processus d'acculturation	Profondeur et étendue des connaissances et compétences valorisées par la culture de l'individu
Connaissance générale - spécifique à un domaine - (Gkn)	Étendue et profondeur des connaissances acquises par un individu dans des domaines spécialisés (délimités) qui ne représentent généralement pas les expériences universelles générales des individus dans une culture (Gc).	Profondeur, étendue et maîtrise des connaissances spécialisées (connaissances que tous les membres d'une société ne sont pas censés posséder)
Traitement visuel (Gv)	Capacité à générer, conserver, récupérer et transformer des images visuelles bien structurées	Capacité à utiliser des images mentales simulées (souvent en conjonction avec les images perçues dans l'instant) pour résoudre des problèmes
Traitement auditif (Ga)	Capacité dépendant du fonctionnement de notre appareil auditif et du son perçu	Capacité à détecter et traiter des informations non verbales ayant du sens et issues du son
Mémoire à court terme (Gsm)	Capacité à appréhender et à rester conscient des éléments d'information dans la situation immédiate (événements survenus dans les dernières minutes)	Capacité à encoder, à maintenir et à manipuler l'information dans sa conscience immédiate
Stockage à long terme et récupération (Glr)	Capacité à stocker et consolider de nouvelles informations dans la mémoire à long terme et à les récupérer plus tard par association	Capacité à stocker, consolider et récupérer des informations sur des périodes de temps de l'ordre de la minute, de

		l'heure, du jour ou de l'année.
Vitesse de traitement cognitif (Gs)	Capacité à exécuter automatiquement et couramment des tâches cognitives relativement faciles ou parfaitement maîtrisées, en particulier lorsqu'une efficacité mentale élevée (c.-à-d. Attention et concentration ciblée) est requise. Vitesse d'exécution de processus cognitifs élémentaires parfaitement maîtrisés ou automatisés	Capacité à rapidement et couramment effectuer des tâches cognitives simples et répétitives
Vitesse de réaction et de décision (Gt)	Capacité à rapidement réagir et / ou prendre des décisions en réponse à des stimuli simples, le temps de réaction étant chronométré	Rapidité de prise de décisions ou de jugements très simples lorsque des éléments sont présentés un par un
Vitesse psychomotrice (Gps)	Capacité à rapidement et couramment effectuer les mouvements moteurs du corps (mouvements des doigts, des mains, des jambes, etc.), indépendamment du contrôle cognitif	Vitesse et fluidité avec lesquelles les mouvements du corps peuvent être effectués
Connaissances quantitatives (Gq)	Richesse (étendue et profondeur) de la réserve de connaissances déclaratives et procédurales de nature quantitative acquises	Profondeur et étendue des connaissances liées aux mathématiques
Lecture / écriture (Grw)	Richesse (étendue et profondeur) de la réserve de compétences et de connaissances déclaratives et procédurales acquises en lecture et en écriture	Profondeur et étendue des connaissances et des compétences liées à la langue écrite
Capacités psychomotrices (Gp)	Capacité à effectuer des mouvements du corps (mouvements des doigts, des mains, des jambes, etc.) avec précision, coordination ou force.	Capacités à effectuer des mouvements du corps (par exemple, le mouvement des doigts, des mains, des jambes) avec précision, coordination ou force.

Capacités olfactives (Go)	Capacités dépendantes des récepteurs sensoriels du système olfactif principal (fosses nasales)	Capacité à détecter et traiter des informations utiles à partir des odeurs
Capacités tactiles (Gh)	Capacités dépendant des récepteurs sensoriels du système tactile (toucher) et du fonctionnement de l'appareil tactile.	Capacité à détecter et traiter des informations ayant du sens à partir des sensations tactiles
Capacités kinesthésiques (Gk)	Capacités dépendant de récepteurs sensoriels détectant la position corporelle, le poids ou les mouvements des muscles, des tendons et des articulations	Capacités à détecter et à traiter des informations significatives à partir de la perception de la position des différentes parties du corps (proprioception)

figure A.2-1 : Structure conceptuelle et fonctionnelle des capacités selon le modèle CHC (Schneider & McGrew, 2012)

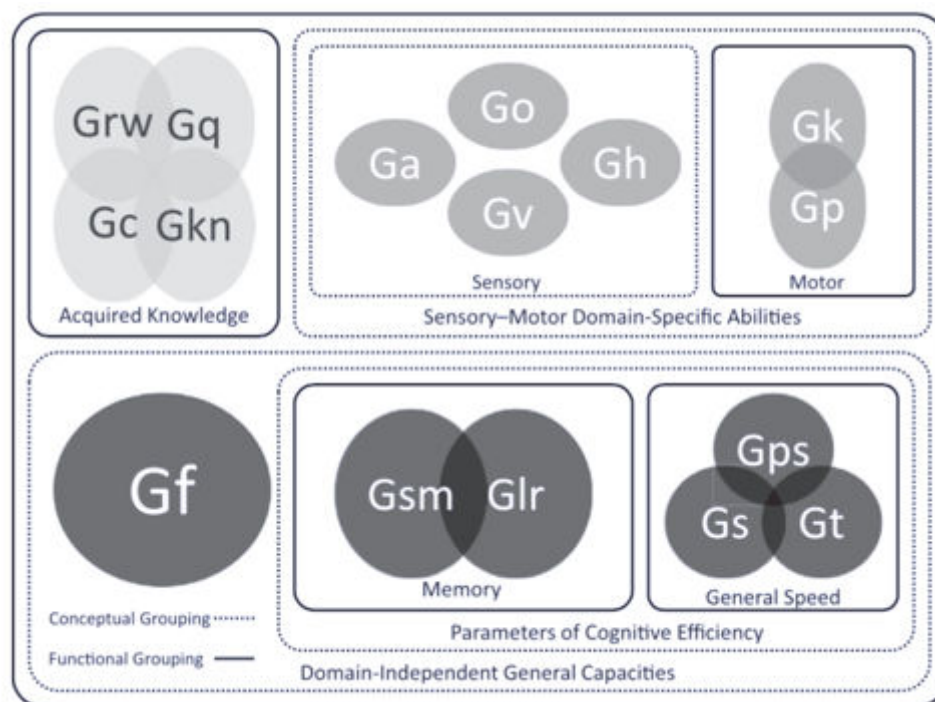


tableau A.2-2 : facteurs des capacités visuo-spatiales selon le modèle CHC
(Schneider & McGrew, 2012)

Définition de Schneider & McGrew, 2012	
Visualisation (Vz)	Capacité à percevoir des motifs complexes et à simuler mentalement à quoi ils pourraient ressembler une fois transformés (par exemple, pivotés, modifiés, partiellement masqués)
Rotations rapides (SR)	Capacité de résoudre rapidement les problèmes en utilisant la rotation mentale d'images simples
Vitesse de fermeture (CS)	Capacité à identifier rapidement un objet visuel significatif et familier à partir de stimuli visuels incomplets (par exemple, vagues, partiellement obscurcis, déconnectés), sans savoir à l'avance ce qu'est l'objet
Flexibilité de fermeture (CF)	Capacité à identifier une figure ou un motif visuel intégré à un motif ou à un motif visuel complexe gênant ou déguisé, quand on sait à l'avance quel est le motif
Mémoire visuelle (VM)	Capacité à mémoriser des images complexes sur de courtes périodes (moins de 30 secondes)
Balayage spatial (SS)	Capacité à se représenter le chemin d'un labyrinthe ou d'un champ avec de nombreux obstacles
Intégration perceptuelle en série (SPI)	Capacité à reconnaître un objet après que seules certaines parties de celui-ci sont montrées en succession rapide
Estimation de longueur (LE)	Capacité à estimer visuellement la longueur des objets
Illusions perceptuelles (IL)	Capacité à ne pas se faire avoir par des illusions visuelles.
Alternances perceptuelles (PN)	Cohérence dans le taux d'alternance entre différentes perceptions visuelles
Imagerie (IM)	Capacité à produire mentalement des images réalistes

annexe 3. : Figures liées au cadre théorique de l'analyse de l'activité de co-conception

figure A.3-1 : Principe Vygotskyen d'activité médiée par des artefacts

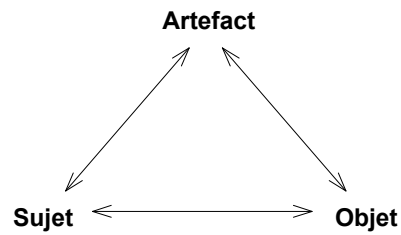


figure A.3-2 : Structuration hiérarchique de l'activité selon Leontiev

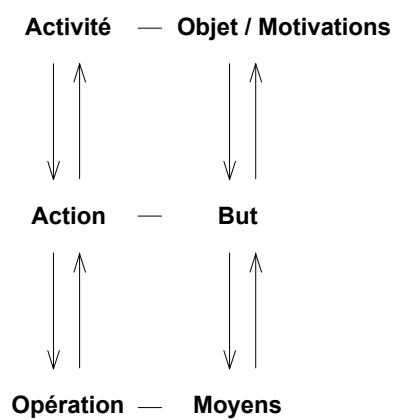
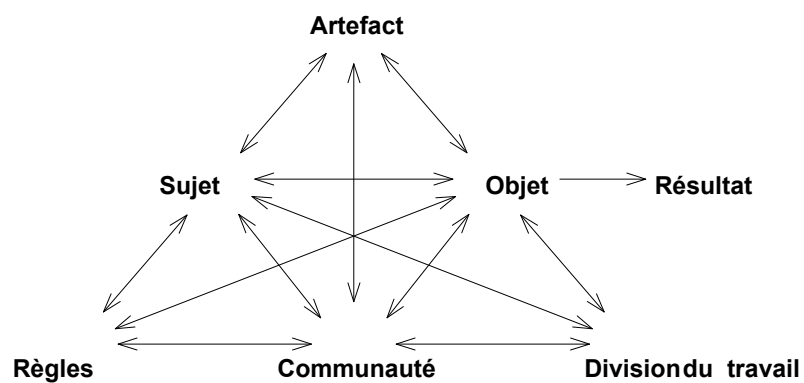


figure A.3-3 : Activité dans un contexte social de collaboration selon Engeström



annexe 4. : Correspondances en vue de l'obtention des autorisations d'accès au terrain

De: **Sylvain Agbanglanon** luc.agbanglanon@ucad.edu.sn
Objet: Déploiement de dispositif expérimental
Date: 9 mars 2017 à 16:08
À: ngom2442@gmail.com

SA

Bonjour Monsieur le Directeur,
je vous envoie le courrier promis, vous en souhaitant bonne réception.

Sylvain Agbanglanon
ENSETP / UCAD Dakar
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn



De: cedt@orange.sn
Objet: demande d'autorisation de déploiement d'un dispositif expérimental
Date: 10 mars 2017 à 10:28
À: luc.agbanglanon@ucad.edu.sn



Bonjour Monsieur AGBANGLANON,

Je suis la secrétaire du CEDT LE G15. Suite à votre lettre de demande d'autorisation de déployer le dispositif expérimental de recherche sur "Capacités spatiales et créativité en conception assisté par ordinateur chez les apprenants au Sénégal", Monsieur Papa NGOM, Directeur du dit centre, m'a chargé de vous informer que votre requête a été acceptée.

Je reste à votre disposition pour toute information complémentaire.

BONNE RECEPTION

Mademoiselle Rokhaya NDIAYE
Secrétaire du CEDT LE G15
Tél : 33 824 91 44
mob : 77 718 56 97

De: **Sylvain Agbanglanon** luc.agbanglanon@ucad.edu.sn
Objet: Re: demande d'autorisation de déploiement d'un dispositif expérimental
Date: 10 mars 2017 à 11:36
À: cedt@orange.sn

SA

Bonjour,
j'accuse réception de cet avis et vous en remercie.
Je ne manquerai pas d'entrer en contact avec vous pour les dispositions pratiques de mise en oeuvre.
Cordialement

Sylvain Agbanglanon
ENSETP / UCAD Dakar
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

Le 10 mars 2017 à 10:28, cedt@orange.sn a écrit :

Bonjour Monsieur AGBANGLANON,

Je suis la secrétaire du CEDT LE G15. Suite à votre lettre de demande d'autorisation de déployer le dispositif expérimental de recherche sur "Capacités spatiales et créativité en conception assisté par ordinateur chez les apprenants au Sénégal", Monsieur Papa NGOM, Directeur du dit centre, m'a chargé de vous informer que votre requête a été acceptée.

Je reste à votre disposition pour toute information complémentaire.

BONNE RECEPTION

Mademoiselle Rokhaya NDIAYE
Secrétaire du CEDT LE G15
Tél : 33 824 91 44
mob : 77 718 56 97

Sylvain Luc
AGBANGLANON
Enseignant – Chercheur à l'École
normale supérieure d'Enseignement
technique et professionnel (ENSETP)
Tel. : + 221 77 608 10 45
Courriel :
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

Dakar, le 09 mars 2017

**A Monsieur le directeur du
CEDT G15**

Objet : demande d'autorisation de déploiement d'un dispositif expérimental

Monsieur le directeur,

faisant suite à l'entretien que vous avez bien voulu m'accorder, je vous adresse cette correspondance dans le but d'être autorisé à déployer le dispositif expérimental de recherche sur « *Capacités spatiales et créativité en conception assistée par ordinateur chez les apprenants au Sénégal* ». Ce travail entre dans le cadre d'un projet de recherche doctorale à l'Université de Cergy Pontoise.

Le recueil de données dont il est question ici, devra se faire en plusieurs phases, **précisément une séance de deux heures et deux séances de quatre heures chacune**. Il a pour but de mesurer les capacités spatiales des élèves techniciens supérieurs, la compréhension qu'ils ont des systèmes modélisés et leur créativité en conception selon le type de modèle qui leur est présenté et le type de supports sur lesquels ils élaborent les solutions constructives. Il s'intéresse aux élèves techniciens supérieurs en maintenance mécanique et en génie civil.

Espérant trouver auprès de vous et de vos collaborateurs le soutien nécessaire à l'aboutissement d'un tel projet, je reste disposé à fournir toute information susceptible de vous permettre d'en cerner tous les contours.

Sylvain Luc AGBANGLANON



De: **babacar Seck** kces63@hotmail.com
Objet: Fw: Déploiement de dispositif expérimental
Date: 10 mars 2017 à 07:31
À: amad.mbodji@gmail.com, luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

BS

Monsieur Mbodji,
Comme discuté, je vous transferts la correspondance de Sylvain de l'ENSEPT. Soit avec Sény Ndoye, Laty Guèye ou Nguette pourrait travailler avec lui dans leur classe de BTS électromécanique 2ème année.
Bonne réception!

From: Sylvain Agbanglanon <luc.agbanglanon@ucad.edu.sn>
Sent: Thursday, March 9, 2017 7:10 PM
To: kces63@yahoo.fr; kces63@hotmail.com
Subject: Déploiement de dispositif expérimental

Bonjour Directeur,
Je vous envoie le courrier pour officialiser le contenu de notre entretien.

Bonne réception

Sylvain Agbanglanon
ENSEPT / UCAD Dakar
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn



Courrier
directe...AO.pdf

Sylvain Luc
AGBANGLANON
Enseignant – Chercheur à l'École
normale supérieure d'Enseignement
technique et professionnel (ENSETP)
Tel. : + 221 77 608 10 45
Courriel :
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

Dakar, le 09 mars 2017

**A Monsieur le directeur du
CFPT**

Objet : demande d'autorisation de déploiement d'un dispositif expérimental

Monsieur le directeur,

faisant suite à l'entretien que vous avez bien voulu m'accorder, je vous adresse cette correspondance dans le but d'être autorisé à déployer le dispositif expérimental de recherche sur « *Capacités spatiales et créativité en conception assistée par ordinateur chez les apprenants au Sénégal* ». Ce travail entre dans le cadre d'un projet de recherche doctorale à l'Université de Cergy Pontoise.

Le recueil de données dont il est question ici, devra se faire en plusieurs phases, **précisément une séance de deux heures et deux séances de quatre heures chacune**. Il a pour but de mesurer les capacités spatiales des élèves techniciens supérieurs, la compréhension qu'ils ont des systèmes modélisés et leur créativité en conception selon le type de modèle qui leur est présenté et le type de supports sur lesquels ils élaborent les solutions constructives. Il s'intéresse aux élèves techniciens supérieurs en électromécanique.

Espérant trouver auprès de vous et de vos collaborateurs le soutien nécessaire à l'aboutissement d'un tel projet, je reste disposé à fournir toute information susceptible de vous permettre d'en cerner tous les contours.

Sylvain Luc AGBANGLANON



De: **Sylvain AGBANGLANON** luc.agbanglanon@ucad.edu.sn
Objet: demande d'autorisation de déploiement de dispositif expérimental
Date: 20 mai 2016 à 12:12
À: ept@ept.sn
Cc: dir.etudes@ept.sn

SA

Bonjour Monsieur le directeur,
je vous fais parvenir ci-joint le courrier promis lors de notre entrevue ainsi qu'un descriptif sommaire du projet de recherche.
Je vous remercie pour la disponibilité dont vous avez fait montre et reste disponible pour toute information complémentaire.

--
Sylvain AGBANGLANON
ENSETP / UCAD - Dakar



Courrier
directe...ue.pdf



Projet recherche
AREN_...16.pdf

De: **Ept Thies** ept@ept.sn
Objet: Re: demande d'autorisation de déploiement de dispositif expérimental
Date: 21 mai 2016 à 09:49
À: **Sylvain AGBANGLANON** luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

ET

Bien reçu et bon courage pour tes recherches.

Le 20 mai 2016 à 14:12, Sylvain AGBANGLANON <luc.agbanglanon@ucad.edu.sn> a écrit :

Bonjour Monsieur le directeur,
je vous fais parvenir ci-joint le courrier promis lors de notre entrevue ainsi qu'un descriptif sommaire du projet de recherche.
Je vous remercie pour la disponibilité dont vous avez fait montre et reste disponible pour toute information complémentaire.

--
Sylvain AGBANGLANON
ENSETP / UCAD - Dakar

--

Dr. El Hadji Bamba DIAW, MC
Directeur de l'Ecole Polytechnique de Thiès

De: **Iy ibrahima** ibrahimaly1@yahoo.fr
Objet: Re : Fwd: demande d'autorisation de déploiement de dispositif expérimental
Date: 3 février 2017 à 14:04
À: **Sylvain Agbanglanon** luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

LI

Bonjour message bien reçu. À bientôt

From: Sylvain Agbanglanon <luc.agbanglanon@ucad.edu.sn>;
To: <ibrahimaly1@yahoo.fr>;
Subject: Fwd: demande d'autorisation de déploiement de dispositif expérimental
Sent: Fri, Feb 3, 2017 7:15:10 AM

Bonjour M. LY,
je vous transfère, comme promis, le courrier adressé au directeur de l'EPT.
Vous en souhaitant une bonne réception.

Sylvain Agbanglanon
ENSETP / UCAD Dakar
luc.agbanglanon@ucad.edu.sn

Début du message réexpédié :

De: Sylvain AGBANGLANON <luc.agbanglanon@ucad.edu.sn>
Objet: demande d'autorisation de déploiement de dispositif expérimental
Date: 20 mai 2016 à 11:29:20 UTC
À: <ept@ept.sn>, dir.etudes.ept.sn

Bonjour Monsieur le directeur,
je vous fais parvenir ci-joint le courrier promis lors de notre entrevue ainsi qu'un descriptif sommaire du projet de recherche.
Je vous remercie pour la disponibilité dont vous avez fait montre et reste disponible pour toute information complémentaire.

--
Sylvain AGBANGLANON
ENSETP / UCAD - Dakar

annexe 5. : Outils de collecte et traitement des données primaires

A.5-1. : Supports fournis lors de l'activité de co-conception

figure A.5-1 : Dessin plan réduit d'une rectifieuse de soupapes (Bals, 1991, p. 42)

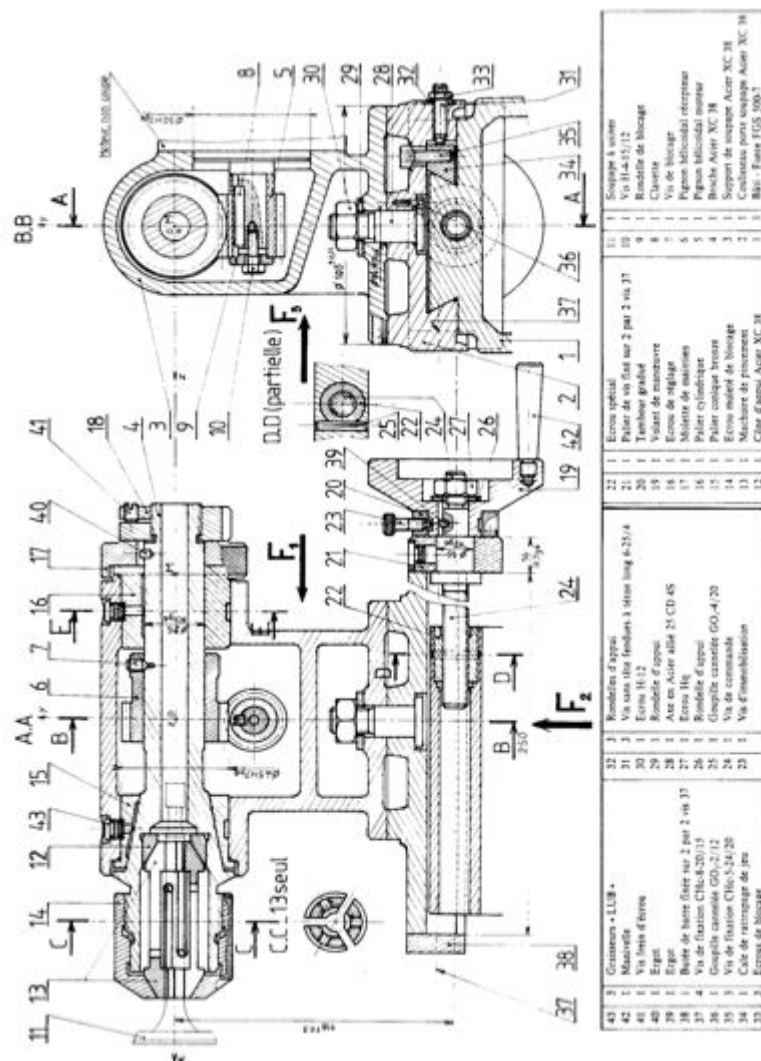
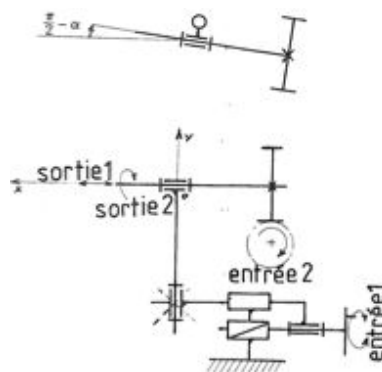


figure A.5-2 : Schéma cinématique plan d'une rectifieuse de soupapes (Bals, 1991, p.

43)



Technical drawing of a mechanical assembly in two views: AA and BB.

View AA (Longitudinal Section): Shows the internal components of the assembly. The central shaft (11) is connected to a handle (14) via a pin (10). The handle is secured by a nut (12) and a washer (13). The assembly is mounted on a base (1) with a support (2) and a pin (3). The handle is also connected to a lever (15) via a pin (16). The lever is secured by a nut (17) and a washer (18). The handle is also connected to a lever (19) via a pin (14).

View BB (Cross-section): Shows the assembly from a different perspective. The central shaft (11) is shown with a diameter of $45\ H7g6$. The handle (14) is shown with a diameter of $16\ H7g6$. The handle is connected to a lever (15) via a pin (16). The lever is secured by a nut (17) and a washer (18). The handle is also connected to a lever (19) via a pin (14).

Numbered Components:

- 1: Base
- 2: Support
- 3: Pin
- 4: Nut
- 5: Washer
- 6: Pin
- 7: Nut
- 8: Washer
- 9: Pin
- 10: Pin
- 11: Shaft
- 12: Nut
- 13: Washer
- 14: Handle
- 15: Lever
- 16: Pin
- 17: Nut
- 18: Washer
- 19: Lever

figure A.5-5 : Capture d'écran de l'animation du schéma cinématique spatial d'un étau orientable

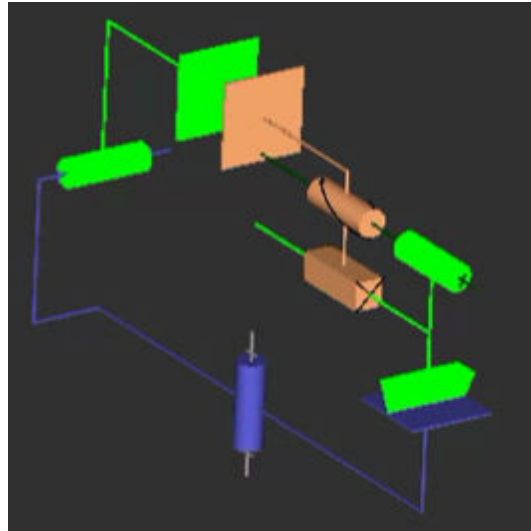
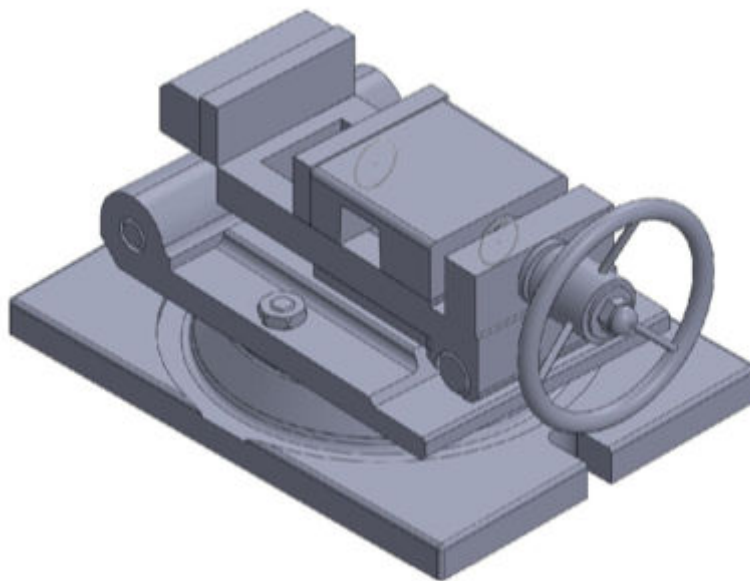


figure A.5-6 : Dessin réaliste 3D de l'étau orientable fourni sur papier comme support à l'activité de co-conception



A.5-2. : Questionnaire de recueil du parcours éducatif

Ce questionnaire est confidentiel, et afin de préserver l'anonymat, les éléments personnels en seront retirés avant toute exploitation. Aucun nom et aucune adresse ne seront mentionnés, de quelque manière que ce soit dans les publications futures dont ce travail pourrait faire l'objet.

Prénom et Nom :

Date de naissance :

Lieu de naissance :

Sexe :

Adresse :

.....

Téléphone :

E-mail :

Avez-vous le baccalauréat ? :

Si oui de quelle série ? En quelle année ?

Sinon quel BT avez-vous ? En quelle année ?

Avez-vous suivi une autre formation après le baccalauréat ou le BT ? :

Si oui, laquelle ou lesquelles ? :

.....

Avez-vous obtenu un (ou des) diplôme(s) après le baccalauréat ou le BT ? :

Si oui, lequel ou lesquels ? :

Quel (s) logiciel (s) de CAO / DAO utilisez-vous ? :

.....

Quel niveau de maîtrise en avez-vous ? (écrire ci-dessous le nom du (des) logiciel (s) utilisé (s) et encrer le niveau de maîtrise)

..... Niveau : très bon – assez bon – moyen – faible – nul

..... Niveau : très bon – assez bon – moyen – faible – nul

..... Niveau : très bon – assez bon – moyen – faible – nul

..... Niveau : très bon – assez bon – moyen – faible – nul

..... Niveau : très bon – assez bon – moyen – faible – nul

A.5-3. : Consignes de travail données au binôme 15a19a

Questions :

Que représente le dessin qui vous est fourni ? Quelle est la fonction de ce système ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Quels sont les différents constituants du système mécanique représenté ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Expliquez le fonctionnement de ce système mécanique ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

On souhaite rendre l'orientation de la broche 4 réglable par rapport à l'axe Oz. La position obtenue devra pouvoir être maintenue après réglage.

Pour répondre à cet impératif, représentez à l'ordinateur vos solutions sous les formes et suivant les vues que vous estimerez les plus explicites.

Nota : vous représenterez toutes les formes et pièces utiles à la compréhension de vos solutions

A.5-4. : Consignes de travail données au binôme 9a5a

Questions :

Que représentent le dessin et le schéma qui vous sont fournis ? Quelle est la fonction du système représenté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Quels sont les différents constituants du système mécanique représenté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Expliquez le fonctionnement de ce système mécanique ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

On souhaite rendre l'orientation de la broche 4 réglable par rapport à l'axe Oz. La position obtenue devra pouvoir être maintenue après réglage.

Pour répondre à cet impératif, représentez à l'ordinateur vos solutions sous les formes et suivant les vues que vous estimerez les plus explicites.

Nota : vous représenterez toutes les formes et pièces utiles à la compréhension de vos solutions

A.5-5. : Consignes de travail données aux binômes 11b1b, 9b15b et 17b20b

Questions :

Que représente le dessin qui vous est fourni ? Quelle est la fonction du système représenté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Quels sont les différents constituants du système mécanique représenté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Expliquez le fonctionnement de ce système mécanique ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

On souhaite avoir un dispositif de réglage de l'inclinaison de l'étau. La position obtenue devra pouvoir être maintenue après réglage. Concevez des solutions permettant cela.

Pour répondre à cet impératif représentez vos solutions, en utilisant les outils de CAO/DAO de votre choix, sous les formes et suivant les vues que vous estimerez les plus explicites.

Nota : vous représenterez toutes les formes et pièces utiles à la compréhension de vos solutions

A.5-6. : Consignes de travail données au binôme 12b19b

Questions :

Que représentent le dessin et le schéma qui vous sont fournis ? Quelle est la fonction du système représenté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Quels sont les différents constituants du système mécanique représenté ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Expliquez le fonctionnement de ce système mécanique ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

On souhaite avoir un dispositif de réglage de l'inclinaison de l'étau. La position obtenue devra pouvoir être maintenue après réglage. Concevez des solutions permettant cela.

Pour répondre à cet impératif représentez vos solutions, en utilisant les outils de CAO/DAO de votre choix, sous les formes et suivant les vues que vous estimerez les plus explicites.

Nota : vous représenterez toutes les formes et pièces utiles à la compréhension de vos solutions

A.5-7. : Dispositif d'enregistrement de l'activité de co-conception

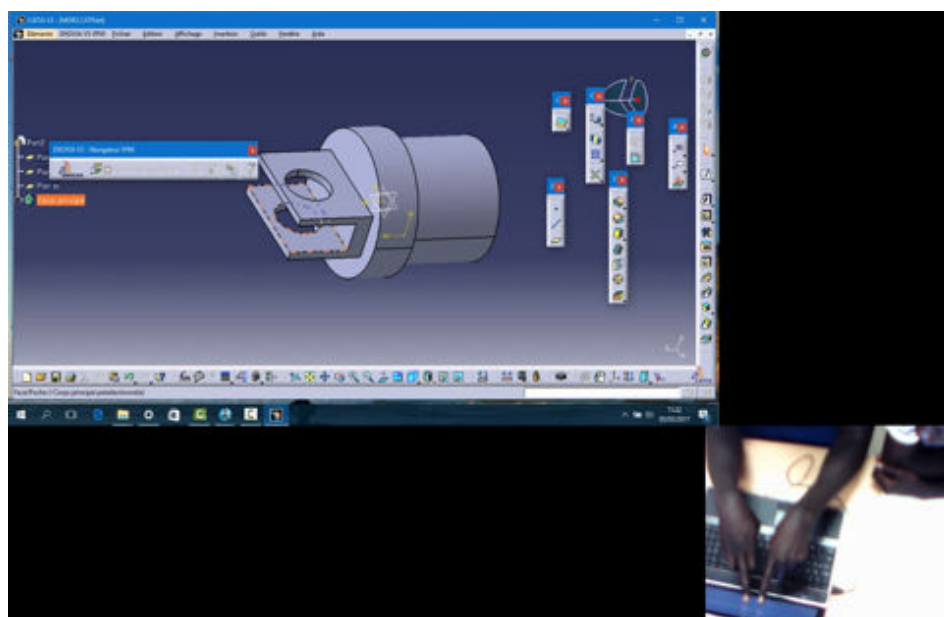
figure A.5-7 : Dispositif d'enregistrement vidéo des espaces de travail



figure A.5-8 : Binômes lors d'une séance de travail



figure A.5-9 : capture d'écran de vidéo obtenue



A.5-8. : Traitement des données primaires

tableau A.5-1 : Encodage de 5 minutes de vidéo par trois codeurs

Début	Fin	Transcription	Orateur	Codeur A	Codeur B	Codeur C
00:00:02.0	00:00:07.0	Hum hum, on souhaite rendre l'orientation de la broche 4 réglable	Et 1	tp ; dpp ; cp	tp ; dpp ; cp	tp ; dpp ; cp
00:00:08.0	00:00:10.7	par rapport à l'axe Oz	Et 2	tp ; dpp ; cp	tp ; dpp ; cp ; ap	tp ; dpp ; cp ;
00:00:10.7	00:00:11.2	Hum hum	Et 1	ap	fap ; ec	ap
00:00:11.2	00:00:13.2	L'axe z est là	Et 2	cp ; dpp	cp ; dpp	cp ; dpp ; cc
00:00:13.2	00:00:14.6	L'axe Oz	Et 1	cc	ap ; cp	cc
00:00:16.0	00:00:17.4	(inaudible)	Et 2	cc	ap	cc
00:00:17.4	00:00:27.7	Il est dit : on souhaite, on souhaite rendre l'orientation de la broche 4 réglable...Réglable par rapport à l'axe Ox	Et 1	cp ; tp	cp ; tp	cp ; tp
00:00:34.6	00:00:37.0	C'est par rapport à l'axe Oz	Et 2	cc	cc	cc
00:00:37.0	00:00:40.0	Hum hum Système de réglage	Et 1	ap ; esa	cc	tp ; dpp ; cp
00:00:40.0	00:00:44.0	La position obtenue devra	Et 2	tp ; cp	tp ; cp	tp ; cp
00:00:44.0	00:00:49.0	La position obtenue devra être maintenue après réglage	Et 1	tp ; cp	tp ; cp	tp ; cp
00:00:45.0	00:00:49.0	devra être maintenue après réglage	Et 2	tp ; cp	tp ; cp	tp ; cp
00:00:49.8	00:00:56.0	Pour répondre à cet impératif représenter à l'ordinateur votre solution	Et 1	tp ; cp	tp ; cp	tp ; cp
00:00:56.0	00:01:06.0	sous les formes et suivant les vues que vous estimerez les plus explicites	Et 2	tp ; cp	tp ; cp	tp ; cp
00:01:06.0	00:01:16.9	En premier moi je veux comprendre la question, il est dit on souhaite rendre l'orientation de la broche réglable, l'orientation ça veut dire l'orientation sur les axes ?	Et 1	ed ; cc ;	cc ; ed	cc ; ed

00:01:19.3	00:01:23.0	Mais seulement suivant l'axe Oz, suivant l'axe Z seulement	Et 2	cc	cc	cc
00:01:23.0	00:01:24.3	Hum hum hum	Et 1	ap	ap	ap
00:01:34.3	00:01:36.1	Il a dit que ça tourne comme ça	Et 2	ap ; dpp	ap	cc
00:01:36.2	00:01:36.6	Hum hum	Et 1	ap	ap	ap
00:01:36.6	00:01:37.1	Tu as compris ?	Et 2	rc	ri	
00:01:37.1	00:01:41.0	Hum, je comprends, Hum	Et 1	ec	ec	ap
00:01:41.0	00:01:43.6	Après réglage...	Et 2	cc	cc	cc ; cp ; tp
00:01:44.0	00:01:58.0	Hum en quelques sortes ça permet heu, à la broche de tourner, pour avoir comme des surfaces coniques, parce que les surfaces coniques...	Et 1	cc ; dpp ;	cc ; sp	cc ; cp ; dpp
00:01:58.0	00:01:58.8	Voilà , voilà	Et 2	ap	ap	ap
00:01:58.8	00:01:59.3	Hum hum	Et 1	ap	ap	ap
00:02:02.3	00:02:05.8	Comme ça si on a incliné, la broche est un peu comme ça	Et 2	dpp ; cc		cc ; dpp
00:02:05.8	00:02:06.5	Hum hum	Et 1	ap	ap	ap
00:02:06.5	00:02:08.0	La pièce (usinée) est là	Et 2	dpp ; cc	ap ; dpp	dpp ; cc
00:02:08.0	00:02:08.6	Hum hum	Et 1	ap	ap	ap
00:02:08.6	00:02:10.3	Ça va tourner dans cette position	Et 2	cc		cc ; dpp
00:02:11.0	00:02:12.0	J'ai compris	Et 1	ec	ap	ap
00:02:14.9	00:02:22.0	Dans la nomenclature le deuxième 16, c'est 18, c'est 18	P	Ne pas encoder	Ne pas encoder	Ne pas encoder
00:02:39.6	00:02:55.0	Hum Hum, donc ici on doit créer un mécanisme qui nous permette, qui permettra	Et 1	cc	cc ; ed	cc
00:02:55.0	00:02:56.2	Ça peut être &	Et 2	esa ; dpp	cc	esa ; dpp
00:02:56.2	00:02:57.1	&Hum hum	Et 1	ap	cc	
00:02:57.1	00:02:58.5	réalisé là	Et 2	esa ; dpp	ap	esa ; dpp
00:02:58.5	00:02:59.1	hum	Et 1	ap	ap	ap
00:02:59.1	00:03:01.0	à ce niveau	Et 2	dpp ; esa	cc	esa ; dpp
00:03:01.0	00:03:04.1	Tu veux proposer quoi comme solution ?	Et 1	ps	rr	ps

00:03:11.0	00:03:18.6	Réaliser hum, une sorte de balance qui va se basculer	Et 2	ea	esa	ea
00:03:18.6	00:03:26.6	Qui va se basculer, il faut faire le croquis sur cette feuille, y a pas de problème, feuille de brouillon	Et 1	esa ; r	esa ; rr	esa ; rr
00:03:26.6	00:03:30.0	d'abord là, là où ça doit se poser	Et 2	esa	esa	esa
00:03:30.0	00:03:34.0	Hum hum, qu'on monte comme des montages d'usinage	Et 1	ap ; ea	esa	ea ; ap.
00:03:34.0	00:03:50.0	voilà, (là ça doit être là-bas)	Et 2	ap ; esa ; dpp		ap.
00:03:50.0	00:03:59.7	Hum Hum, en plus il faut tenir compte, bon tu peux tenir compte des engrenages seulement	Et 1	ap ; rq ; dpp	cc ; dpp	dpp ; ea
00:03:59.7	00:04:01.0	Les engrenages, oui	Et 2	ap ; dpp	ap ; dpp	ap ; dpp
00:04:01.0	00:04:10.0	Hum hum, pour moi le mécanisme sera réalisé ici seulement pour que ça ne puisse pas impacter sur le système	Et 1	esa ; rq ; js ; dpp	esa ; js ; dpp	esa ; js ; dpp
00:04:10.4	00:04:11.6	Oui c'est possible aussi	Et 2	ap ; dpp	ap ; dpp	ap ; dpp
00:04:11.8	00:04:12.2	hum	Et 1	ap	ap	ap
00:04:19.8	00:04:23.0	Mais pour que ça tourne d'un certain angle	Et 2	dpp ;	ed ; dpp ; ps	dpp ; rq ; nd-s
00:04:23.0	00:04:23.5	Hum hum	Et 1	ap	ap	ap
00:04:29.2	00:04:30.1	hummm	Et 2	nd-r	cp	nd-r
00:04:48.0	00:05:09.0	Et pourquoi pas ne pas faire, ne pas utiliser, pourquoi... on peut utiliser les cadrans, les systèmes des cadrans, parce que regardez les cadrans, les cadrans ça te permet de faire quelques degrés de rotation, les cadrans des voitures	Et 1	ea	sr	ea ; js.

tableau A.5-2 : Dictionnaire d'encodage initial

Nature du support de représentation externe	Codes
Esquisse sur papier	ep
Plan sur papier	dpp
Schéma sur papier	sp
Texte sur papier	tp
Vidéo animée	va
Dessin à l'ordinateur	do
Action	Codes
Manifestation d'accord, de compréhension ou de soutien du discours du camarade (<i>accepte les propos émis ou la représentation gestuelle ou graphique faite, exprime ou dit avoir compris</i>)	ap
Clarification du problème (<i>reformulation des éléments du problème en intégrant sa propre formulation : termes, tournures, gestes</i>)	cc
Consultation d'information sur le problème (<i>recueil ou lecture d'une information de nature textuelle ou graphique sur le problème</i>)	cp
Remise en question de solution (<i>au sujet d'une solution proposée, signale un problème dans l'implantation, dans la forme d'un élément, dans la technologie d'assemblage entre deux éléments, une précaution à prendre par rapport aux éléments existants fournis</i>)	rq
Explication de solution avec analogie explicite (<i>expression verbale ou imagée éphémère précisant des caractères de la solution en faisant référence de manière explicite à un système existant</i>)	ea
Justification de solution proposée (<i>fourniture de raisons confortant cette solution</i>)	js
Rejet de solution (<i>rejette ou réfute une solution proposée</i>)	frs
Représentation de solution (<i>présentation d'une trace de la solution sous une forme visuelle qui demeure : esquisse, texte écrit, dessin, schéma...</i>)	res
Expression de difficulté (<i>exprime verbalement la rencontre de difficultés</i>)	ed
Requête de représentation de solution (<i>demande à son camarade de représenter une solution</i>)	rr
Requête de proposition de solution (<i>demande à son camarade de proposer une solution</i>)	ps
Requête d'information (<i>demande à son camarade de lui fournir une information disponible dans les documents fournis</i>)	ri
Requête d'expression de compréhension (<i>demande à son camarade s'il a compris</i>)	rc
Requête d'explication de solution (<i>demande à son camarade d'expliquer de manière verbale sa solution</i>)	rex
Explication de solution sans analogie explicite (<i>expression verbale ou imagée éphémère précisant des caractères d'une solution sans faire référence de manière explicite à un système existant</i>)	esa
Proposition d'explication de solution (<i>dit qu'il va expliciter sa solution</i>)	pe
Proposition de représentation de solution (<i>dit qu'il va représenter sa solution</i>)	pr
Suggestion de représentation de solution (<i>suggère un type ou une forme de représentation à son binôme qui est en train d'esquisser ou de dessiner une solution</i>)	sr
Finalité non déterminée – attitude réflexive (<i>l'étudiant reste pensif ou dubitatif ne permettant pas de cerner la finalité de son action</i>)	nd-r
Finalité non déterminée – propos suspendu (<i>la finalité de son action est indéterminable du fait de l'interruption du propos</i>)	nd-s

tableau A.5-3 : Dictionnaire d'encodage stabilisé

Actions	Aveu d'incompréhension d'éléments du problème	aip
	Apport ou proposition d'outils ou supports de travail (<i>dépose sur l'espace de travail des outils ou matériels qui n'étaient pas au premier plan, ouvre une fenêtre ou lance une vidéo sur l'ordinateur, se propose pour l'apport d'un outil de travail</i>)	aost
	Expression d'accord, de compréhension, ou d'attention à l'endroit des éléments avancés (<i>accepte les propos émis ou la représentation gestuelle ou graphique faite, dit être d'accord, exprime ou dit avoir compris</i>)	ar
	Constat de défaut, absence ou difficulté en lien avec un outil	cdo
	Demande de supports ou outils de travail	dsot
	Expression ou constat d'absence de solution à l'instant	eas
	Explicitation – précision du problème (<i>précision ou reformulation des éléments du problème en intégrant sa propre formulation : termes, tournures, gestes</i>)	epp
	Explicitation – précision de solutions (<i>expression verbale ou imagée éphémère indiquant ou précisant des caractères de la solution tels que des formes, des dimensions, des positions ...</i>)	eps
	Explicitation d'analogie ou de stratégie déployée (<i>dit comment il fait, exprime une analogie faite à un système existant</i>)	est
	Interrogation sur la démarche à suivre	ids
	Proposition d'explicitation du problème (<i>se propose d'expliciter ou dit qu'il va expliciter des éléments du problème</i>)	pep
	Proposition d'explicitation de solution (<i>se propose d'expliciter ou dit qu'il va expliciter sa solution</i>)	pes
	Proposition de représentation de solution (<i>se propose ou dit qu'il va représenter sa solution</i>)	prs
	Propos suspendu – inaudible – incompréhensible	psi
	Phase silencieuse – de réflexion	psr
	Quête d'information ou consultation de source d'information sur le problème (<i>recherche, recueil, lecture ou relevé d'une information, de nature textuelle ou graphique sur support papier ou numérique, ou interrogation relative aux éléments du problème</i>)	qip
	Requête d'approbation de solution (<i>requiert de son camarade l'approbation de sa proposition ou sa validation</i>)	ras
	Requête d'expression de compréhension (<i>demande à son camarade s'il a compris</i>)	rec
	Rejet d'explicitation du problème	reje
	Requête d'explicitation-précision du problème	reque
	Requête d'explicitation – quête de précision de solutions ou de stratégie (<i>requiert de façon explicite ou implicite de la part de son camarade l'expression verbale ou gestuelle de sa solution, demande à son camarade de proposer une solution, demande de reformuler ou recherche, dans une phase de synthèse, des éléments de précision de la solution tels que des dimensions ou de la stratégie, pose une question sur des éléments de solution</i>)	reqs
	Requête d'expression de satisfaction en lien avec les outils	res
	Remise en question de solution (<i>au sujet d'une solution proposée, signale un problème dans l'implantation, dans la forme d'un élément, dans la technologie d'assemblage entre deux éléments, une précaution à prendre par rapport aux éléments existants fournis, rejette ou réfute une solution proposée</i>)	rqs
	Requête de représentation de solution (<i>demande explicitement ou implicitement à son camarade de représenter une solution</i>)	rrs

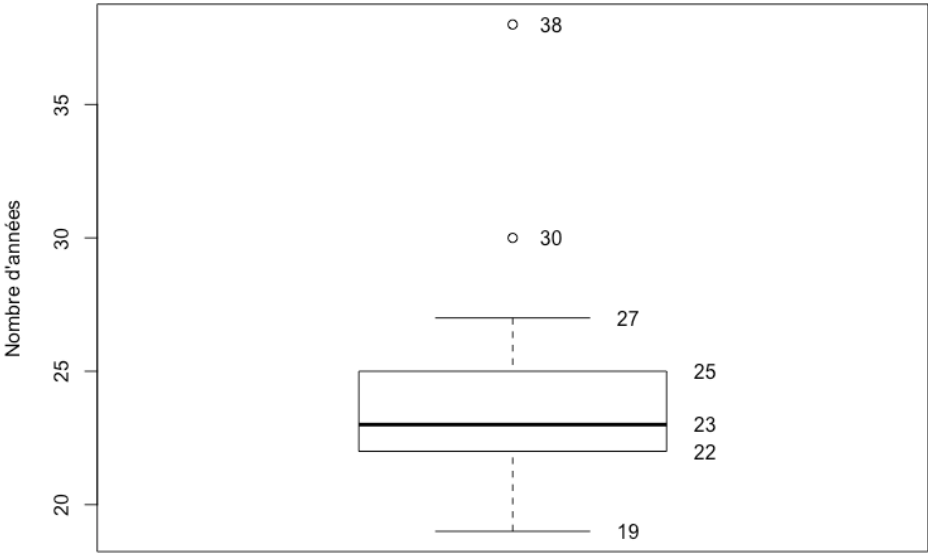
Représentations externes	Représentation de solution (<i>présentation d'une trace de la solution sous une forme visuelle qui demeure : esquisse, texte écrit, dessin, schéma..., cette représentation peut être silencieuse ou accompagnée d'un discours</i>)	rs
	Retrait de supports ou outils de travail (<i>retire de l'espace de travail des outils ou matériels qui s'y trouvaient, les relègue au second plan, ferme une fenêtre ou arrête une vidéo sur l'ordinateur</i>)	rsot
	Régulation du tour de parole	rtp
	Suggestion liée à l'organisation ou à la conduite du travail (<i>suggère une forme d'organisation du binôme en termes de conditions de travail, de focalisation ou de répartition du travail</i>)	so
	Suggestion de représentation de solution (<i>suggère un type, une forme de représentation ou des dimensions à son binôme qui est en train d'esquisser ou de dessiner une solution</i>)	srs
	Validation – consolidation de solution proposée (<i>fourniture de raisons confortant une solution, émission d'un jugement favorable sur la solution</i>)	vcs
	Dessin plan sur papier	dpp
	Dessin 3D réaliste à l'ordinateur	dro
	Dessin 3D réaliste sur papier	drp
	Esquisse sur papier	ep
	Schéma cinématique sur papier	scp
	Texte sur papier	tp
	Vidéo de dessin 3D réaliste animé	vda
	Vidéo de schéma cinématique animé	vsa

annexe 6. : Description des données recueillies

tableau A.6-1 : Genre des apprenants participant à l'étude

	Masculin	Féminin
Effectif	51	12
Pourcentage	80,95	19,05

figure A.6-1 : Boîte à moustaches de l'âge des participants à l'étude (n=63)



Distribution de l'âge des 63 étudiants

tableau A.6-2 : Âge des apprenants participant à l'étude (n = 63)

	Moyenne	Écart type	Médiane	Min.	Max.
Age	23,48	2,85	23	19	38

figure A.6-2 : Distribution de l'âge des participants à l'étude

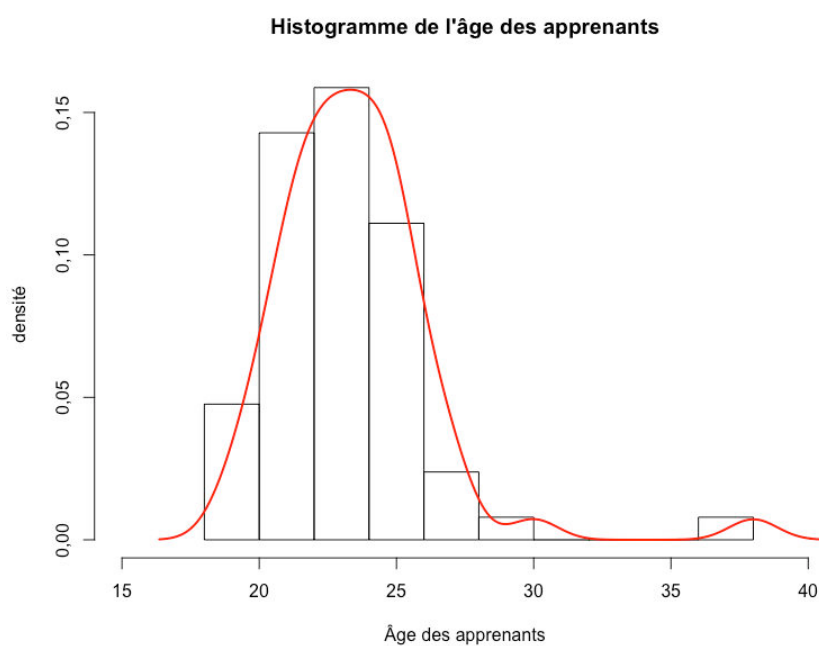


figure A.6-3 : Diagramme quantiles-quantiles de normalité de la distribution de l'âge

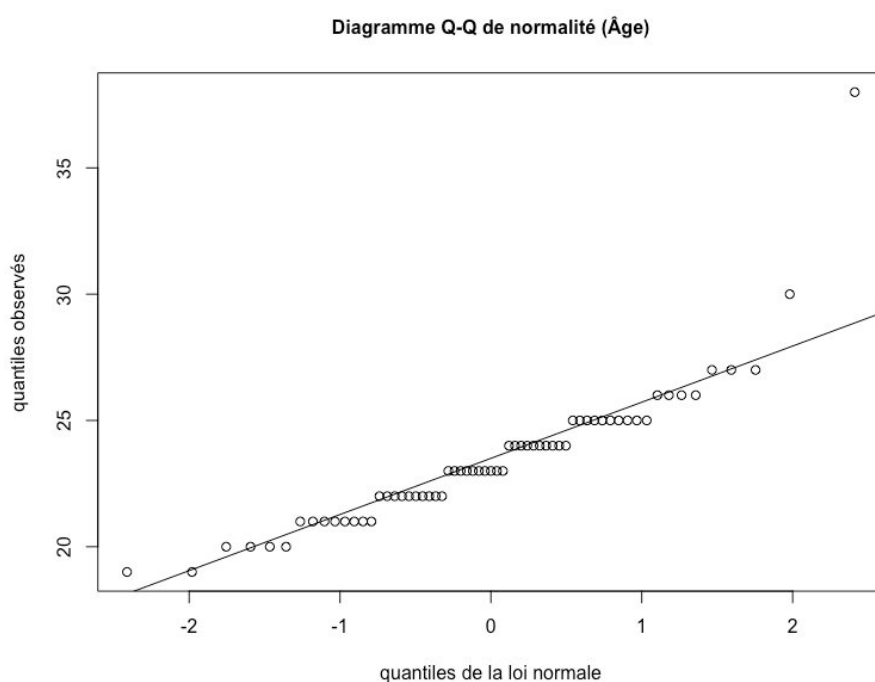


tableau A.6-3 : Effectifs des apprenants selon le niveau d'études

	bac+2	bac+5
Effectif	45	18
Pourcentage	71,43	28,57

tableau A.6-4 : Effectifs des apprenants selon la nature du diplôme secondaire

	bac	BT	bac+BT	BEP+Eq. BT.
Effectif	53	8	1	1
Pourcentage	84,13	12,7	1,59	1,59

tableau A.6-5 : Distribution des apprenants selon la spécialité du diplôme secondaire

	T1	S1	E.M.	S3	S2	T2	Eq. BT	L2+E.M.	M.A.
Effectif	26	14	7	7	4	2	1	1	1
Pourcentage	41,27	22,22	11,11	11,11	6,35	3,17	1,59	1,59	1,59

T1 : fabrication mécanique

T2 : électrotechnique, électronique

S1 : mathématiques et sciences physiques

Eq. BT : équivalence au BT

E.M. : spécialité électromécanique

L2 : sciences sociales et humaines

S3 : sciences et techniques

M.A. : spécialité mécanique automobile

S2 : sciences expérimentales

tableau A.6-6 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel AutoCad

	Moyen	Non App.	Assez bon	Faible	Très bon	Sans réponse
Effectif	33	14	8	3	3	2
Pourcentage	52,38	22,22	12,7	4,76	4,76	3,17

tableau A.6-7 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel Catia

	Non App.	Moyen	Assez bon	Faible	Sans réponse
Effectif	43	9	7	3	1
Pourcentage	68,25	14,29	11,11	4,76	1,59

tableau A.6-8 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks

	Moyen	Non App.	Assez bon	Faible	Très bon	Sans réponse
Effectif	31	18	11	1	1	1
Pourcentage	49,21	28,57	17,46	1,59	1,59	1,59

tableau A.6-9 : Structure des résultats aux tests de visualisation spatiale (n = 63)

	Moyenne	Écart type	Médiane	Min.	Max.
Score PSVT-R	0,38	0,17	0,37	0,03	0,87
Score MCT	0,31	0,16	0,28	0,04	0,72
Score MRT	0,14	0,13	0,10	0,00	0,60
Moyenne Scores	0,27	0,13	0,26	0,06	0,62

figure A.6-4 : Distribution des scores au PSVT-R, MCT, MRT et de leur moyenne

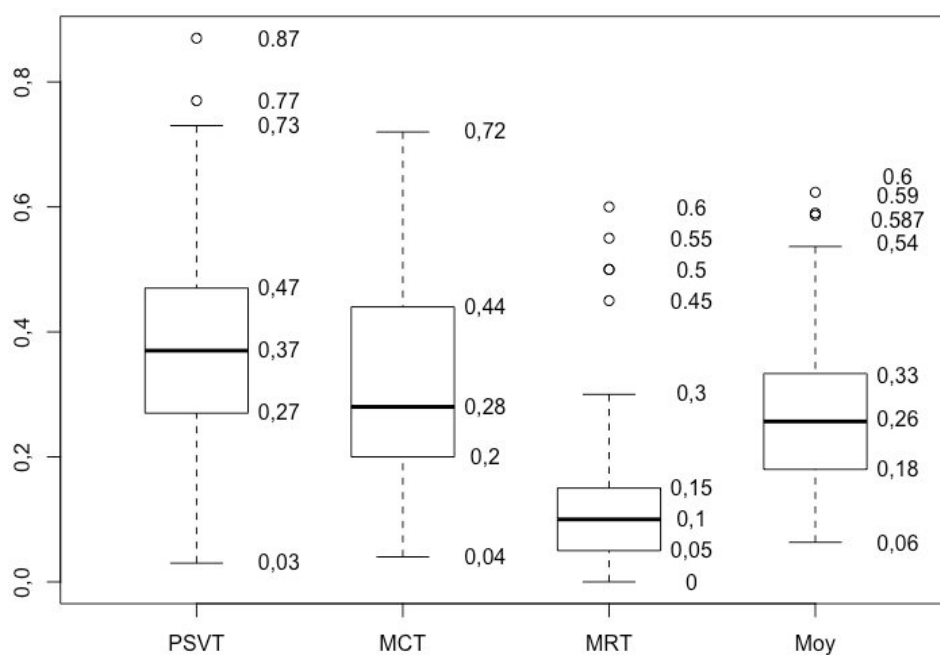


figure A.6-5 : Distribution des moyennes des scores au PSVT-R, MCT et MRT

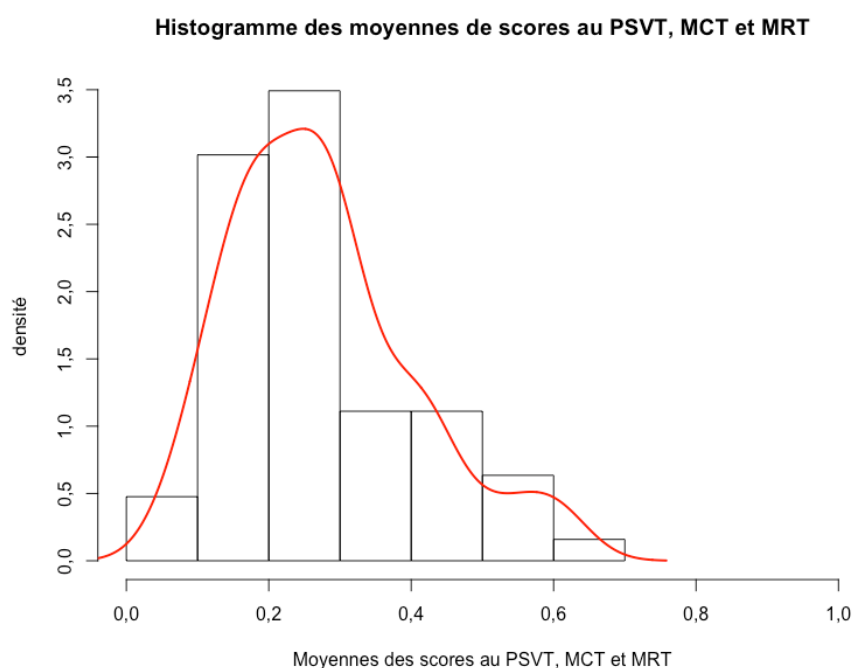


figure A.6-6 : Diagramme quantiles-quantiles de normalité de la distribution des moyennes de scores au PSVT-R, MCT et MRT

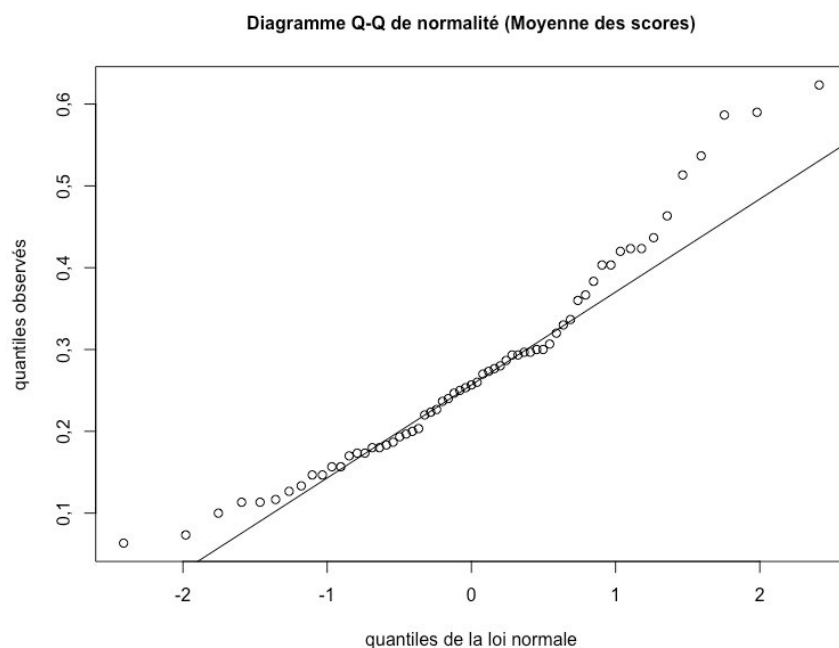


tableau A.6-10 : Âge des apprenants impliqués dans l'activité de co-conception (n=12)

	Moyenne	Médiane	Écart type	Min	Max
Âge	23,33	23	2,02	21	26

tableau A.6-11 : Scores aux tests de visualisation spatiale des apprenants impliqués dans l'activité de co-conception (n = 12)

	Moyenne	Médiane	Écart type	Min	Max
PSVT_R	0,4	0,415	0,14	0,2	0,63
MCT	0,38	0,32	0,15	0,16	0,6
MRT	0,097	0,105	0,07	0	0,2
Moy	0,292	0,287	0,11	0,173	0,437

tableau A.6-12 : Temporalité des actions de co-conception et du recours aux représentations externes (n = 4007)

	Moyenne	Médiane	Écart type	Min	Max
début	1618,2	1468,5	1060,11	0	3597,8
fin	1624,12	1476,7	1061,01	4,9	3600
duree	5,89	2	22,36	0,2	894,3
cumac	135,33	43,7	263,56	0,3	2689,9
cumre	298,98	193	372,18	0,5	2680,7
cumster	372,22	238,7	408,16	0,5	2680,7
cumnum	376,35	240,1	411,33	0,5	2680,7
cumacre	83,73	19,7	234,06	0,3	2579,1
cumacster	95,31	22,7	239,47	0,3	2579,1
cumacnum	95,72	22,8	239,71	0,3	2579,1

cumac : Durées cumulées par chacun des apprenants dans chaque type d'action

cumre : Durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation de chaque type de représentation externe

cumster : Durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes selon leur stéréoscopie

cumnum : Durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes selon la nature du support

cumacre : Durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation de chaque type de représentation externe au cours de chaque type d'action

cumacster : Durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes, selon leur stéréoscopie, au cours de chaque type d'action

cumacnum : Durées cumulées par chacun des apprenants dans la mobilisation des représentations externes, selon la nature du support, au cours de chaque type d'action

tableau A.6-13 : Distribution des actions durant l'activité selon l'apprenant

		9b	19b	12b	17b	15b	20b	9a	11b	5a	1b	15a	19a
Occ.	n	524	459	457	447	377	375	331	295	254	225	149	114
	f	13,08	11,46	11,41	11,16	9,41	9,36	8,26	7,36	6,34	5,62	3,72	2,85
Tps.	d	2350,9	1401,1	2628,3	1931	1385	2079,9	2932,8	3213,4	969,5	798,6	3261,5	639,3
	f	9,97	5,94	11,14	8,19	5,87	8,82	12,43	13,63	4,11	3,35	13,83	2,71

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps d : durée en secondes f : fréquence

tableau A.6-14 : Distribution des actions de résolution de problème

	Occ.		Tps.			Occ.		Tps.			Occ.		Tps.	
	n	f	d	f		n	f	d	f		n	f	d	f
eps	796	19,87	3863,3	16,38	epp	113	2,82	475,5	2	eas	11	0,27	49,6	0,21
ar	786	19,62	591,4	2,5	ras	71	1,77	124,9	0,53	reque	10	0,25	29	0,12
rs	404	10,08	11636,4	49,3	qip	66	1,65	580,1	2,46	ids	8	0,2	24,8	0,1
reqs	322	8,04	858,7	3,64	aost	64	1,6	232,8	0,98	dsot	7	0,17	18	0,07
srs	266	6,64	726,9	3	rec	43	1,07	50,2	0,21	aip	5	0,12	13,4	0,05
rqs	241	6,01	841,8	3,57	rrs	38	0,95	92,4	0,39	cdo	4	0,1	7	0,03
psi	210	5,24	315,1	1,34	prs	37	0,92	129,9	0,55	rtp	3	0,07	8,2	0,03
psr	163	4,07	1914,9	8,1	est	26	0,65	119,6	0,5	pep	1	0,02	1,3	0,005
vcs	144	3,59	365,5	1,55	pes	23	0,57	53,3	0,23	reje	1	0,02	0,6	0,002
so	126	3,15	417,3	1,77	rsot	17	0,42	40,6	0,17	res	1	0,02	0,8	0,003

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps d : durée en secondes f : fréquence

eps :	Explicitation-précision de solutions	rrs :	Requête de représentation de solution
ar :	Manifestation d'attention, d'accord ou de compréhension	prs :	Proposition de représentation de solution
rs :	Représentation de solution	est :	Expression de stratégie ou d'analogie
reqs :	Requête d'explicitation-précision de solutions	pes :	Proposition d'explicitation de solution
srs :	Suggestion de représentation de solution	rsot :	Retrait de supports ou outils de travail
rqs :	Remise en question de solution	eas :	Expression d'absence de solution sur le moment
psi :	Propos suspendus ou indéterminés	reque :	Requête d'explicitation-précision du problème
psr :	Attitude silencieuse de réflexion	ids :	Interrogation sur la démarche à suivre
vcs :	Validation ou consolidation de solution	dsot :	Demande de supports ou outils de travail
so :	Suggestion d'organisation	aip :	Aveu d'incompréhension du problème
epp :	Explicitation-précision du problème	cdo :	Constat de difficulté liée à un outil
ras :	Requête d'approbation de solution	rtp :	Régulation du tour de parole
qip :	Quête d'information sur le problème	pep :	Proposition d'explicitation du problème
aost :	Apport d'outils ou supports de travail	reje :	Rejet d'explicitation du problème
rec :	Requête d'expression de compréhension	res :	Requête d'explicitation de satisfaction liée aux outils

tableau A.6-15 : Distribution des actions durant l'activité selon le binôme

		12b19b	9b15b	17b20b	9a5a	11b1b	15a19a
Occ.	n	916	901	822	585	520	263
	f	22,87	22,49	20,52	14,6	12,98	6,57
Tps.	d	4029,4	3735,9	4010,9	3902,3	4003	3901,8
	f	17,08	15,84	17	16,55	16,97	16,54

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps d : durée en secondes f : fréquence

tableau A.6-16 : Nature des représentations externes mobilisées durant l'activité

		ab_RE	dro	dpp	ep	vda	tp	drp	vsa
Occ.	n	1495	1003	753	623	59	49	19	6
	f	37,31	25,03	18,79	15,55	1,47	1,22	0,47	0,15
Tps.	d	3947,8	11032	4319,9	33218,6	250,8	427,7	55,7	30,8
	f	16,74	46,78	18,32	14,92	1,06	1,81	0,24	0,13

ab_RE : absence de représentations externes dro : dessin réaliste à l'ordinateur
dpp : dessin plan sur papier ep : esquisse sur papier
vda : vidéo de dessin animé tp : texte sur papier
drp : dessin réaliste sur papier vsa : vidéo de schéma animé
Occ. : occurrences n : nombre
Tps. : temps d : durée en secondes
f : fréquence

tableau A.6-17 : Distribution des actions de résolution de problème selon le support de présentation du résultat final

		Numérique	Papier
Occ.	n	3185	822
	f	79,49	20,51
Tps.	d	19572,4	4010,9
	f	82,99	17,01

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps
d : durée en secondes f : fréquence

tableau A.6-18 : Support des représentations externes mobilisées

		absence de représentation externe	Papier	Numérique
Occ.	n	1495	1444	1068
	f	37,31	36,04	26,65
Tps.	d	3963,8	8321,9	11313,6
	f	16,8	35,26	47,94

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps
d : durée en secondes f : fréquence

tableau A.6-19 : Dynamisme des représentations externes mobilisées

		absence de représentation externe	non	oui
Occ.	n	1495	1444	1068
	f	37,31	36,04	26,65
Tps.	d	3963,8	8321,9	11313,6
	f	16,8	35,26	47,94

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps
d : durée en secondes f : fréquence

tableau A.6-20 : Stéréoscopie des représentations externes mobilisées

		absence de représentation externe	non	oui
Occ.	n	1495	1425	1087
	f	37,31	35,56	27,13
Tps.	d	3963,8	8266,2	11369,3
	f	16,8	35,02	48,18

Occ. : occurrences n : nombre Tps. : temps
d : durée en secondes f : fréquence

annexe 7. : Résultats liés à la visualisation et au parcours éducatif

figure A.7-1 : Distribution de l'âge selon la nature du diplôme secondaire obtenu

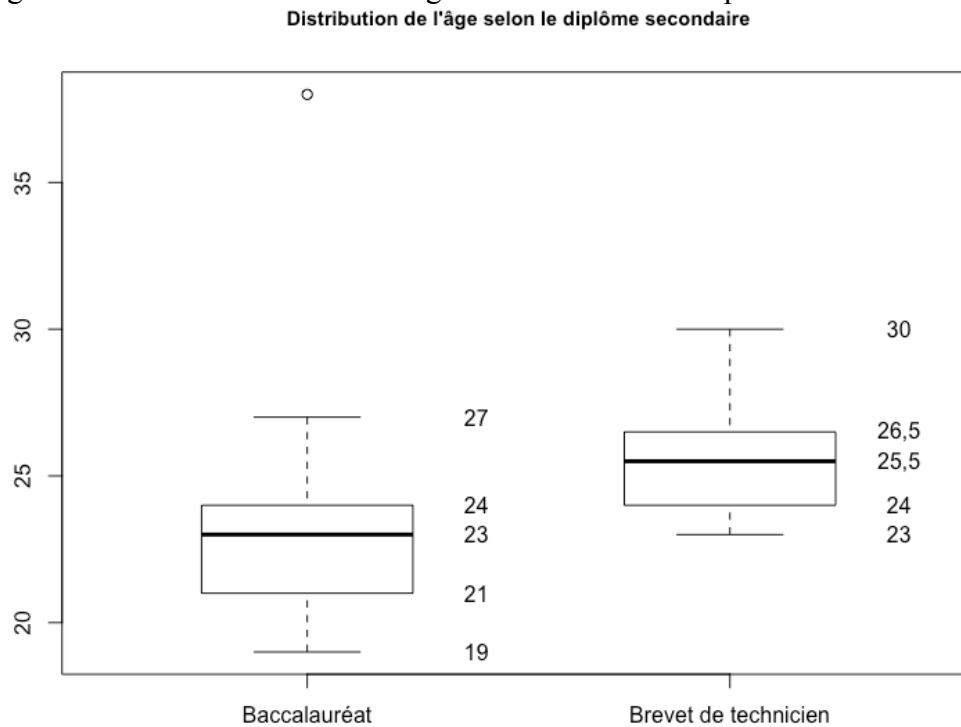


figure A.7-2 : Distribution de la moyenne des scores liés à la visualisation spatiale selon le diplôme secondaire obtenu

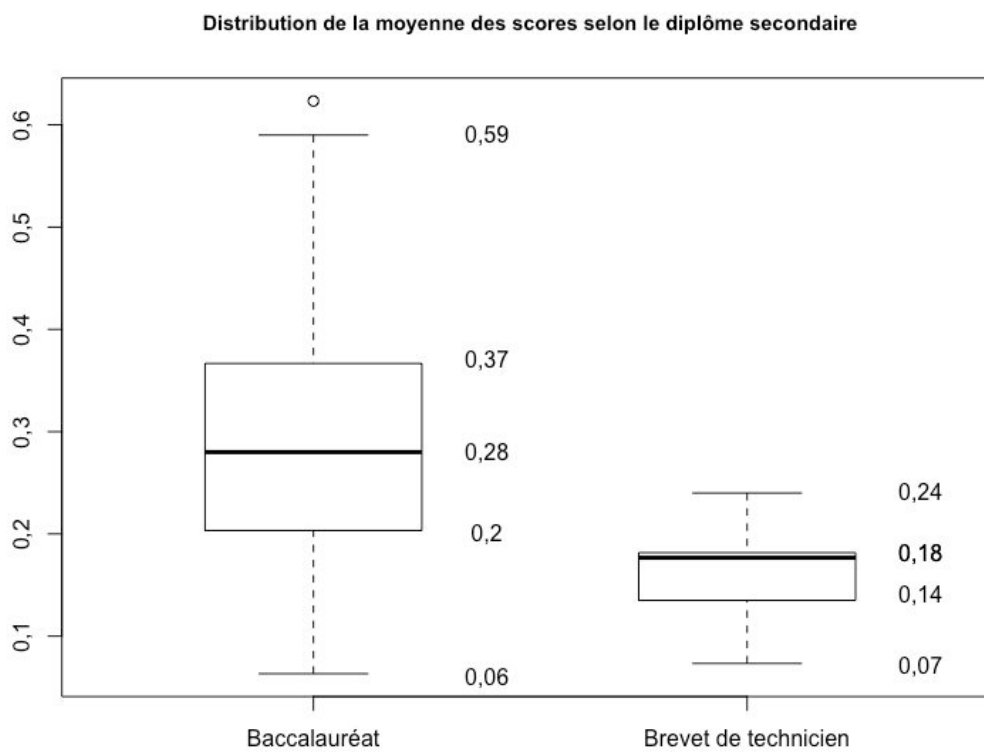


figure A.7-3 : Distribution de la moyenne des scores liés à la visualisation spatiale selon le niveau d'études

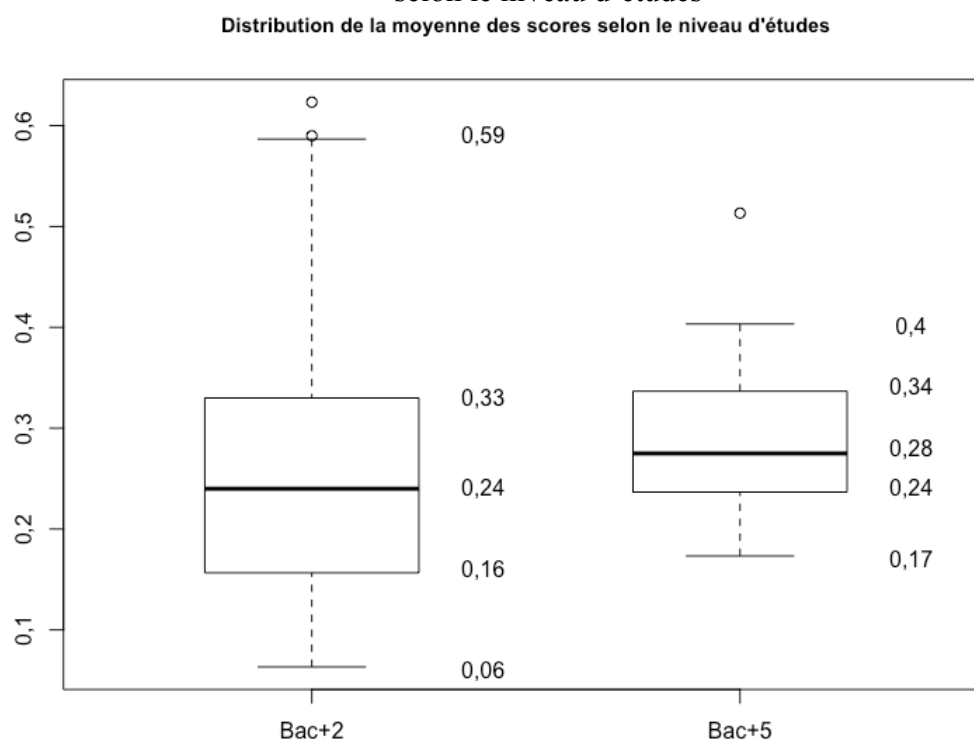


figure A.7-4 : Distribution de la moyenne des scores liés à la visualisation spatiale selon le genre

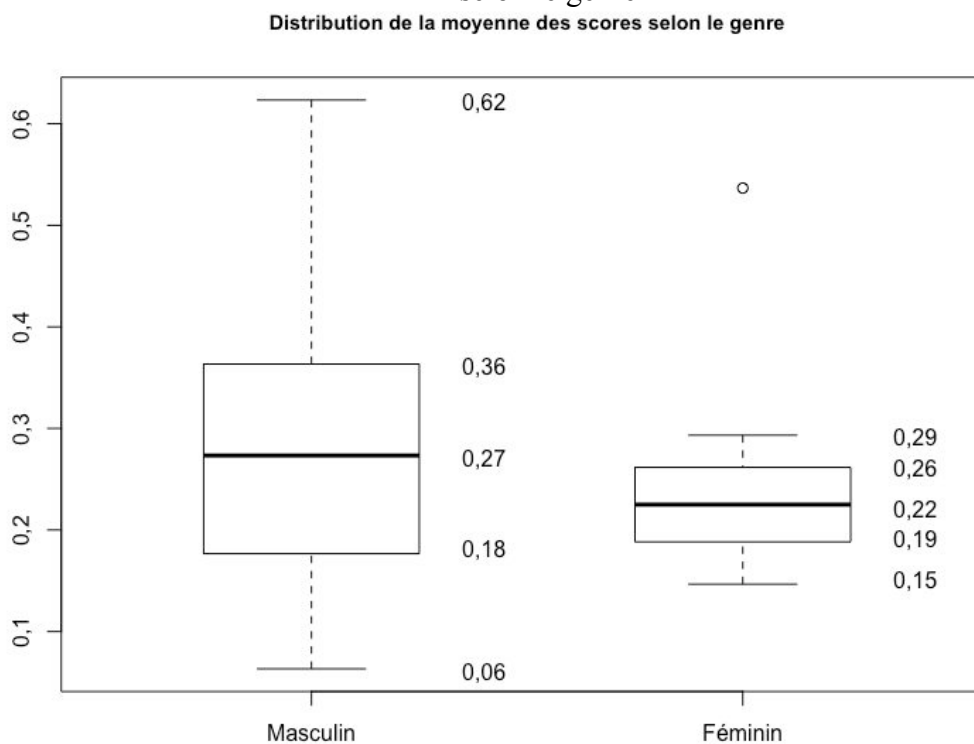


figure A.7-5 : Niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks selon le diplôme obtenu

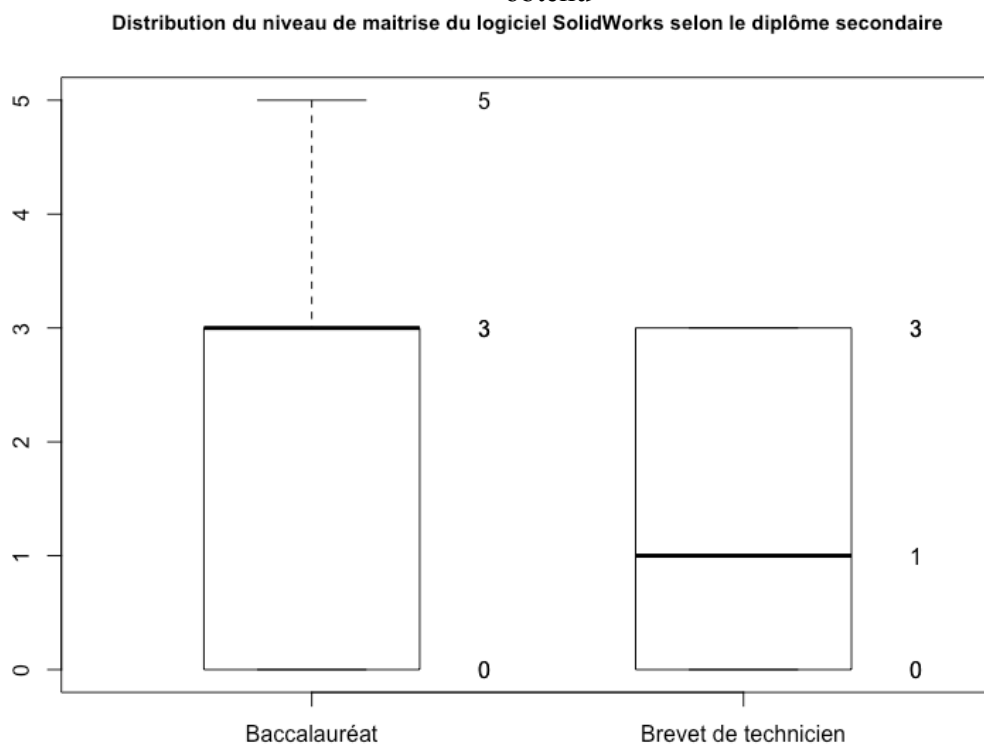
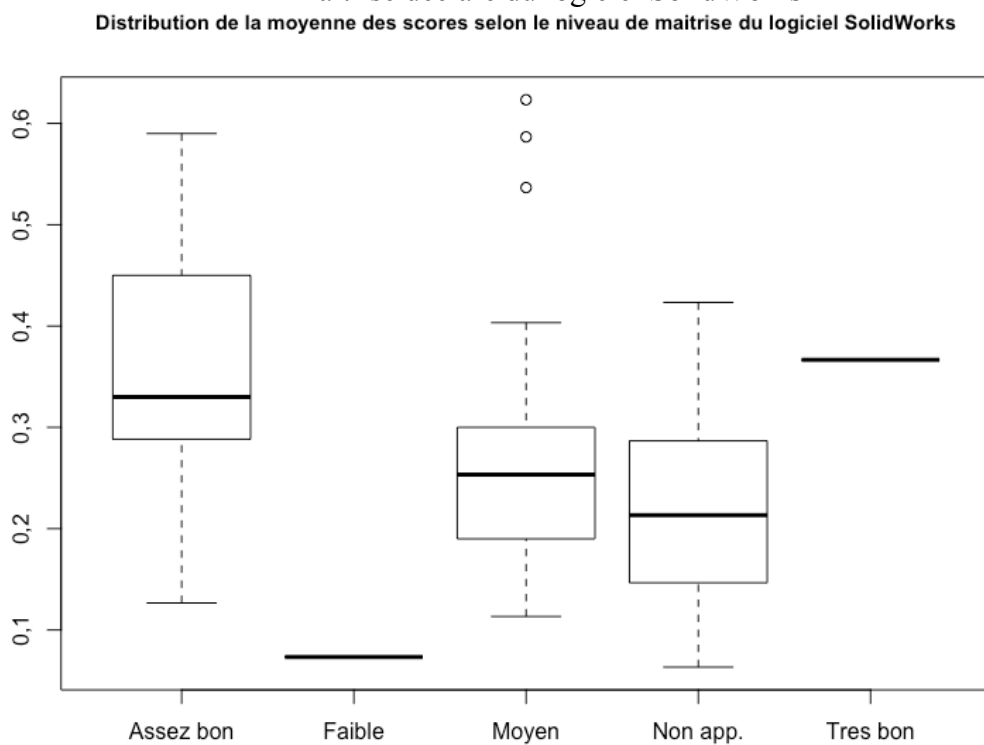


figure A.7-6 : Moyenne des scores de visualisation spatiale selon le niveau de maîtrise déclaré du logiciel SolidWorks

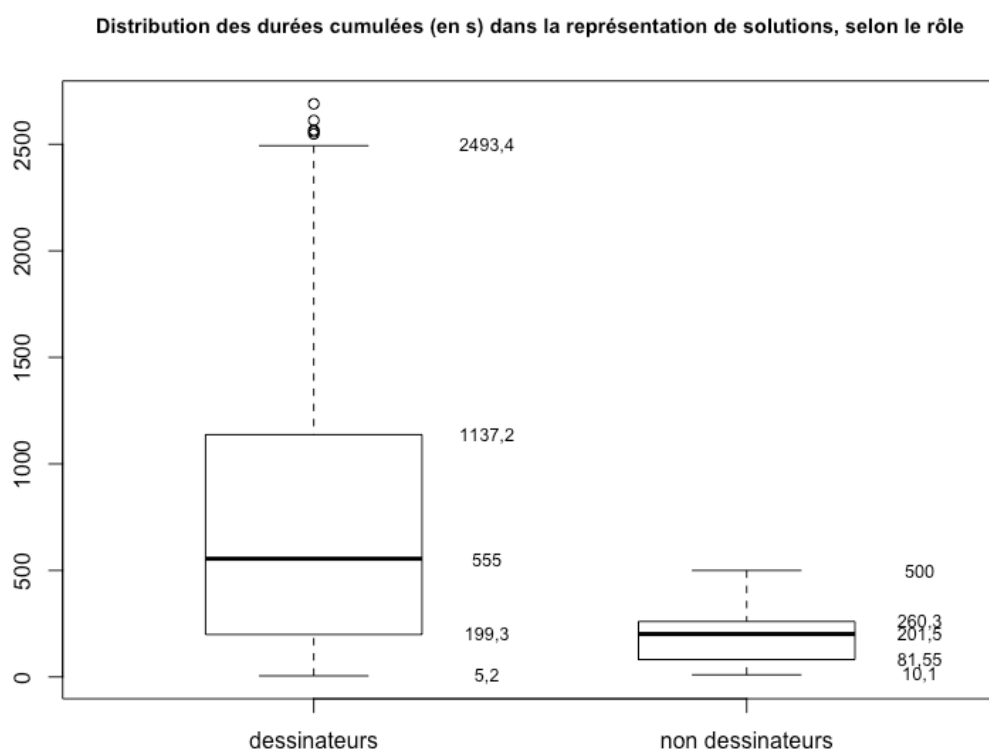


annexe 8. : Représentations externes et visualisation : tests et résultats

tableau A.8-1 : Distribution des actions de représentation de solutions au sein des binômes

Binôme	12b19b		9a5a		11b1b		15a19a		9b15b		20b17b	
Apprenant	12b	19b	9a	5a	11b	1b	15a	19a	9b	15b	20b	17b
Nombre actions	88	29	68	0	36	1	23	2	76	19	42	20
Pourcentage global	21,78	7,18	16,83	0	8,91	0,25	5,69	0,5	18,81	4,7	10,4	4,95
Pourcentage dans binôme	75,21	24,79	100	0	97,29	2,7	92	8	80	10	67,74	32,26
Valeur de p du test de Chi2	$< 2,2.10^{-16}$											

figure A.8-1 : Distribution des durées cumulées de représentation de solutions selon le rôle au sein des équipes



Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: cumrsdless and cumrsndless

W = 18324, p-value = 1,677e-13

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

tableau A.8-2 : Description des durées cumulées des actions de représentation de solution selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	717,11	555	5,2	2689,9	591,45	333
Scores les plus faibles	200,05	201,5	10,1	500	136,24	71

figure A.8-2 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports numériques selon le niveau de score

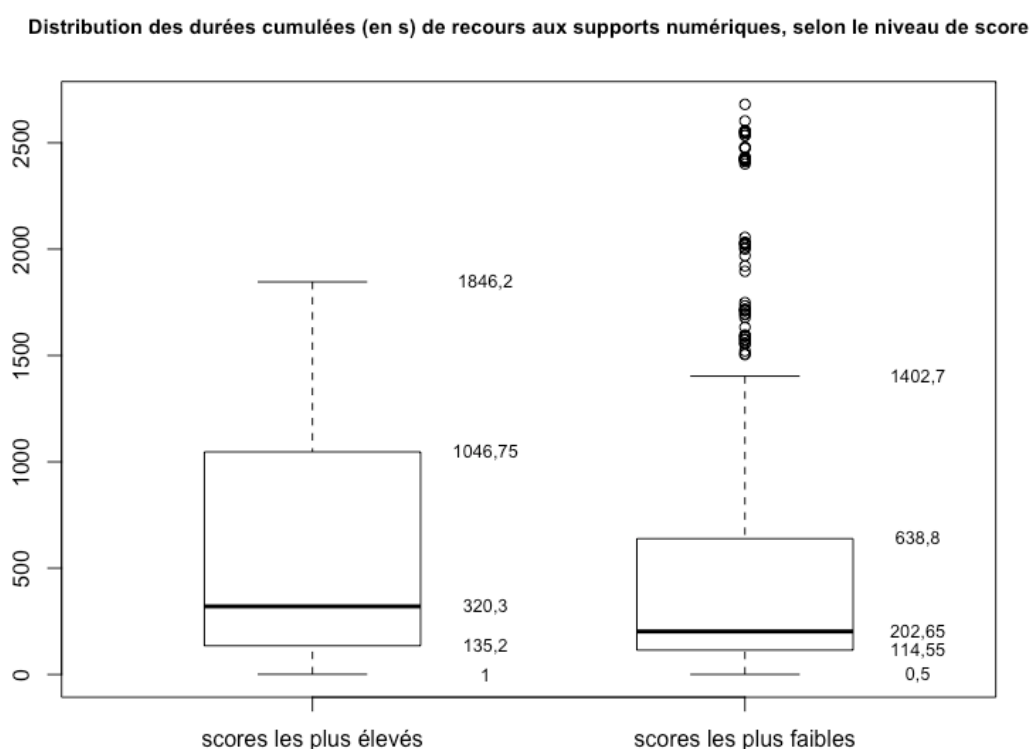


tableau A.8-3 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports numériques selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	579,42	320,3	1	1846,2	536,99	652
Scores les plus faibles	521,23	202,65	0,5	2680,7	707,13	416

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFnumcum and donneescpltfnumcum

W = 156700, p-value = 8,938e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.8-3 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports spatiaux selon le niveau de score

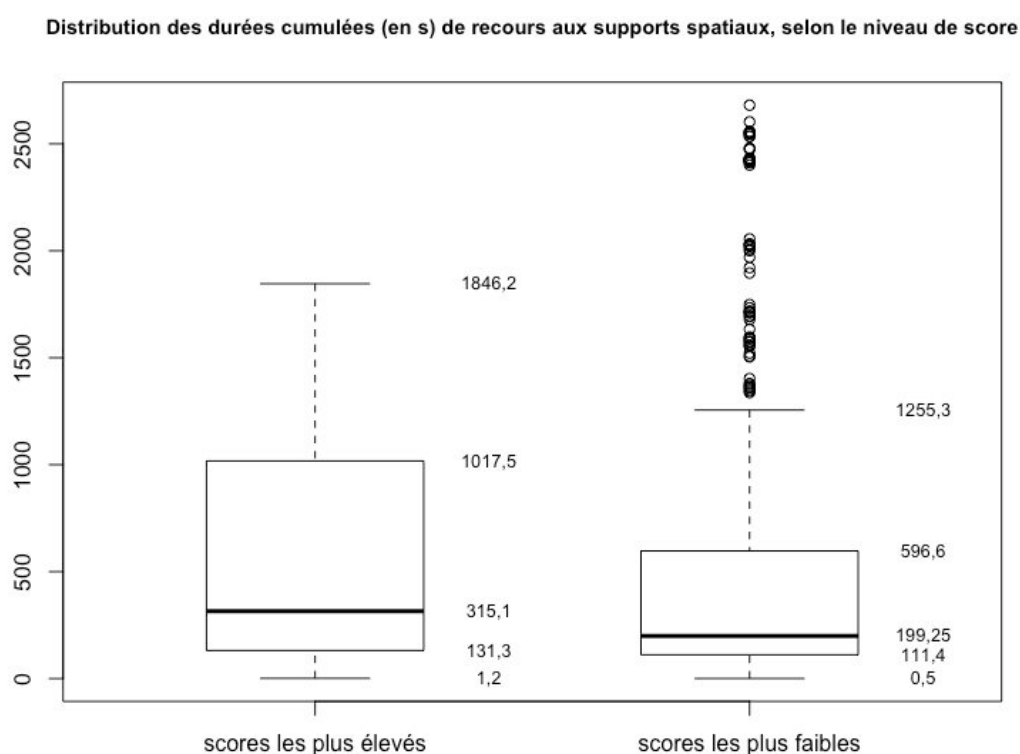


tableau A.8-4 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports spatiaux selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	571,92	315,1	1,2	1846,2	537,13	661
Scores les plus faibles	511,01	199,25	0,5	2680,7	701,89	426

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFspatcum and donneescpltfspatcum

W = 162560, p-value = 8,213e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.8-4 : Distribution des durées cumulées d'absence de recours à un quelconque support selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) d'absence de recours à un quelconque support, selon le niveau de score

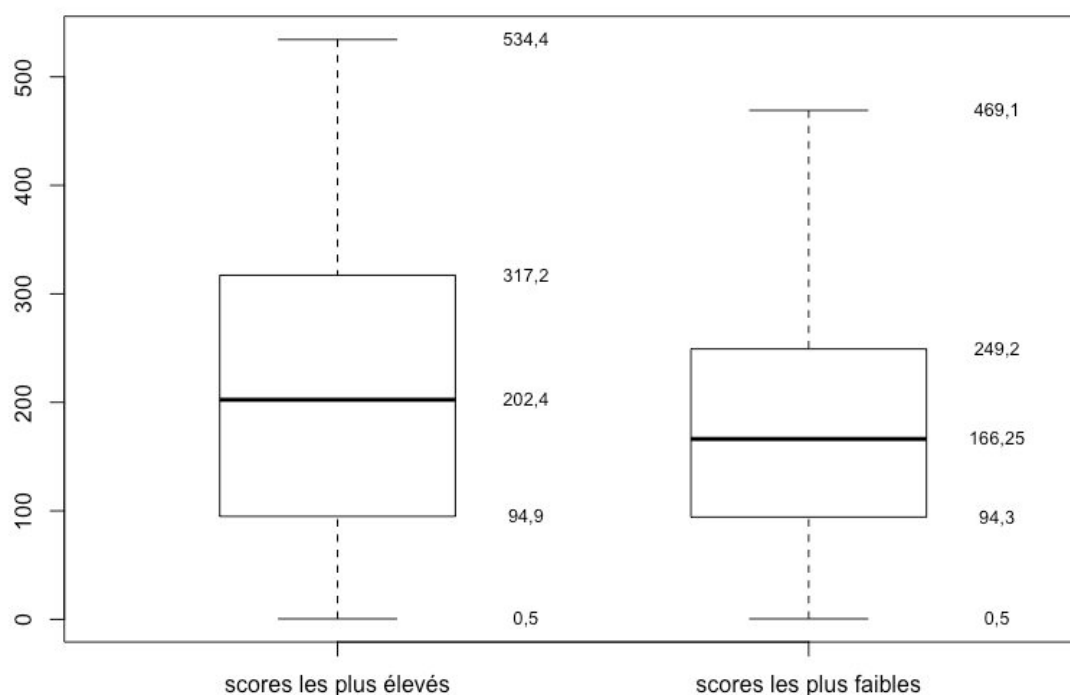


tableau A.8-5 : Description des durées cumulées des actions ne recourant au moindre support selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	214,38	202,4	0,5	534,4	135,21	913
Scores les plus faibles	185,93	166,25	0,5	469,1	121,73	582

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFabndcum and donneescpltfabndcum

W = 297380, p-value = 4,917e-05

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.8-5 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports sur papier selon le niveau de score

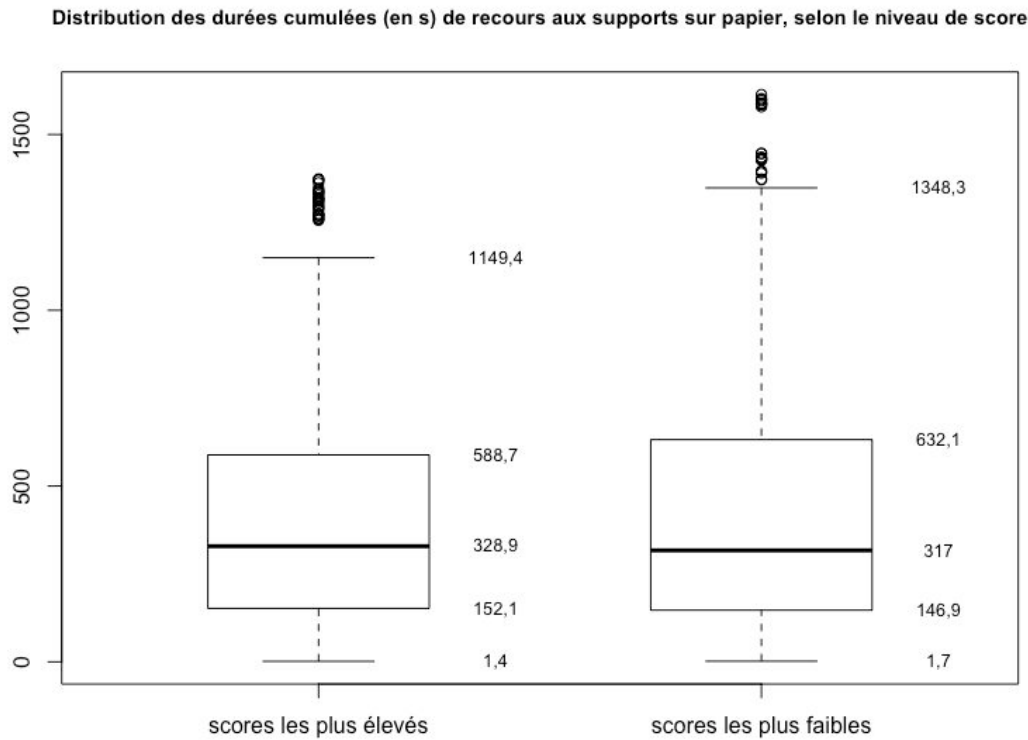


tableau A.8-6 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports papier selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	411,59	328,9	1,4	1373,4	327,72	767
Scores les plus faibles	432,93	317	1,7	1613,5	367,49	677

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFpapcum and donneescpltfpapcum

W = 256220, p-value = 0,6663

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.8-6 : Distribution des durées cumulées de mise à contribution de supports plans selon le niveau de score

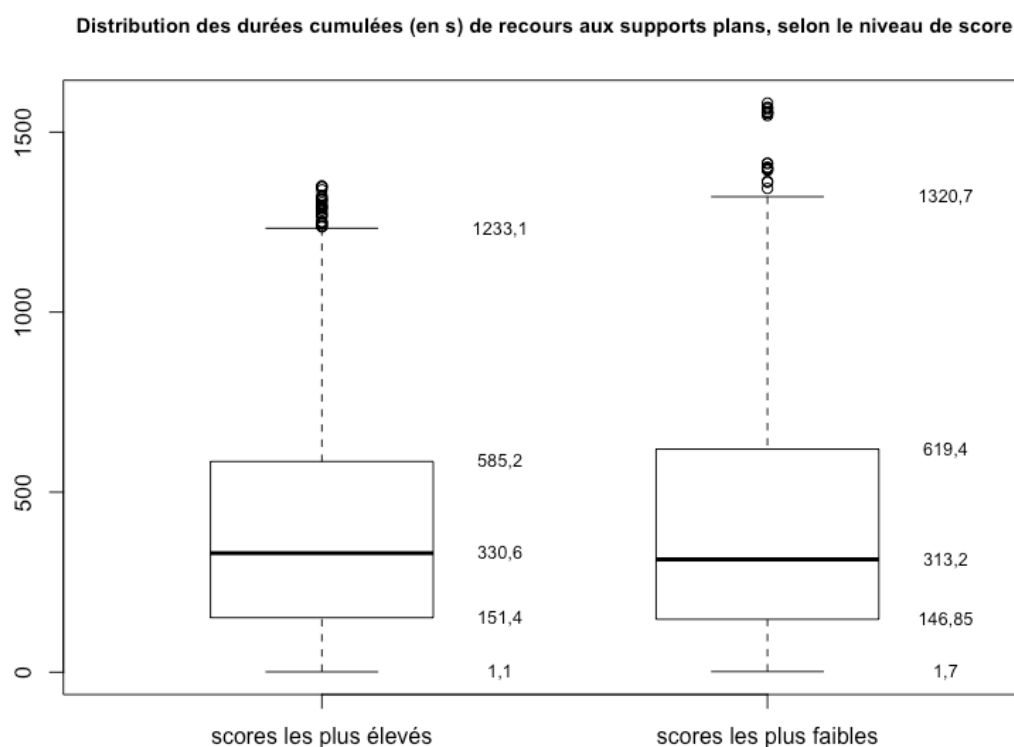


tableau A.8-7 : Description des durées cumulées des actions recourant à des supports plans selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	408,13	330,6	1,1	1350,5	321,29	758
Scores les plus faibles	423,5	313,2	1,7	1580,7	355,01	667

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltfplancum and donneespltfplancum

W = 251300, p-value = 0,8478

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.8-7 : Distribution des instants de survenue des actions de mise à contribution de supports plans selon le niveau de score

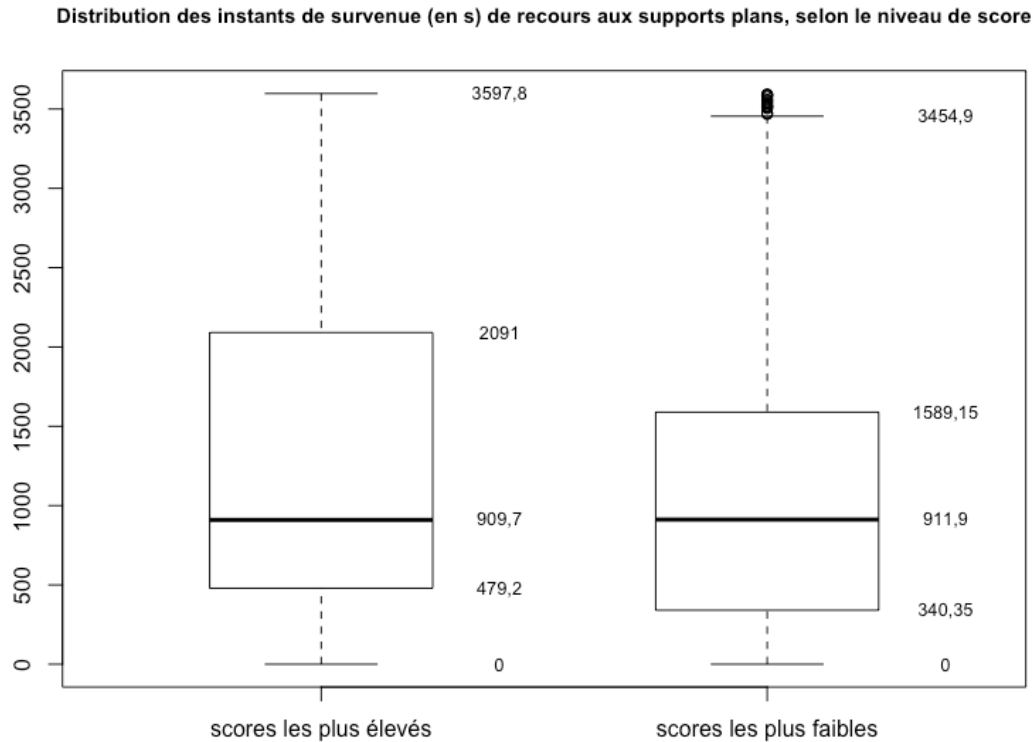


tableau A.8-8 : Description des instants de survenue des actions recourant à des supports plans selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1279,16	909,7	0	3597,8	1049,06	758
Scores les plus faibles	1192,98	911,9	0	3593,4	1021,35	667

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFplandeb and donneescpltfplandeb

W = 264910, p-value = 0,1181

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.8-8 : Distribution des instants de survenue des actions de mise à contribution de supports spatiaux selon le niveau de score

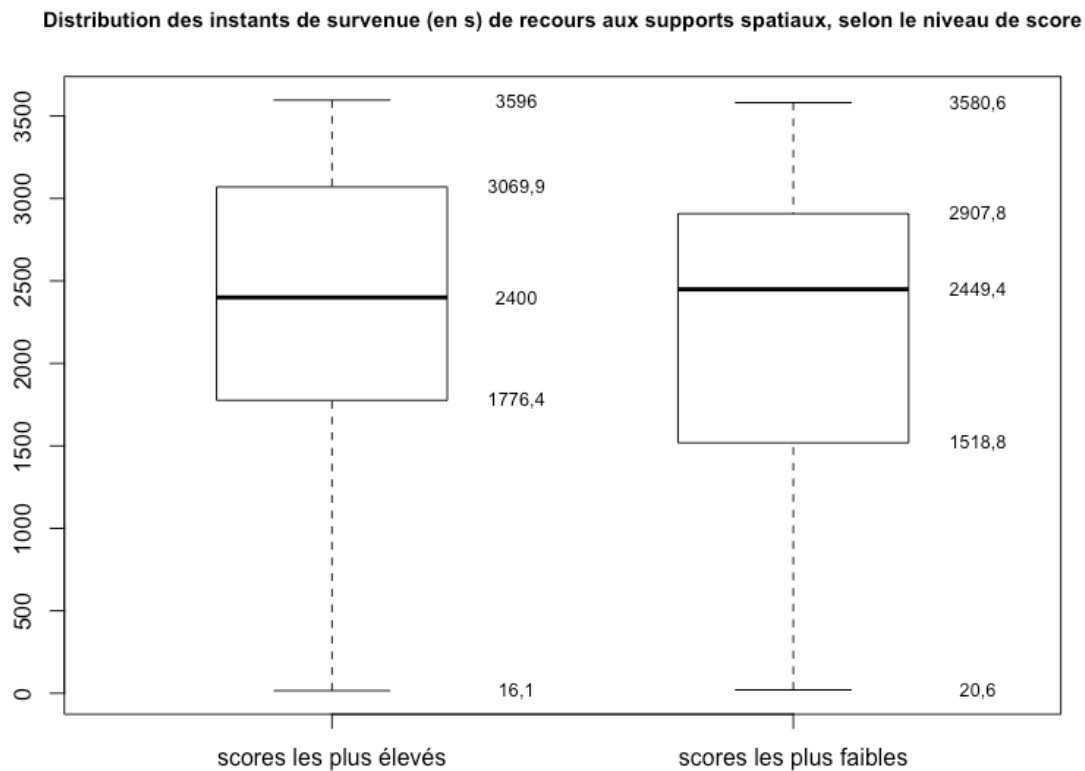


tableau A.8-9 : Description des instants de survenue des actions recourant à des supports spatiaux selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2358,39	2400	16,1	3596	826,61	661
Scores les plus faibles	2253,58	2449,4	20,6	3580,6	855,72	426

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFspatdeb and donneescpltfspatdeb

W = 151410, p-value = 0,01784

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.8-9 : Distribution des instants de survenue des actions sans mise à contribution d'un quelconque support selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) d'absence de recours à un quelconque support, selon le niveau de score

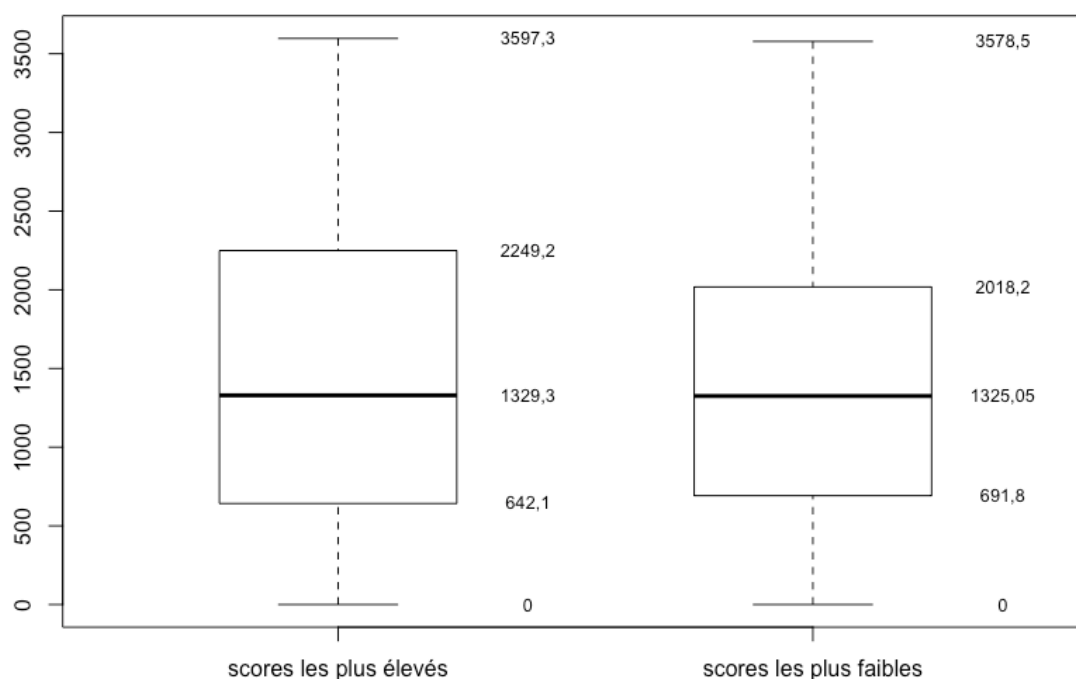


tableau A.8-10 : Description des instants de survenue des actions sans mise à contribution d'un quelconque support selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1483,75	1329,3	0	3597,3	993,32	913
Scores les plus faibles	1449,3	1325,05	0	3578,5	961,84	582

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFabnddeb and donneescpltfabnddeb

W = 268900, p-value = 0,6928

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.8-10 : Distribution des instants de survenue des actions de mise à contribution de supports papier selon le niveau de score

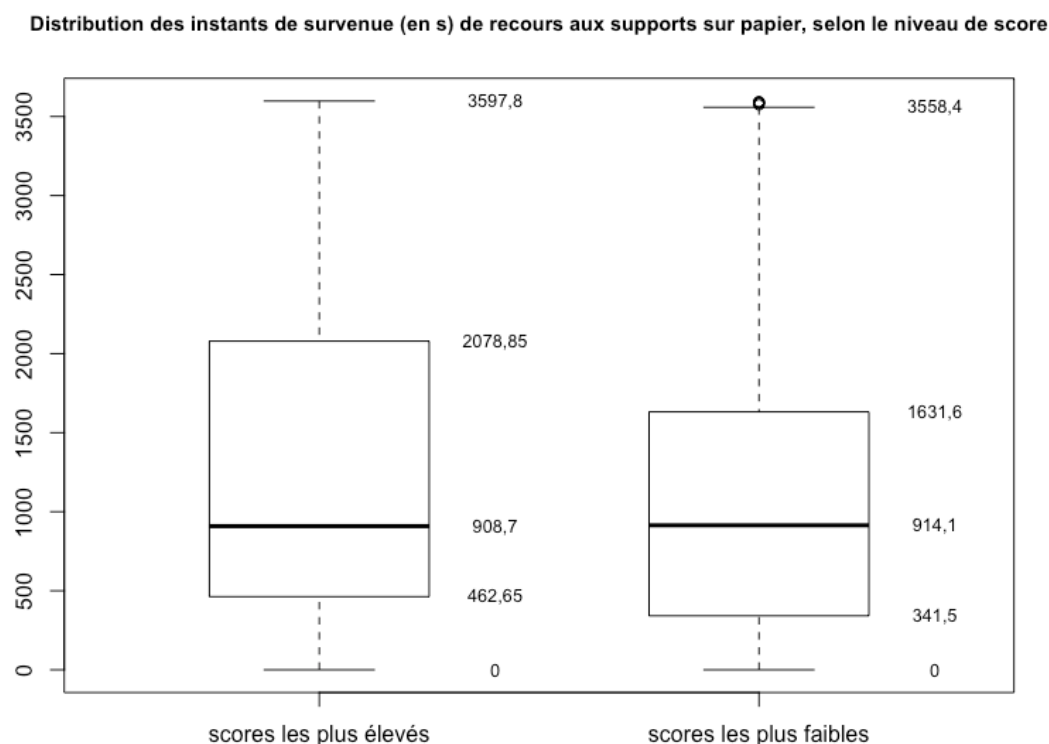


tableau A.8-11 : Description des instants de survenue des actions de mise à contribution de supports papier selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1275,43	908,7	0	3597,8	1051,14	767
Scores les plus faibles	1201,88	914,1	0	3593,4	1028,76	677

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltfpapdeb and donneescpltfpapdeb

W = 270270, p-value = 0,1785

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.8-11 : Distribution des instants de survenue des actions de mise à contribution de supports numériques selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) de recours aux supports numériques, selon le niveau de score

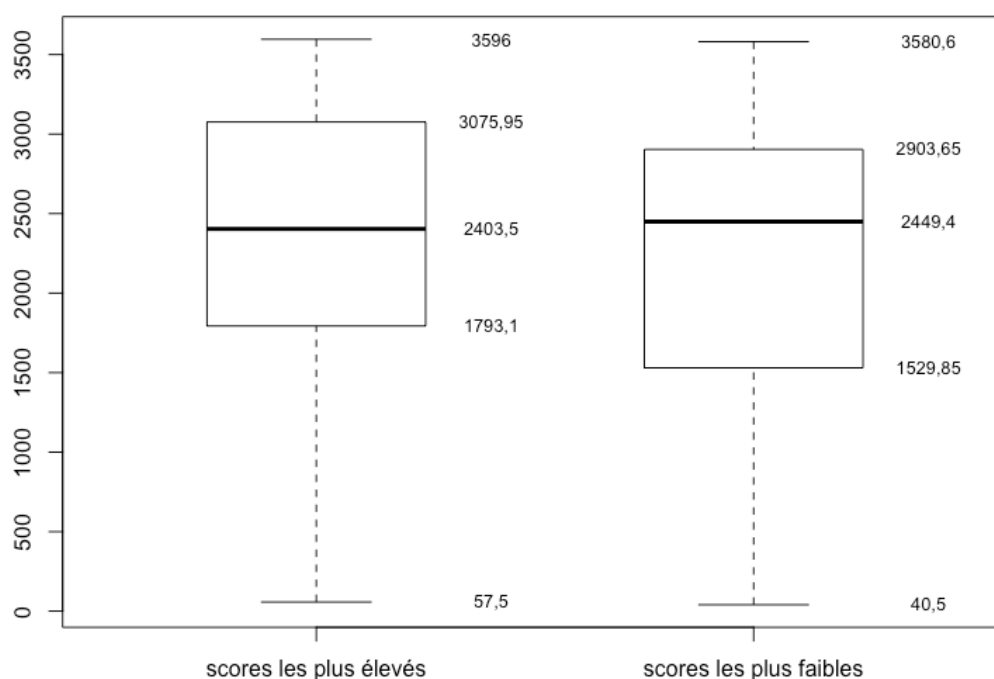


tableau A.8-12 : Description des instants de survenue des actions de mise à contribution de supports numériques selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2377,68	2403,5	57,5	3596	803,99	652
Scores les plus faibles	2264,59	2449,4	40,5	3580,6	838,72	416

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltFnumdeb and donneescpltfnumdeb

W = 146620, p-value = 0,01261

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

annexe 9. : Actions de co-conception et visualisation : tests et résultats

figure A.9-1 : Distribution des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions d'explicitation-précision de solutions, selon le niveau de score

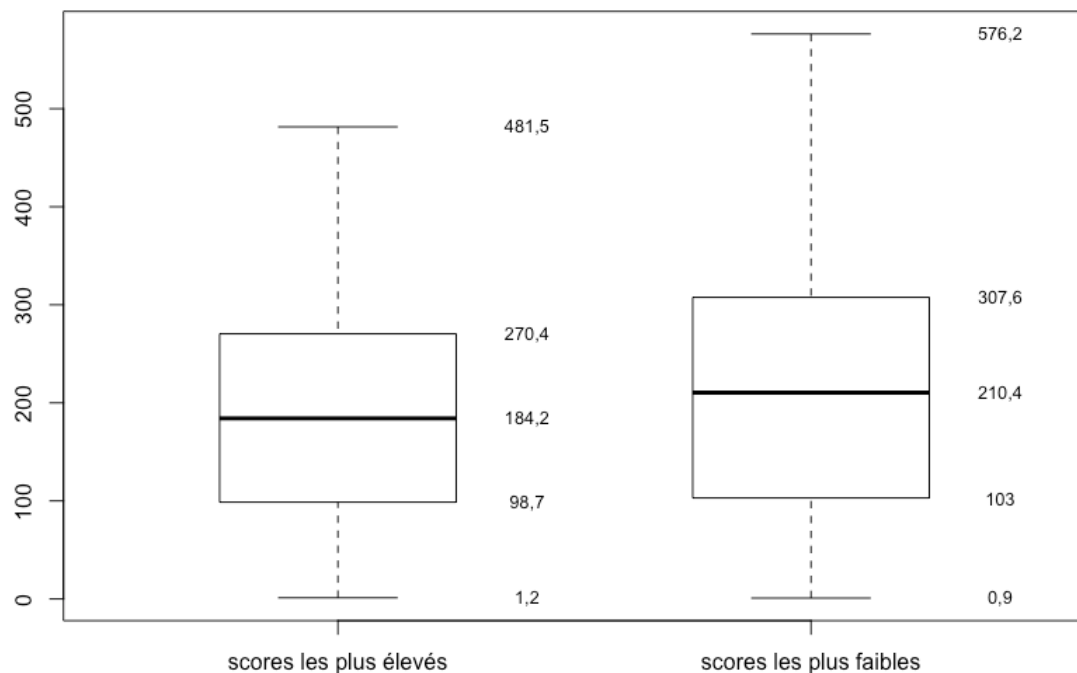


tableau A.9-1 : Description des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	190,46	184,2	1,2	481,5	113,78	465
Scores les plus faibles	217,56	210,4	0,9	576,2	138,18	331

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsFcum and donneescpltpsfcum

W = 69570, p-value = 0,01043

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A.9-2 : Distribution des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score

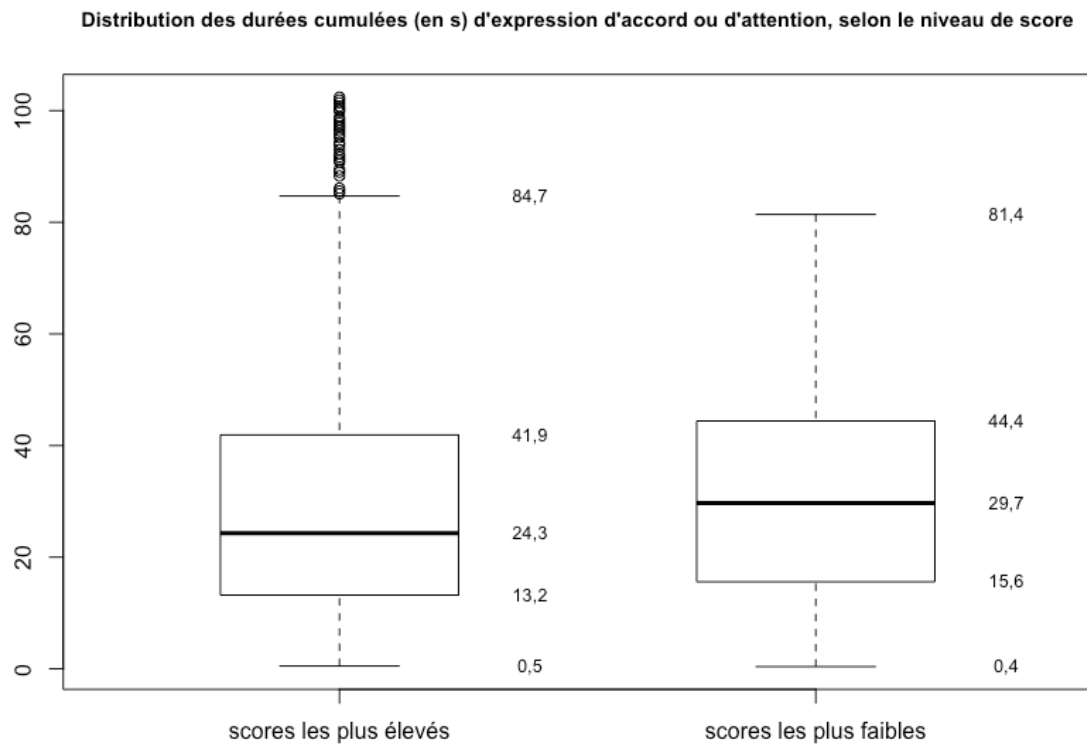


tableau A.9-2 : Description des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	32,48	24,3	0,5	102,4	26,8	381
Scores les plus faibles	31,48	29,7	0,4	81,4	19,89	405

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarFcum and donneescpltarfcum

W = 72407, p-value = 0,1358

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-3 : Distribution des durées cumulées des actions de représentation de solutions selon le niveau de score

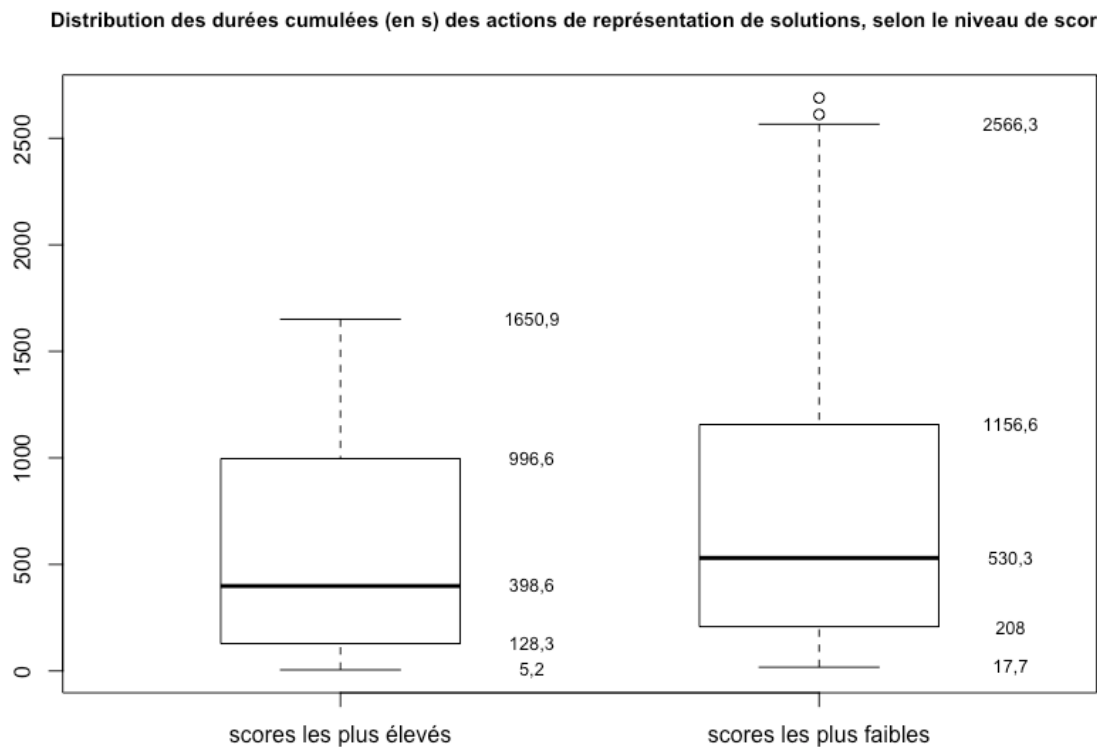


tableau A.9-3 : Description des durées cumulées des actions de représentation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	572,28	398,6	5,2	1650,9	504,29	283
Scores les plus faibles	752,42	530,3	17,7	2689,9	698,9	121

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrsFcum and donneespltrsfcum

W = 14648, p-value = 0,01071

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A.9-4 : Distribution des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions de requête d'explicitation-précision de solutions, selon le niveau de score

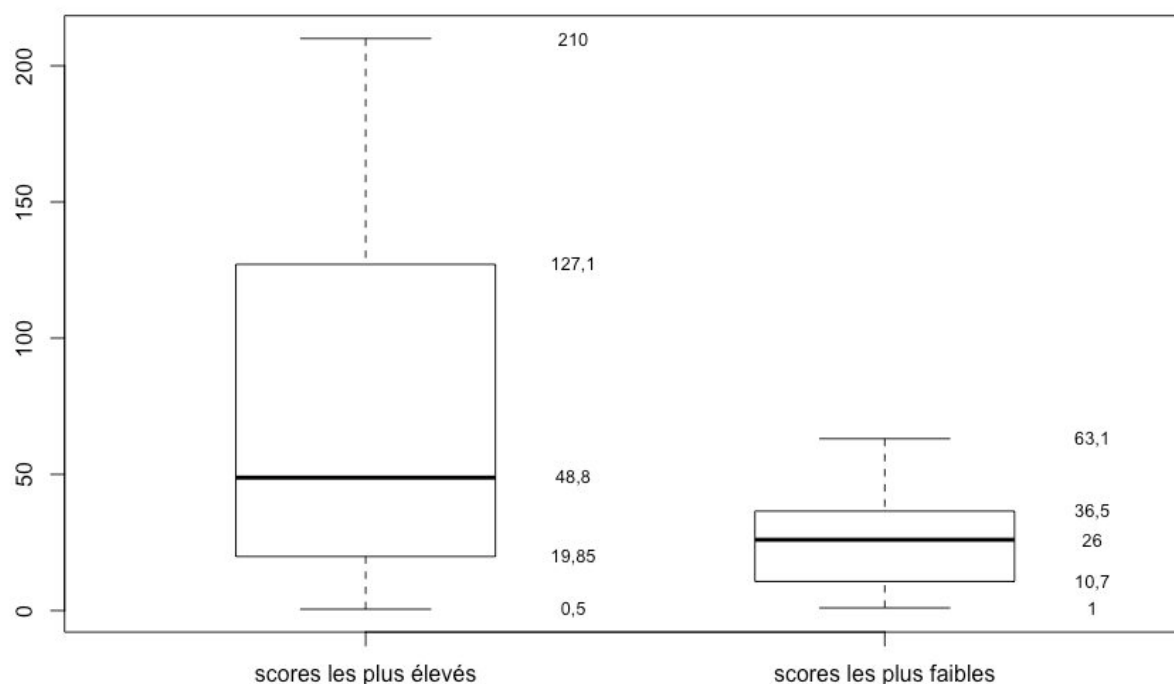


tableau A.9-4 : Description des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	73,79	48,8	0,5	210	63,42	220
Scores les plus faibles	24,51	26	1	63,1	15,39	102

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsFcum and donneescpltreqsfcum

W = 16031, p-value = 3,014e-10

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-5 : Distribution des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions de suggestion de représentation de solutions, selon le niveau de score

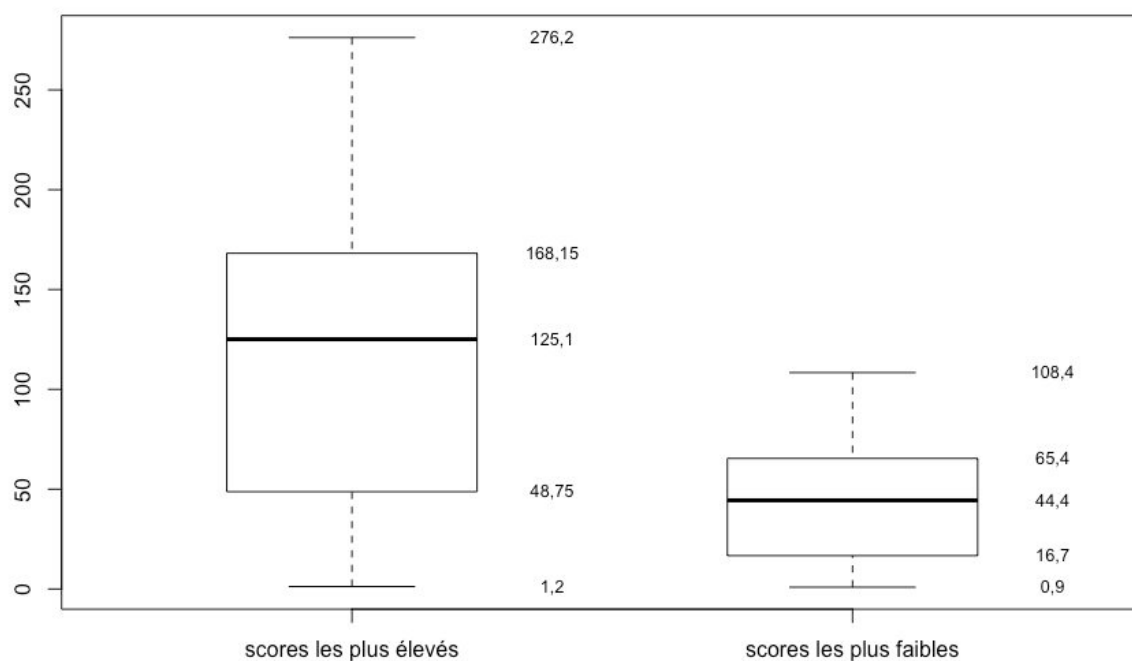


tableau A.9-5 : Description des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	116,39	125,1	1,2	276,2	75,6	176
Scores les plus faibles	44,56	44,4	0,9	108,4	30,76	90

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsFcum and donneescpltsrsfcum

W = 12290, p-value = 9,181e-14

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-6 : Distribution des durées cumulées des remises en question de solutions selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions de remise en question de solutions, selon le niveau de score

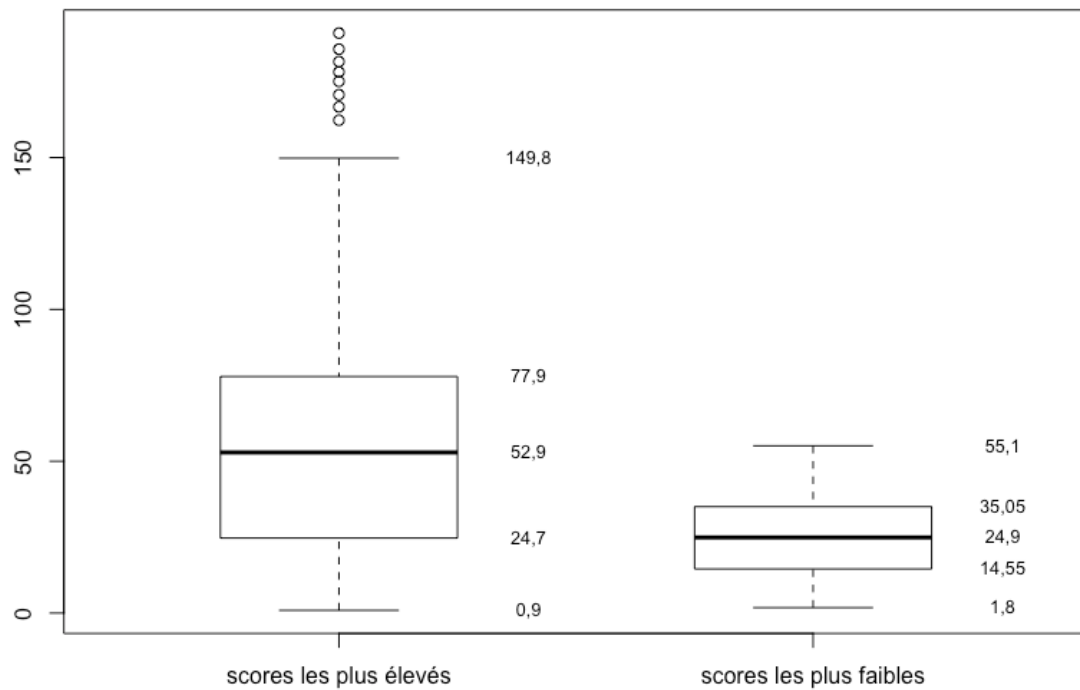


tableau A.9-6 : Description des durées cumulées des remises en question de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	58,84	52,9	0,9	191	42,64	173
Scores les plus faibles	24,64	24,9	1,8	55,1	13,28	68

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsFcum and donneescpltrqsfcum

W = 8948, p-value = 1,549e-10

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-7 : Distribution des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score

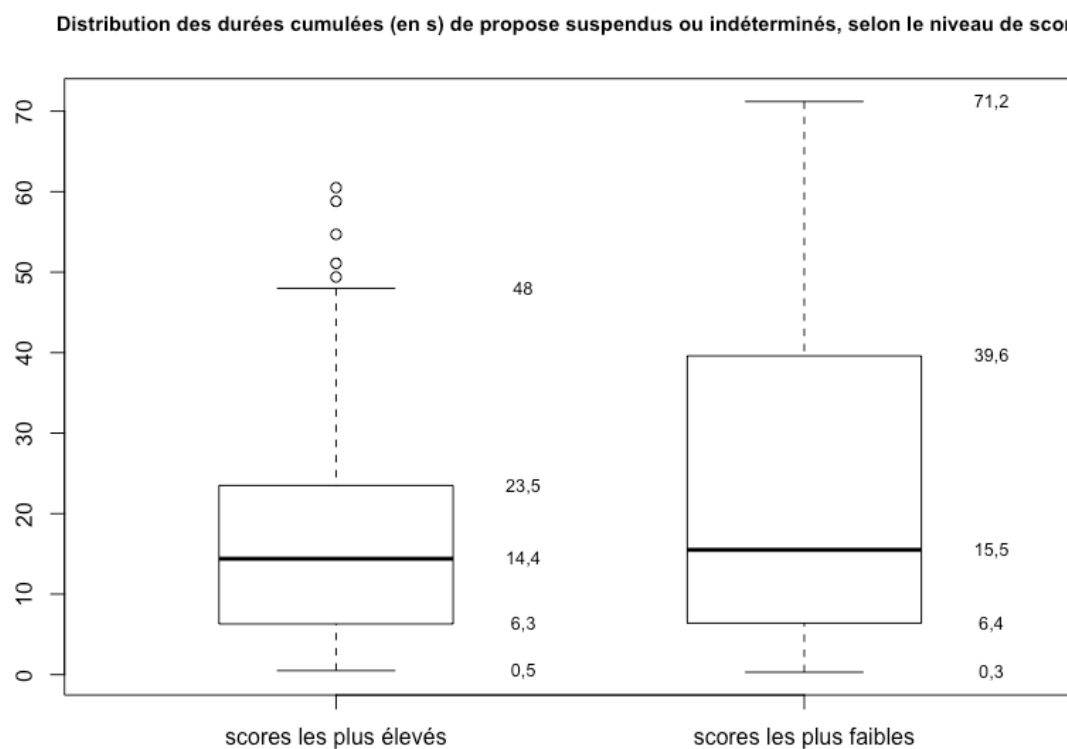


tableau A.9-7 : Description des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	17,47	14,4	0,5	60,5	14,13	100
Scores les plus faibles	23,21	15,5	0,3	71,2	19,46	110

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltpsifcum and donneespltpsifcum

W = 4851, p-value = 0,1403

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-8 : Distribution des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score

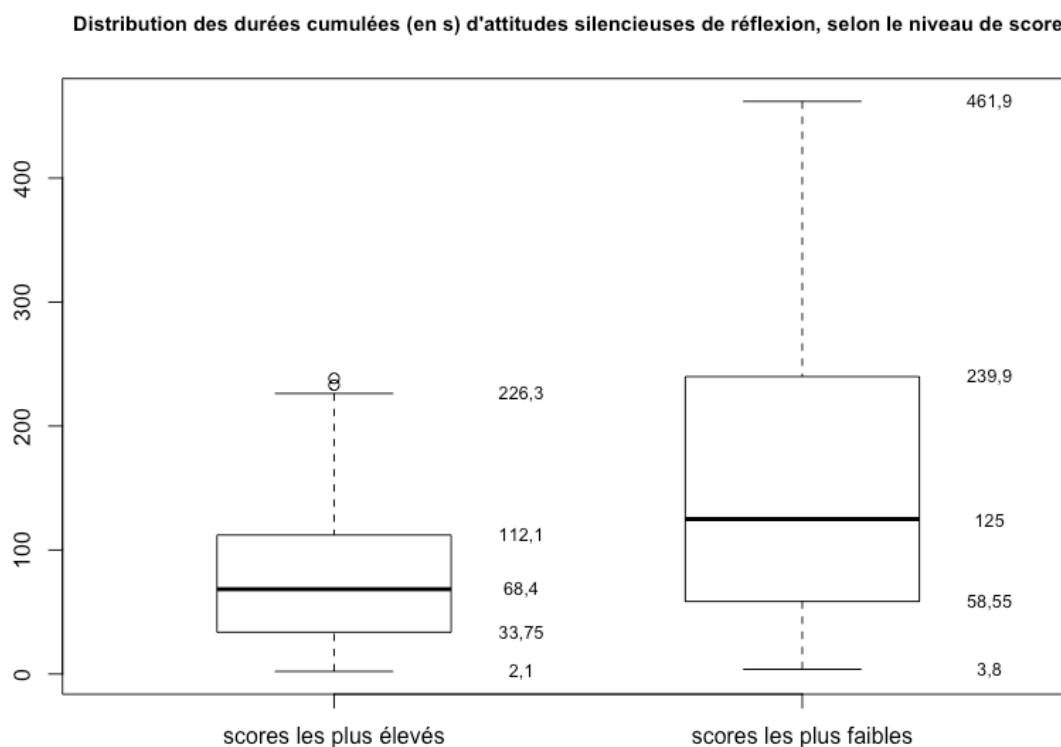


tableau A.9-8 : Description des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	85,76	68,4	2,1	238,5	65,31	63
Scores les plus faibles	160,23	125	3,8	461,9	122,8	100

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsrfcum and donneescpltpsrfcum

W = 2094, p-value = 0,0001609

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A.9-9 : Distribution des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions de validation-consolidation de solutions, selon le niveau de score

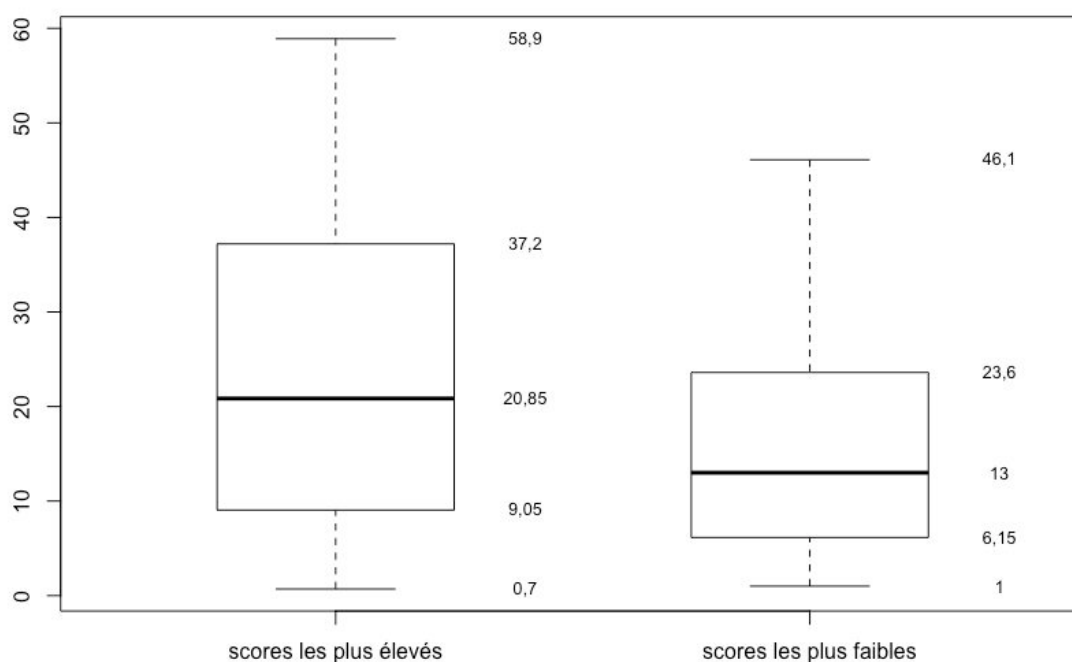


tableau A.9-9 : Description des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	23,15	20,85	0,7	58,9	15,46	96
Scores les plus faibles	15,59	13	1	46,1	11,45	48

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsFcum and donneescpltvcsfcum

W = 2946,5, p-value = 0,003256

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-10 : Distribution des durées cumulées des suggestions d'organisation selon le niveau de score

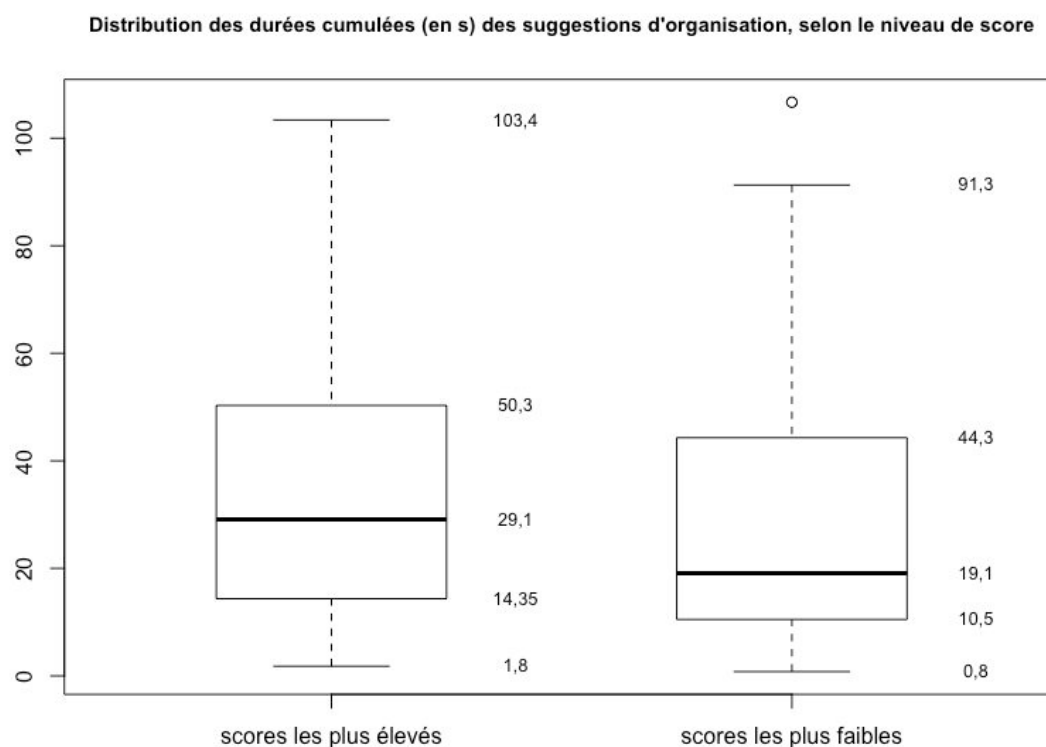


tableau A.9-10 : Description des durées cumulées des suggestions d'organisation selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	34,36	29,1	1,8	103,4	25,83	83
Scores les plus faibles	30,96	19,1	0,8	106,7	27,95	43

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltsoFcum and donneespltsofcum

W = 1999,5, p-value = 0,2697

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-11 : Distribution des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions d'explicitation-précision du problème, selon le niveau de score

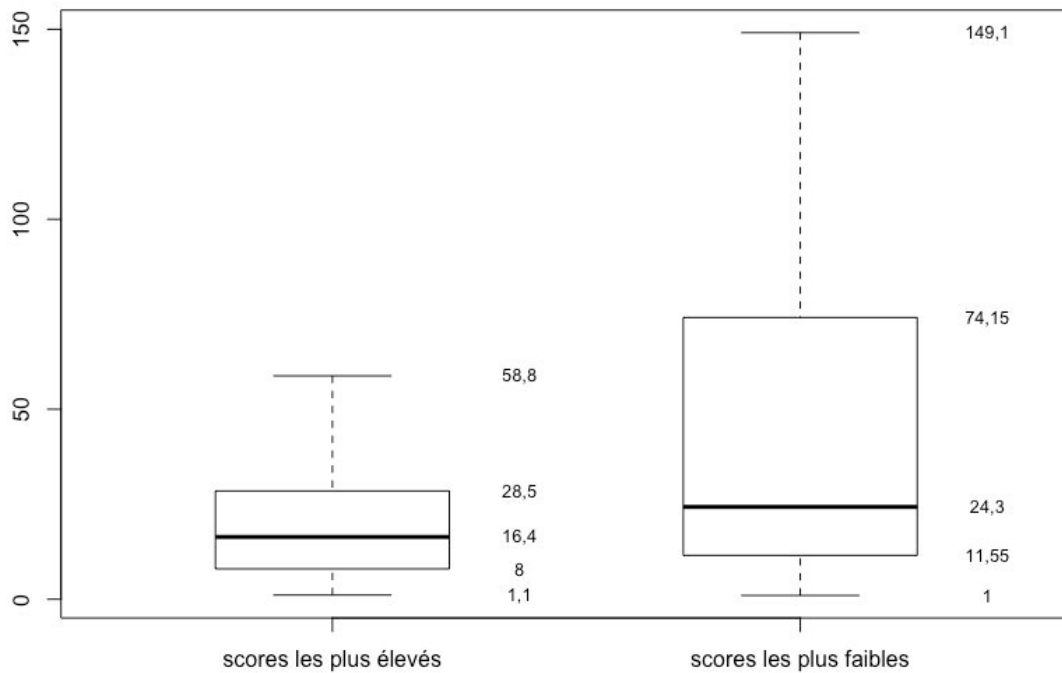


tableau A.9-11 : Description des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	20,08	16,4	1,1	58,8	15,64	53
Scores les plus faibles	47,02	24,3	1	149,1	45,61	60

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescplteppFcum and donneescplteppfcum

W = 1120,5, p-value = 0,003484

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A.9-12 : Distribution des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions selon le niveau de score

Distribution des durées cumulées (en s) des actions de requête d'approbation de solutions, selon le niveau de score

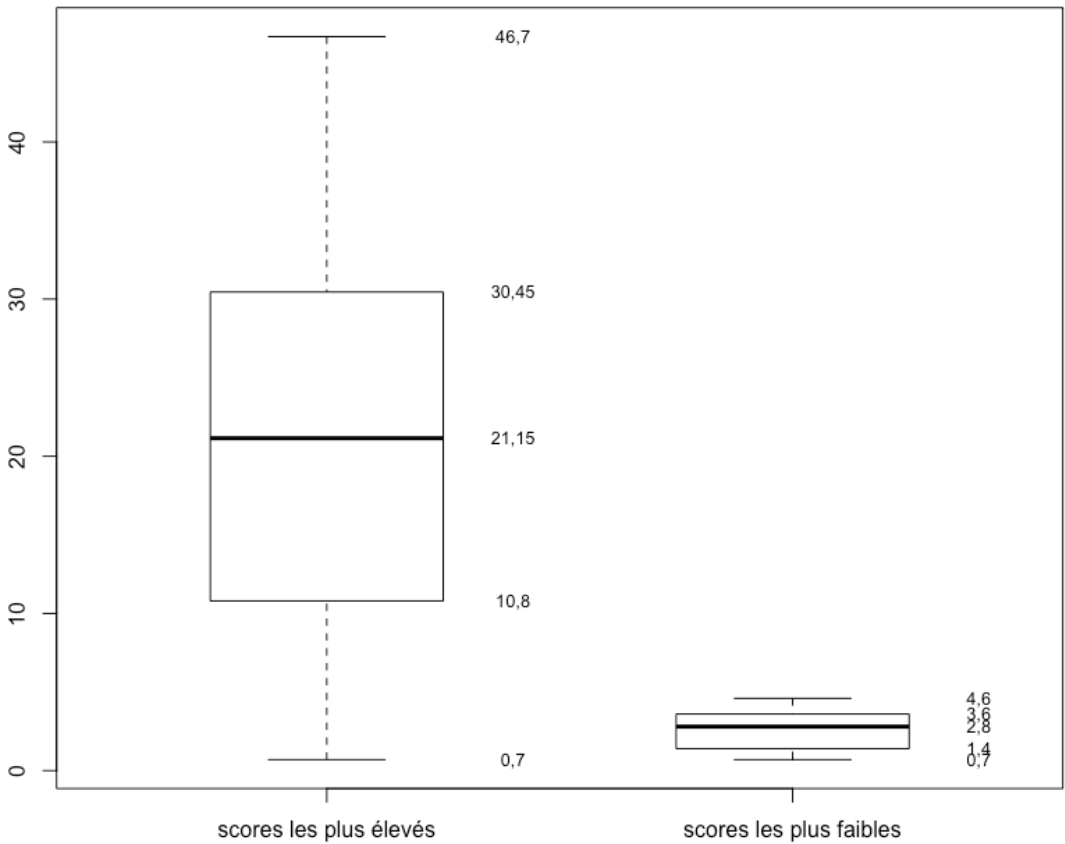


tableau A.9-12 : Description des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	21,05	21,15	0,7	46,7	12,39	60
Scores les plus faibles	2,55	2,8	0,7	4,6	1,34	11

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrasFcum and donneescpltrasfcum

W = 608, p-value = 5,171e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-13 : Distribution des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score

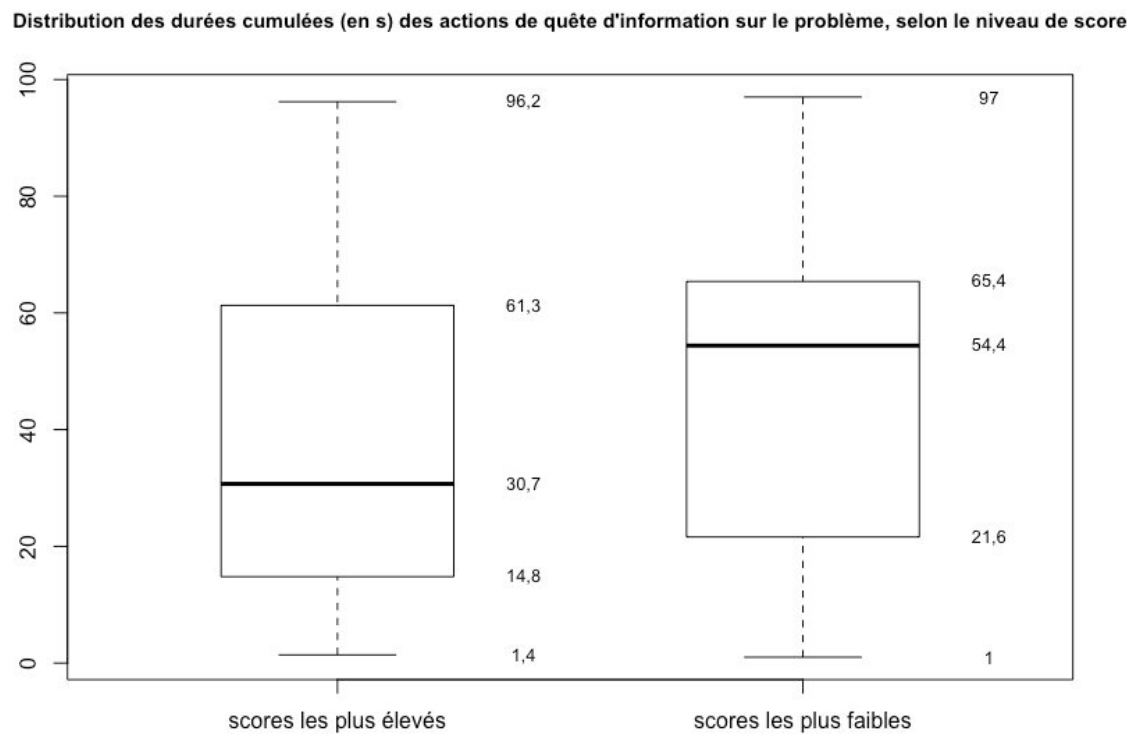


tableau A.9-13 : Description des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	40,1	30,7	1,4	96,2	28,39	29
Scores les plus faibles	45,75	54,4	1	97	26,78	37

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpipFcum and donneescpltpipfcum

W = 477, p-value = 0,4459

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-14 : Distribution des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) des actions d'explicitation-précision de solutions, selon le niveau de score

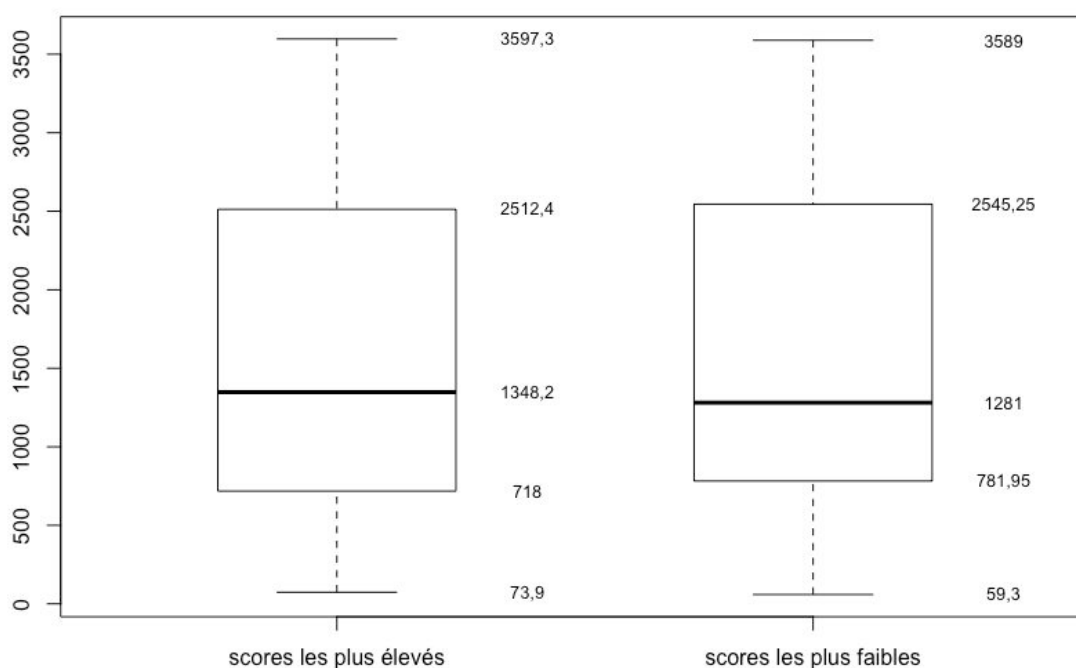


tableau A.9-14 : Description des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1601,14	1348,2	73,9	3597,3	1071,92	465
Scores les plus faibles	1583,99	1281	59,3	3589	1027,9	331

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltepsFdeb and donneescpltepsfdeb

W = 76556, p-value = 0,9002

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-15 : Distribution des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) d'actions d'expression d'accord ou d'attention, selon le niveau de score

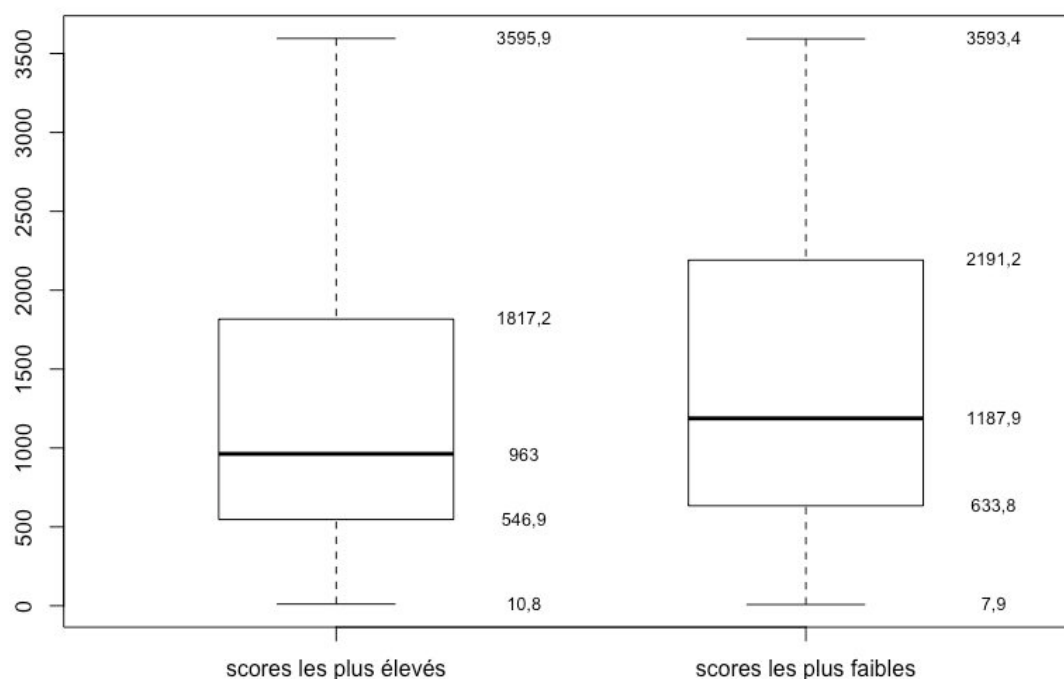


tableau A.9-15 : Description des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1323,34	963	10,8	3595,9	1025,83	381
Scores les plus faibles	1418,3	1187,9	7,9	3593,4	1016,03	405

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarFdeb and donneescpltarfdeb

W = 72140, p-value = 0,1151

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-16 : Distribution des instants de survenue des actions de représentation de solutions selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) des actions de représentation de solutions, selon le niveau de score

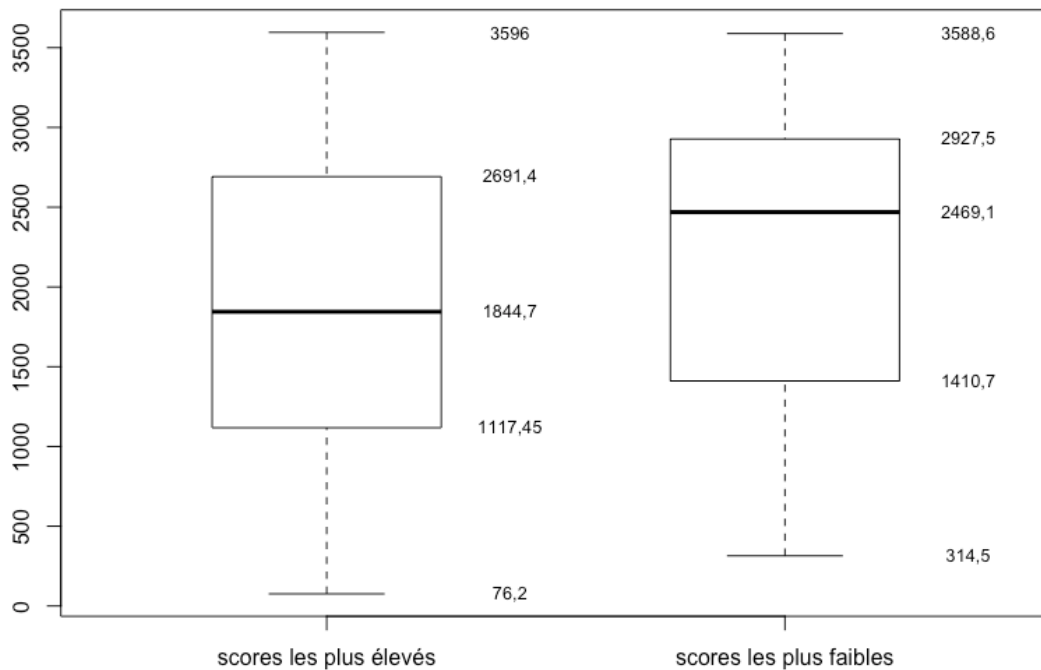


tableau A.9-16 : Description des instants de survenue des actions de représentation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1931,53	1844,7	76,2	3596	928,49	283
Scores les plus faibles	2201,15	2469,1	314,5	3588,6	949,66	121

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrsFdeb and donneescpltrsfdeb

W = 14302, p-value = 0,004368

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A.9-17 : Distribution des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

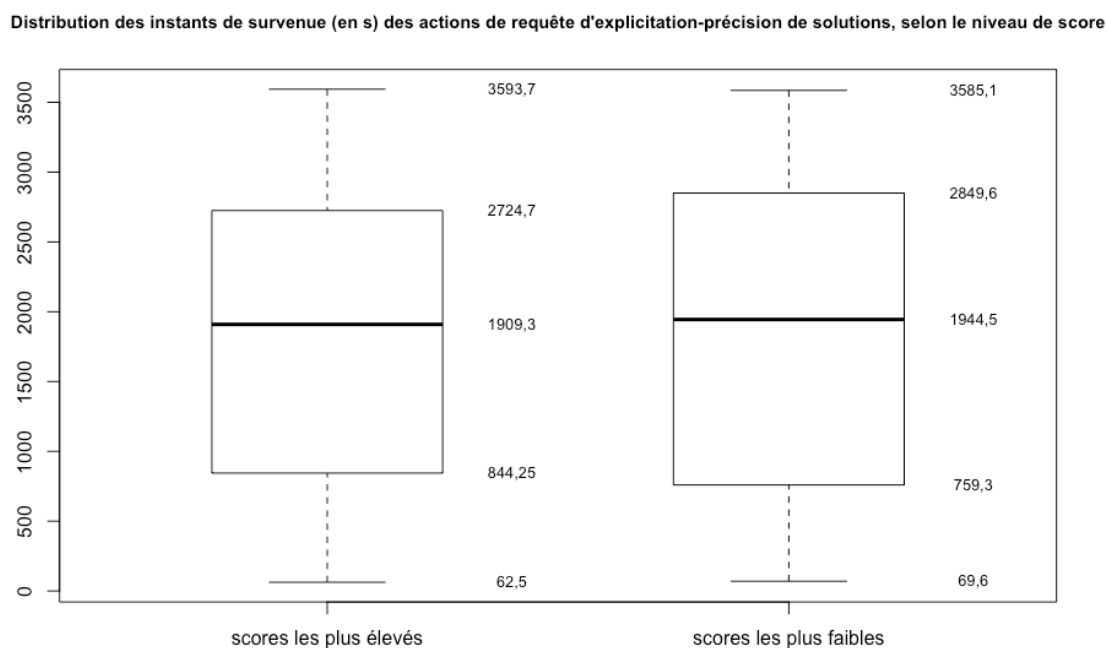


tableau A.9-17 : Description des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1810,67	1909,3	62,5	3593,7	1084,72	220
Scores les plus faibles	1829,63	1944,5	69,6	3585,1	1082,39	102

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsFdeb and donneescpltreqsFdeb

W = 11132, p-value = 0,9104

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-18 : Distribution des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) des suggestions de représentation de solutions, selon le niveau de score

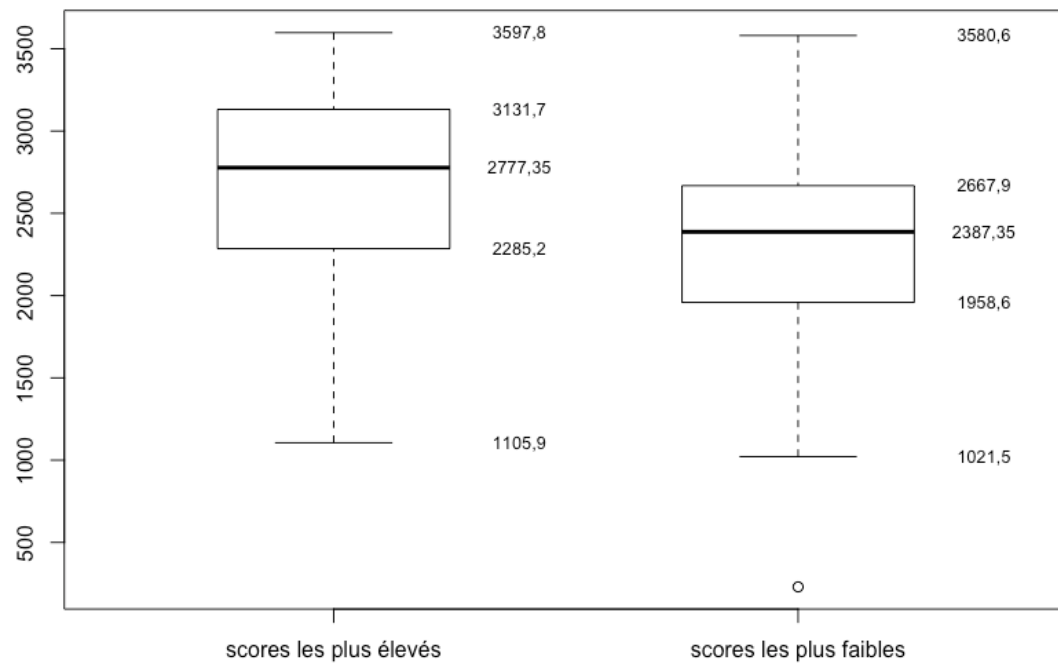


tableau A.9-18 : Description des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2693,16	2777,35	1105,9	3597,8	589,42	176
Scores les plus faibles	2310,42	2387,35	229,9	3580,6	613,61	90

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsFdeb and donneescpltsrsfdeb

W = 10710, p-value = 1,309e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-19 : Distribution des instants de survenue des remises en question de solutions selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) des actions de remise en question de solutions, selon le niveau de score

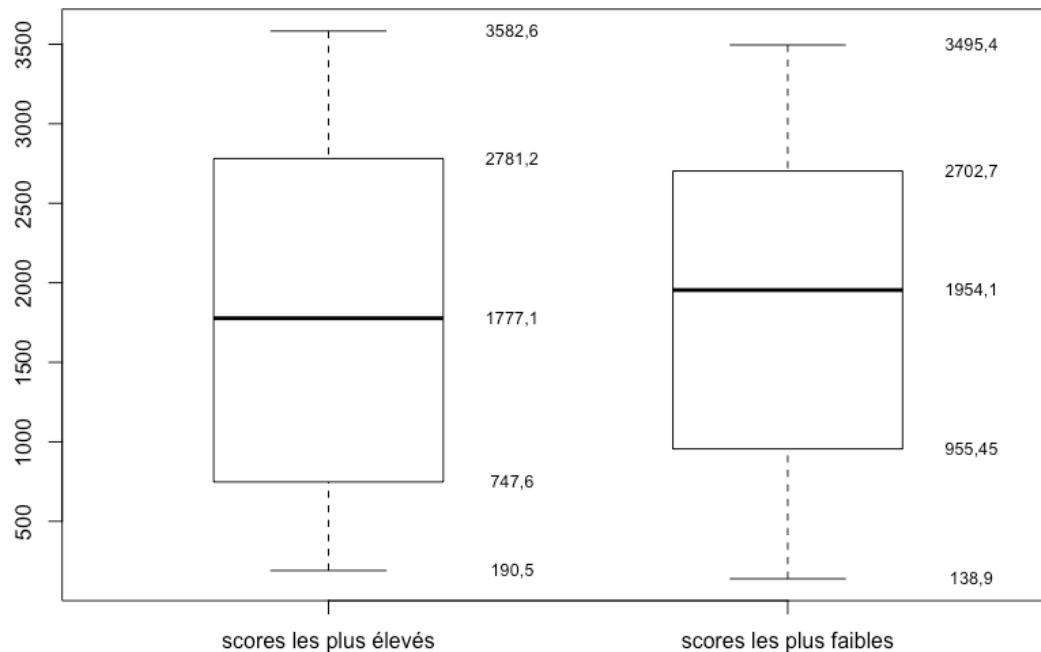


tableau A.9-19 : Description des instants de survenue des remises en question de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1763,57	1777,1	190,5	3582,6	1020,2	173
Scores les plus faibles	1887,33	1954,1	138,9	3495,4	1007,94	68

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsFdeb and donneescpltrqsFdeb

W = 5499, p-value = 0,4323

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-20 : Distribution des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) de propose suspendus ou indéterminés, selon le niveau de score

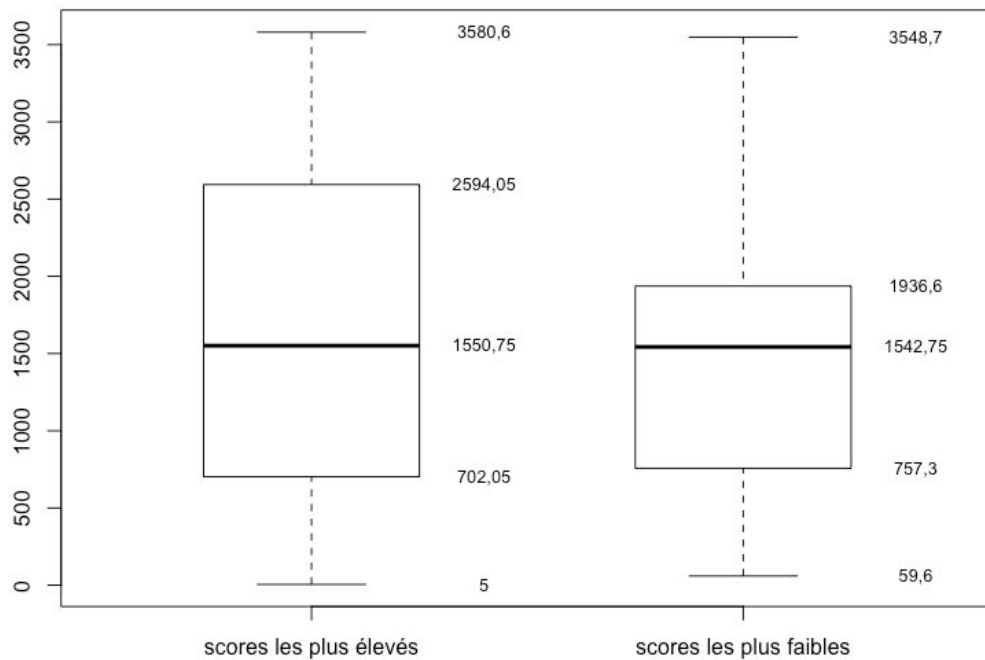


tableau A.9-20 : Description des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1685,49	1550,75	5	3580,6	1051,55	100
Scores les plus faibles	1523,12	1542,75	59,6	3548,7	973,9	110

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsifdeb and donneescpltpsifdeb

W = 5925, p-value = 0,3344

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-21 : Distribution des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score

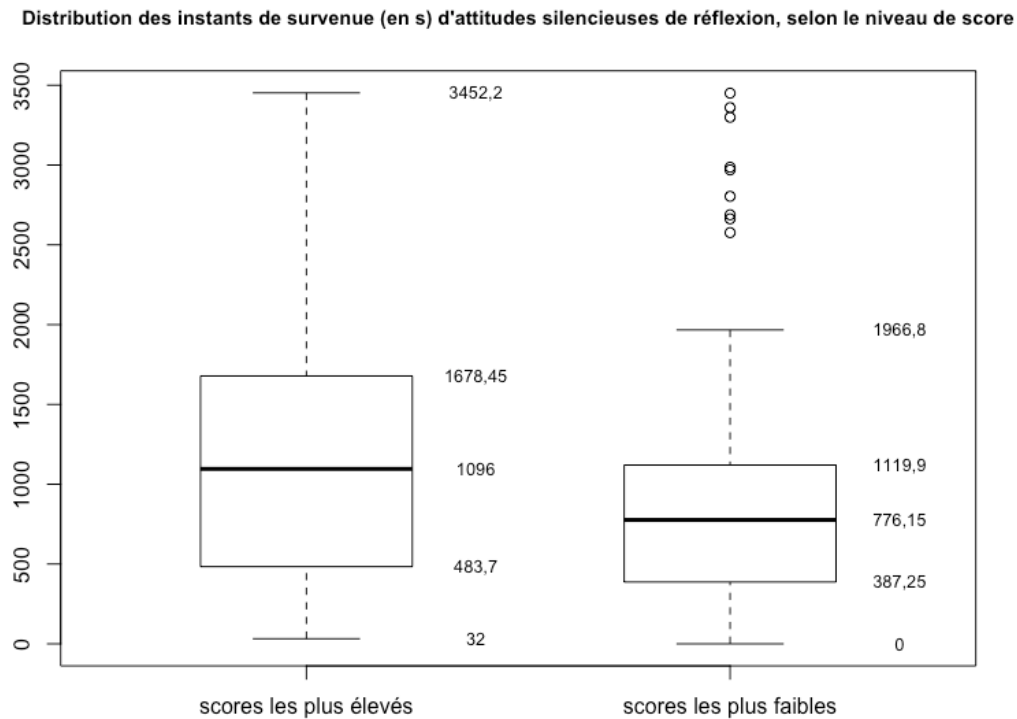


tableau A.9-21 : Description des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1185,72	1096	32	3452,2	852,59	63
Scores les plus faibles	915,55	776,15	0	3450,4	768,29	100

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsrfdeb and donneescpltpsrfdeb

W = 3838, p-value = 0,009565

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A.9-22 : Distribution des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) des actions de validation-consolidation de solutions, selon le niveau de score

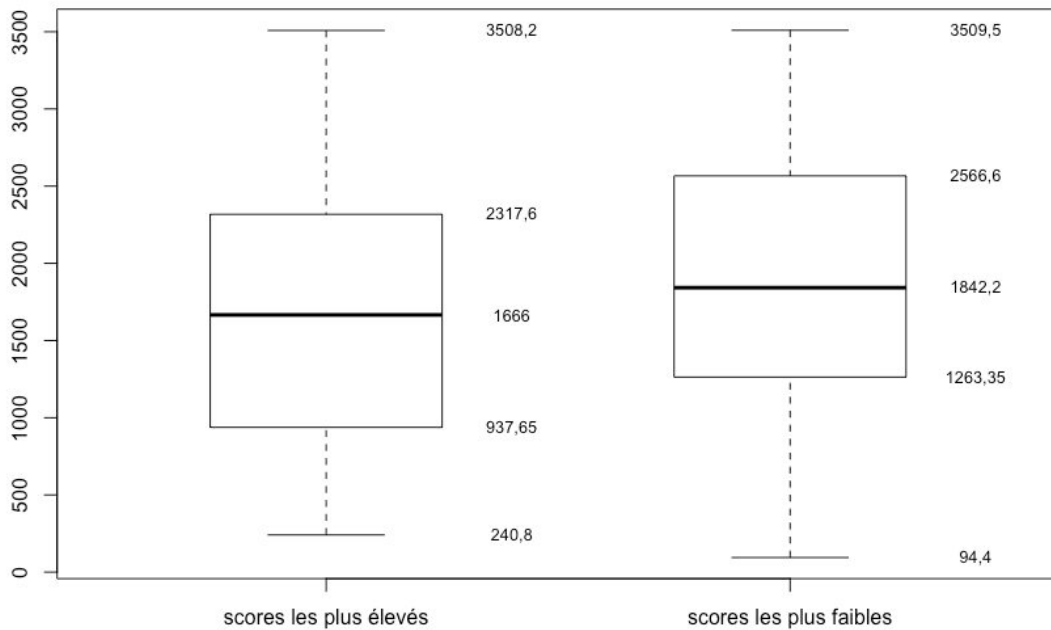


tableau A.9-22 : Description des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1678,1	1666	240,8	3508,2	889,64	96
Scores les plus faibles	1908,91	1842,2	94,4	3509,5	908,8	48

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsFdeb and donneescpltvcsfdeb

W = 1910, p-value = 0,09539

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-23 : Distribution des instants de survenue des suggestions d'organisation selon le niveau de score

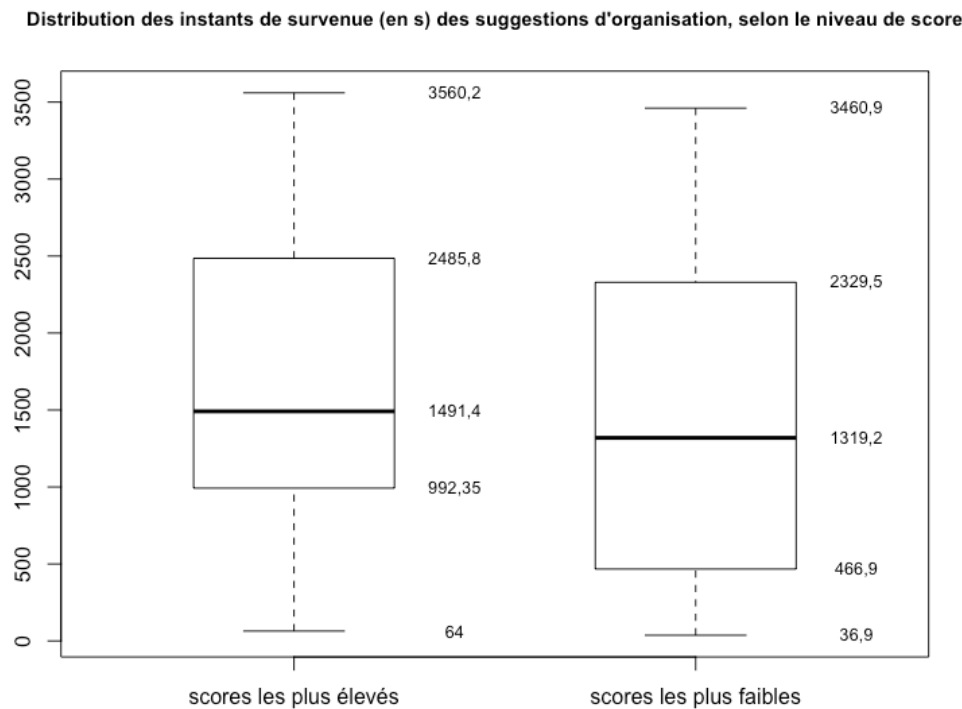


tableau A.9-23 : Description des instants de survenue des suggestions d'organisation selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1665,4	1491,4	64	3560,2	1036,51	83
Scores les plus faibles	1513,18	1319,2	36,9	3460,9	1127,35	43

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsofdeb and donneescpltsofdeb

W = 1967, p-value = 0,349

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-24 : Distribution des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score

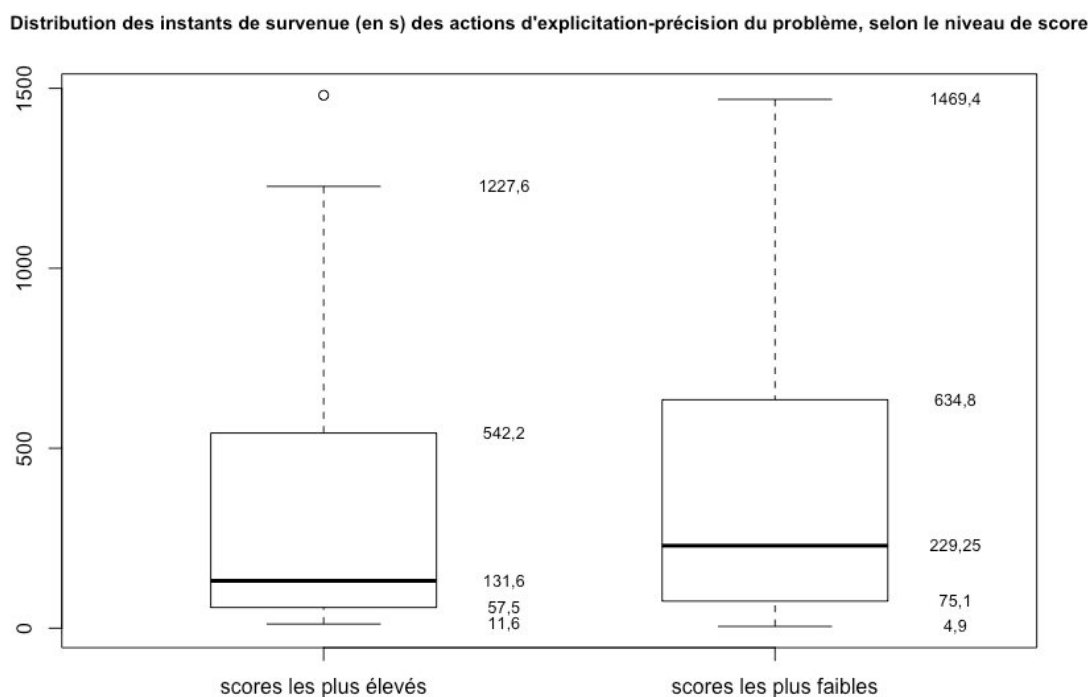


tableau A.9-24 : Description des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	321,6	131,6	11,6	1481	346,5	53
Scores les plus faibles	426,53	229,25	4,9	1469,4	431,72	60

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescplteppFdeb and donneescplteppfdeb

W = 1388, p-value = 0,2463

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-25 : Distribution des instants de survenue des requêtes d’approbation de solutions selon le niveau de score

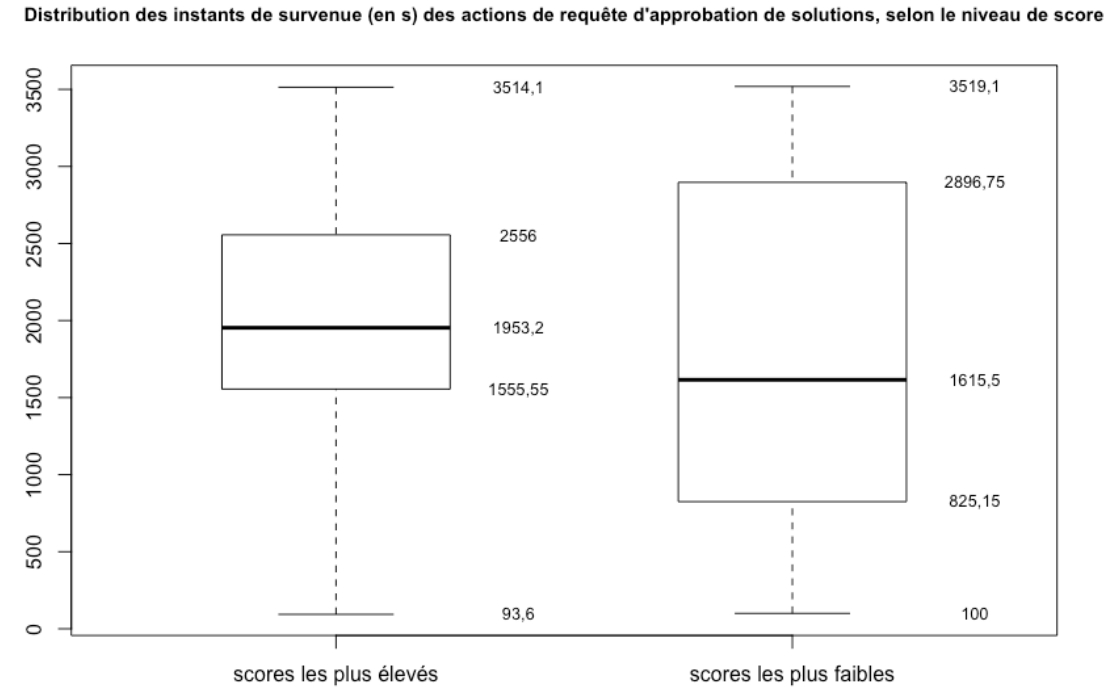


tableau A.9-25 : Description des instants de survenue des requêtes d’approbation de solutions selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2046,6	1953,2	93,6	3514,1	746,58	60
Scores les plus faibles	1814,95	1615,5	100	3519,1	1251,61	11

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrasFdeb and donneescpltrasfdeb

W = 360, p-value = 0,6392

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A.9-26 : Distribution des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score

Distribution des instants de survenue (en s) des actions de quête d'information sur le problème, selon le niveau de score

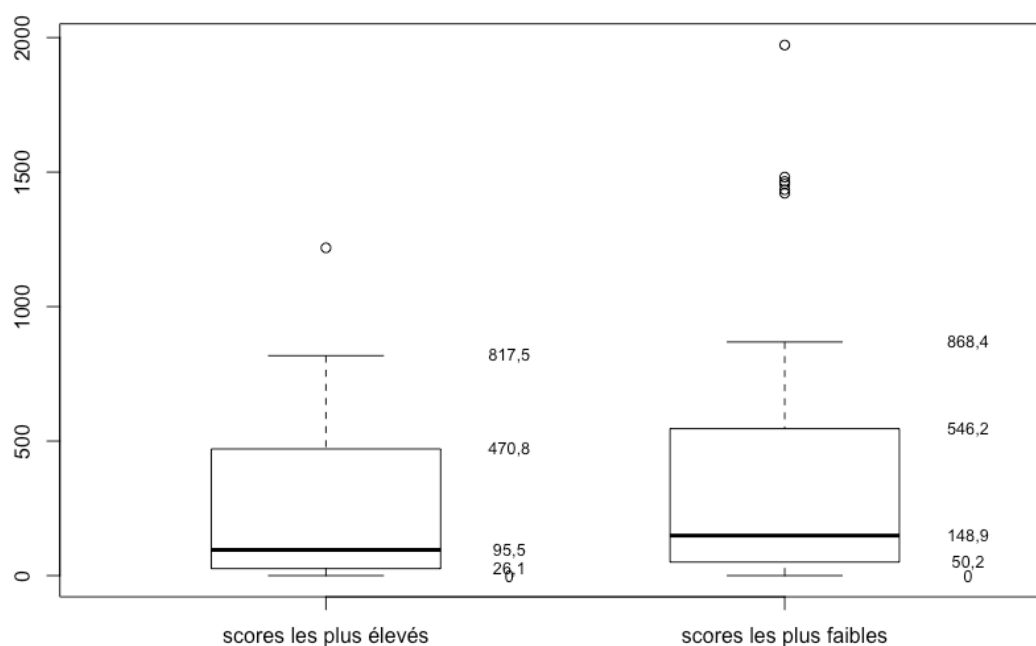


tableau A.9-26 : Description des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème selon le niveau de score

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	276,11	95,5	0	1218,4	320,44	29
Scores les plus faibles	419,49	148,9	0	1972,2	549,91	37

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltipfdeb and donneescpltipfdeb

W = 459,5, p-value = 0,3229

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

annexe 10. : Représentations externes, actions et visualisation : tests et résultats

figure A-10-1 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans

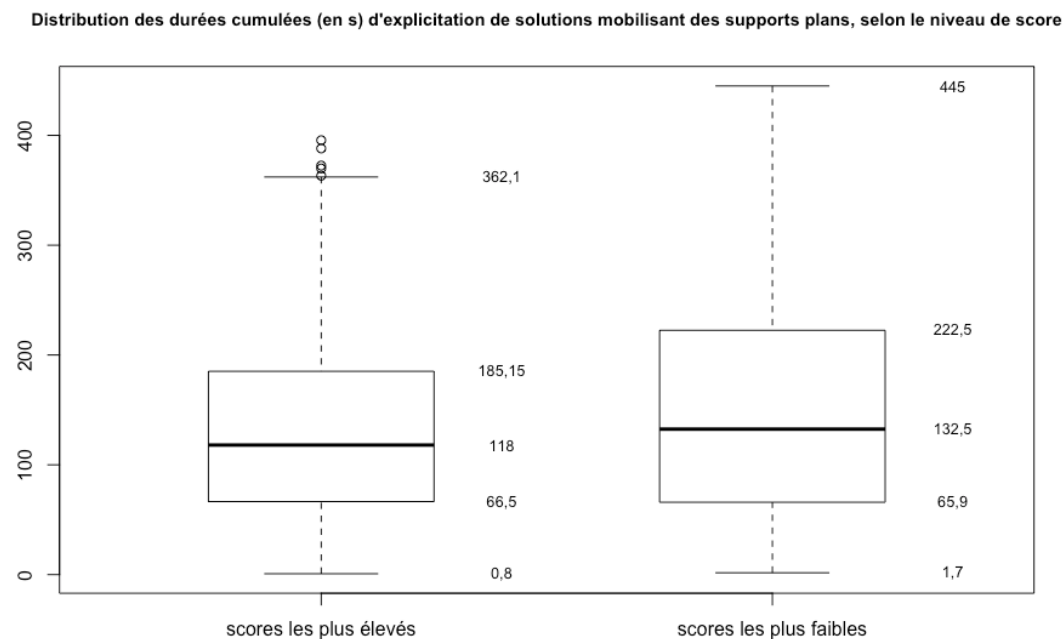


tableau A.10-1 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	139	118	0,8	395,6	97,2	268
Scores les plus faibles	162,96	132,5	1,7	445	120,46	195

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsFplancum and donneescpltpsflancum

W = 23680, p-value = 0,08492

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-2 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports plans

Distribution des durées cumulées (en s) d'expression d'accord ou d'attention mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

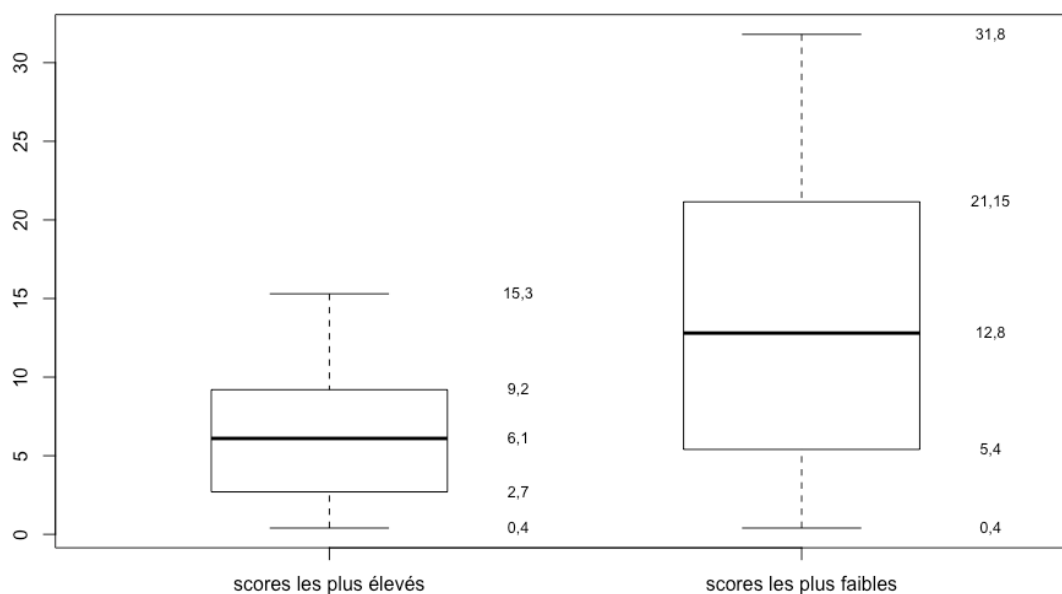


tableau A.10-2 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	6,31	6,1	0,4	15,3	3,99	51
Scores les plus faibles	13,4	12,8	0,4	31,8	8,81	127

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarFplancum and donneescpltarfplancum

W = 1745, p-value = 7,798e-07

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-3 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions sur supports plans

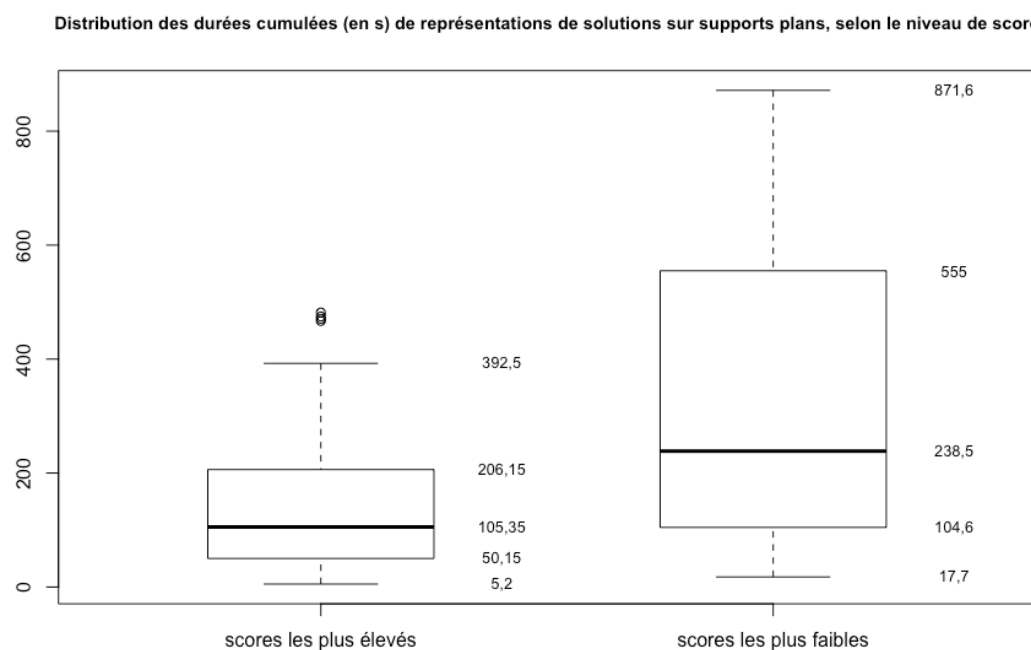


tableau A.10-3 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions sur supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	135,79	105,35	5,2	481,7	114,65	108
Scores les plus faibles	338,5	238,5	17,7	871,6	257,08	62

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrsFplancum and donneescpltrsfpplancum

W = 1721, p-value = 6,99e-08

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-4 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de requête d'explicitation de solutions mobilisant des supports plans

Distribution des durées cumulées (en s) des requêtes d'explicitation de solutions sur supports plans, selon le niveau de score

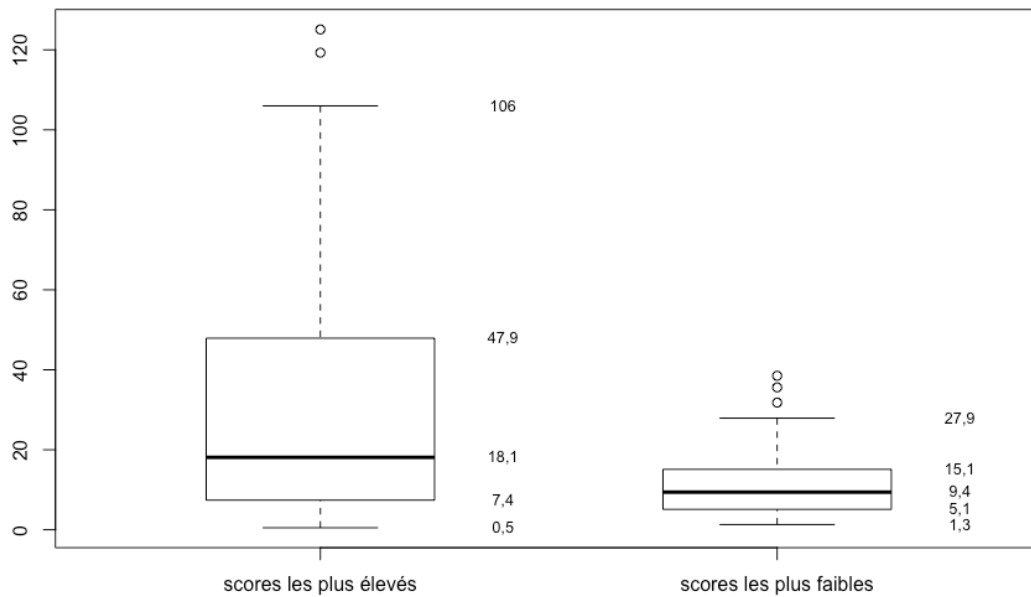


tableau A.10-4 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	32,73	18,1	0,5	125,1	34,25	70
Scores les plus faibles	11,76	9,4	1,3	38,5	9,38	42

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsFplancum and donneescpltreqsfpplancum

W = 2001,5, p-value = 0,0007079

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-5 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de remise en question de solutions mobilisant des supports plans

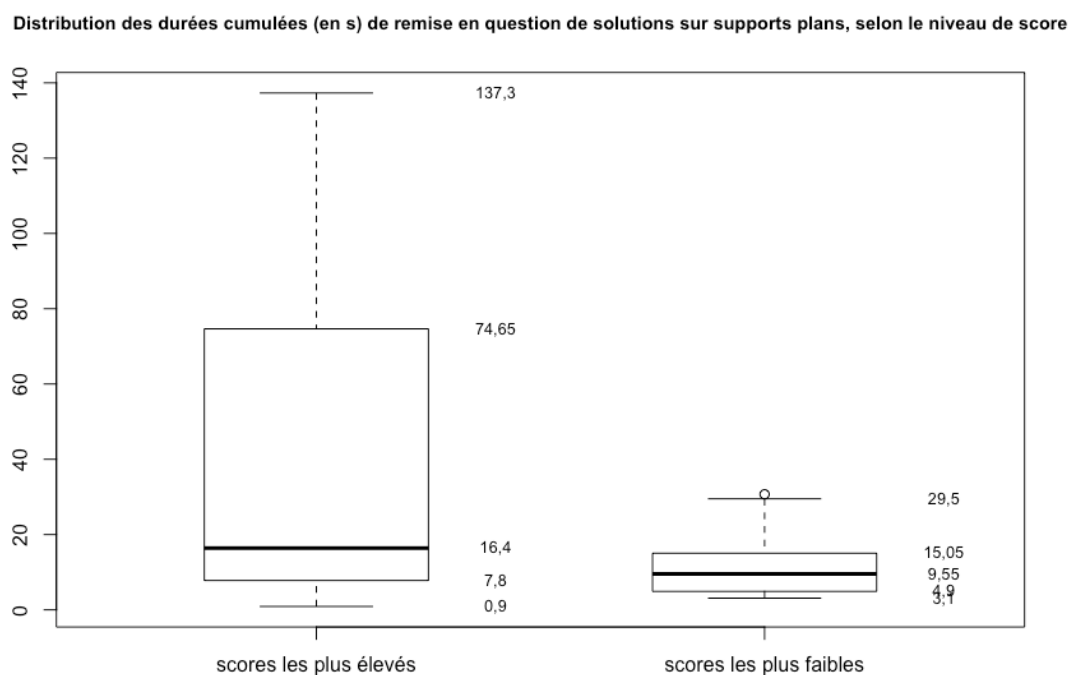


tableau A.10-5 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	40,9	16,4	0,9	137,3	43,02	51
Scores les plus faibles	11,5	9,55	3,1	30,7	8,5	20

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsFplancum and donneescpltrqsfplancum

W = 707, p-value = 0,006002

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-6 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans

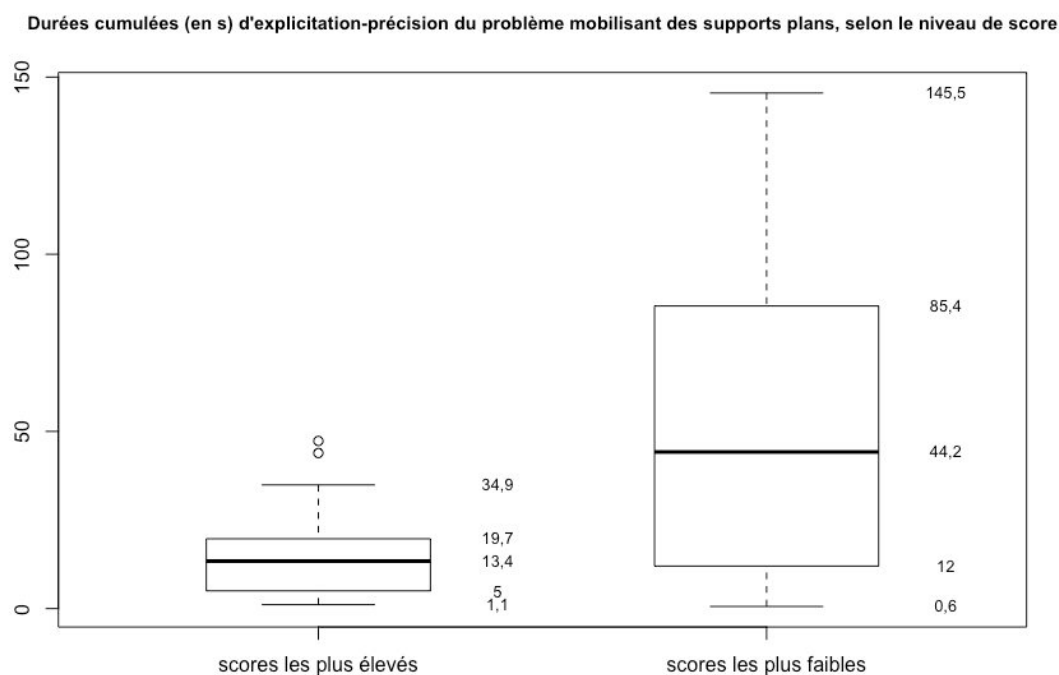


tableau A.10-6 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	14,86	13,4	1,1	47,3	12,33	27
Scores les plus faibles	52,28	44,2	0,6	145,5	45,9	43

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescplteppFplancum and donneescplteppfplancum

W = 312, p-value = 0,0006111

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-7 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans

Durées cumulées (en s) de suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

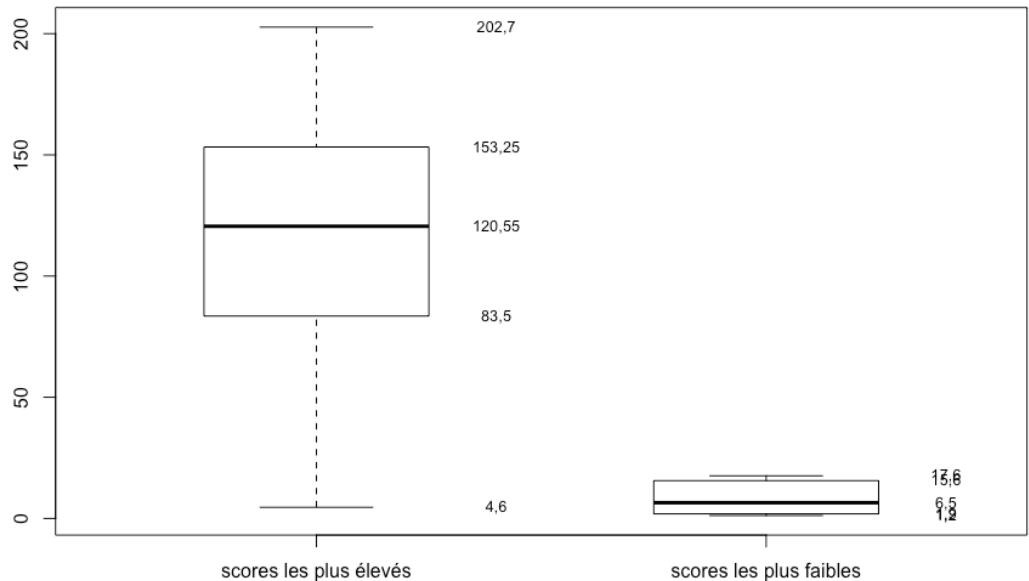


tableau A.10-7 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	117,88	120,55	4,6	202,7	50,73	52
Scores les plus faibles	8,61	6,5	1,2	17,6	7,42	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsFplancum and donneescpltsrsfplancum
W = 353, p-value = 3,212e-05
alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-8 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans

Durées cumulées (en s) de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

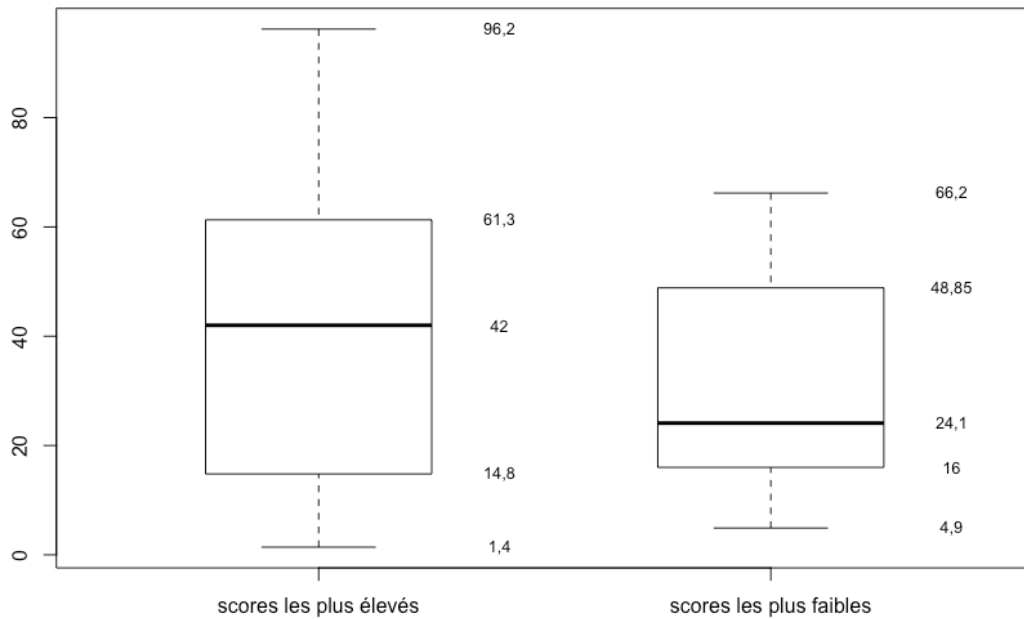


tableau A.10-8 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	41,09	42	1,4	96,2	29,66	25
Scores les plus faibles	31,09	24,1	4,9	66,2	20,82	23

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpipFplancum and donneescpltpipfplancum

W = 336, p-value = 0,325

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-9 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans

Durées cumulées (en s) de tenue de propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

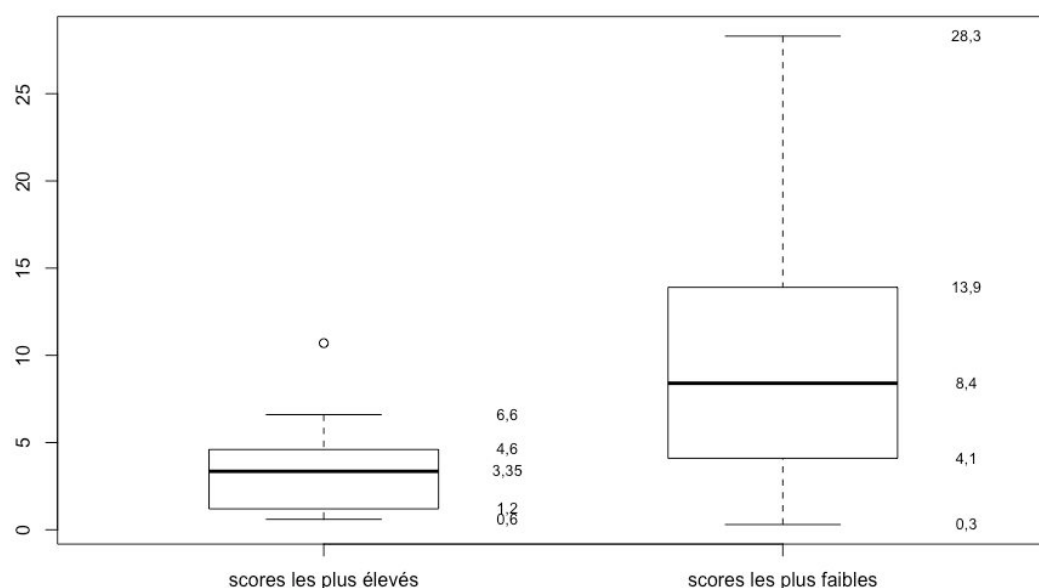


tableau A.10-9 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	3,53	3,35	0,6	10,7	2,71	14
Scores les plus faibles	9,72	8,4	0,3	28,3	7,28	33

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsifplancum and donneescpltpsifplancum

W = 99,5, p-value = 0,001152

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-10 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans

Durées cumulées (en s) d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

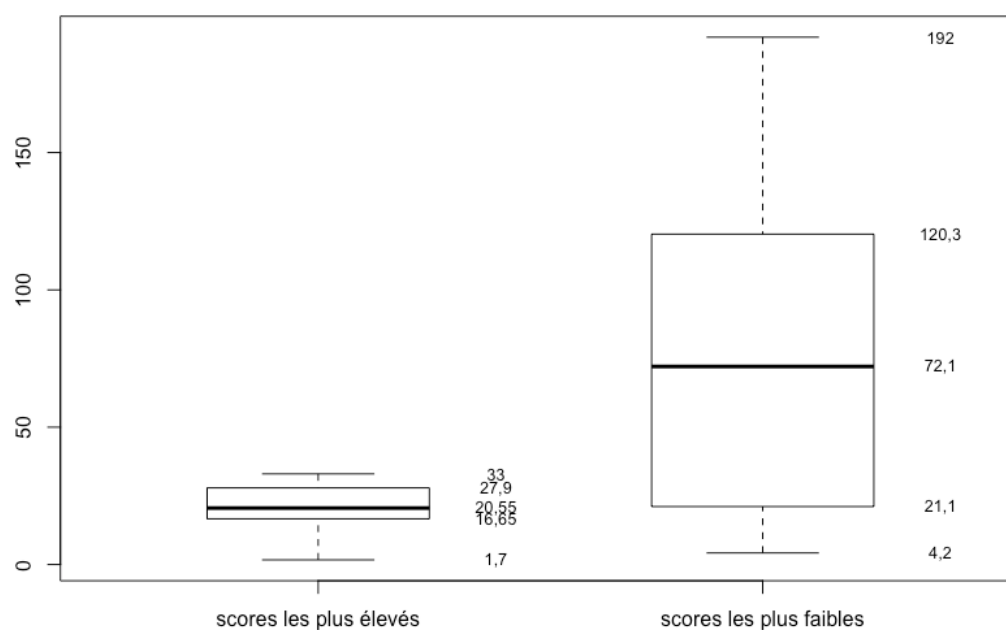


tableau A.10-10 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	20,61	20,55	1,7	33	9,71	8
Scores les plus faibles	79,49	72,1	4,2	192	57,54	38

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsrfplancum and donneescpltpsrfplancum

W = 63, p-value = 0,004185

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-11 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans

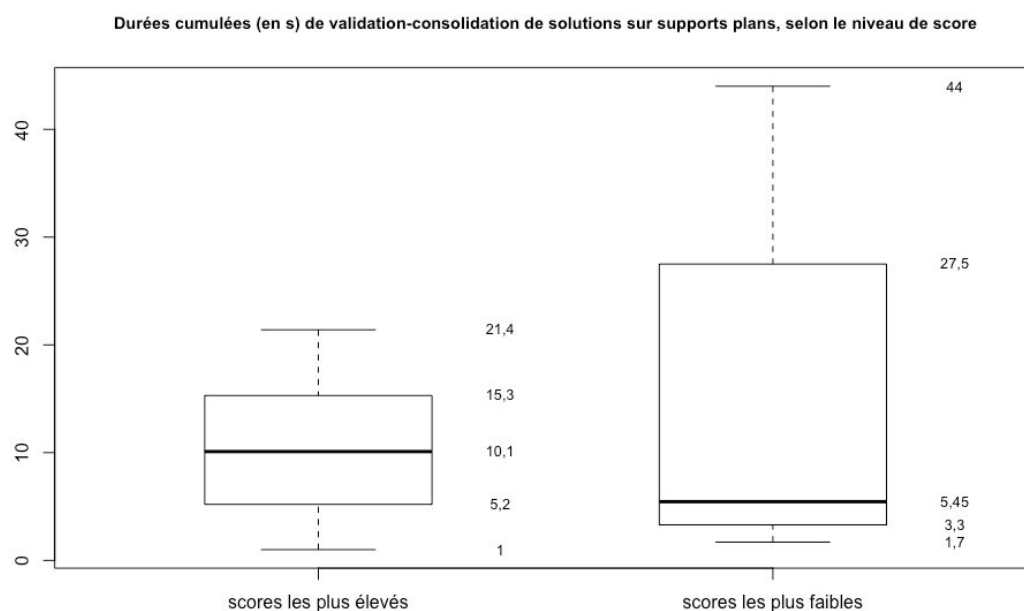


tableau A.10-11 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	10,21	10,1	1	21,4	5,75	30
Scores les plus faibles	13,52	5,45	1,7	44	15,21	14

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsFplancum and donneescpltvcsfplancum

W = 233, p-value = 0,5707

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-12 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans

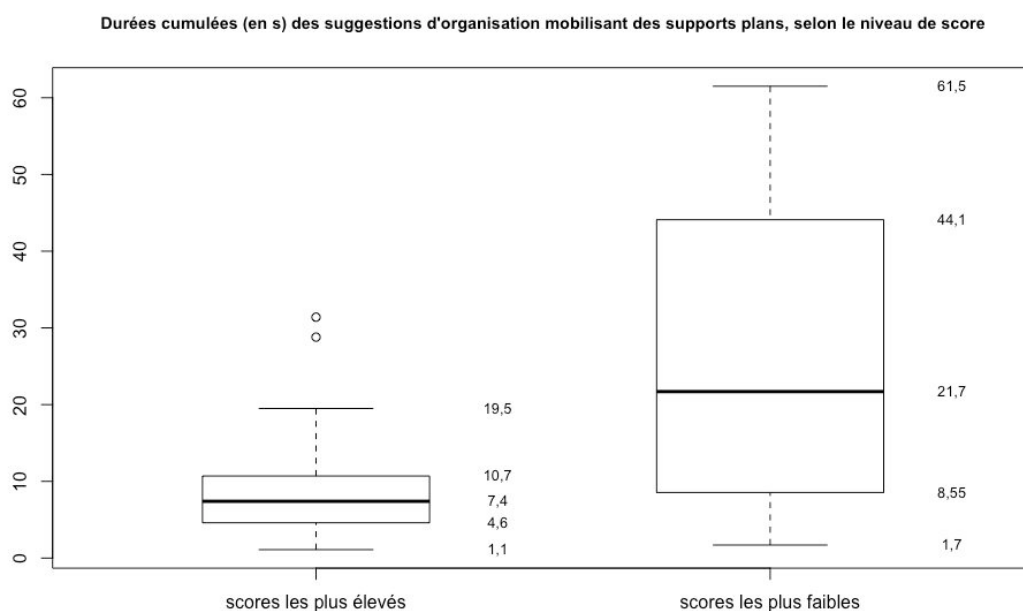


tableau A.10-12 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	10,25	7,4	1,1	31,4	8,87	17
Scores les plus faibles	26,87	21,7	1,7	61,5	20,67	15

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltsoFplancum and donneescpltsofplancum

W = 69, p-value = 0,01352

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-13 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

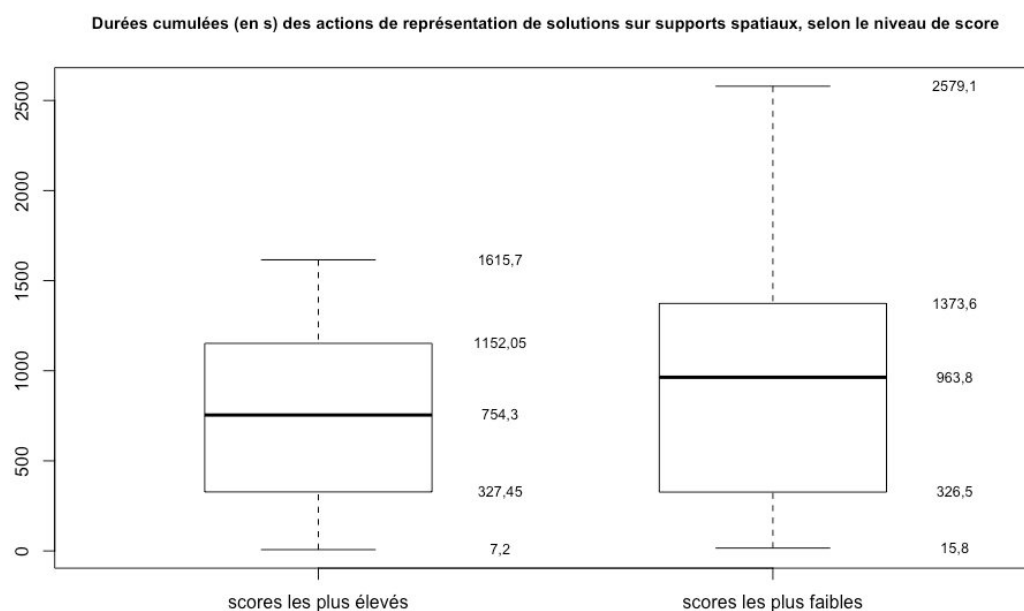


tableau A.10-13 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	740,44	754,3	7,2	1615,7	467,92	175
Scores les plus faibles	1013,58	963,8	15,8	2579,1	776,69	59

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrsFspatcum and donneespltrsfspatcum

W = 4344, p-value = 0,03445

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-14 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux

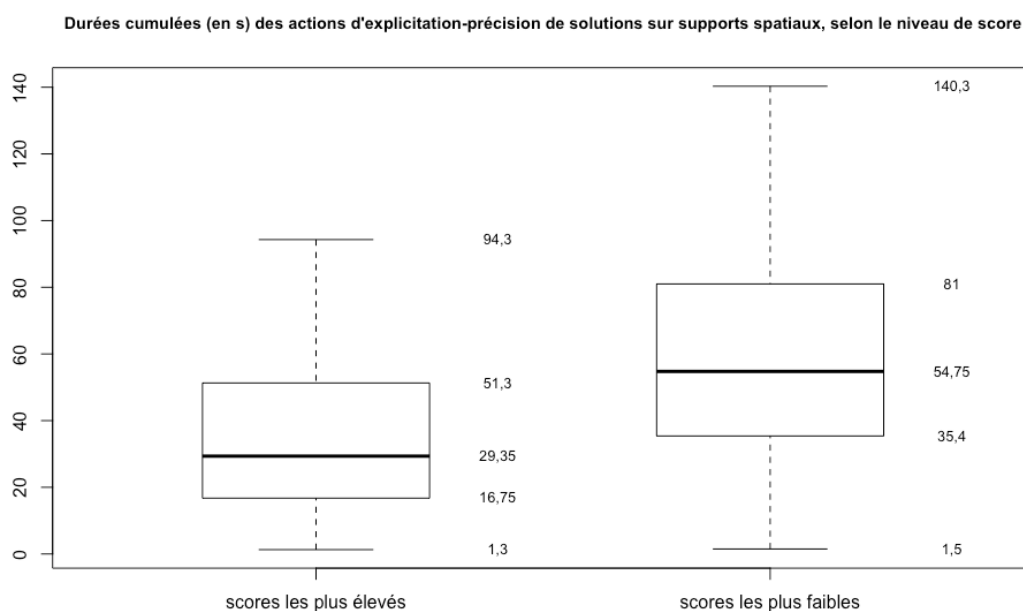


tableau A.10-14 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solution mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	34,73	29,35	1,3	94,3	23,36	96
Scores les plus faibles	60,36	54,75	1,5	140,3	37,28	86

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltepsFspatcum and donneescpltepsfspatcum

W = 2421,5, p-value = 7,623e-07

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-15 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

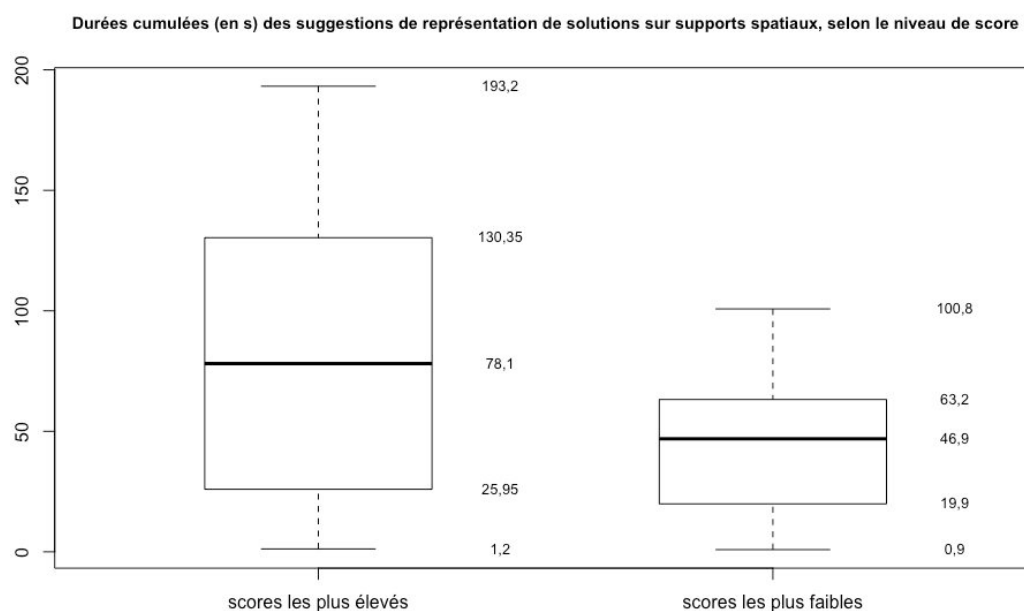


tableau A.10-15 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	82,41	78,1	1,2	193,2	58,21	100
Scores les plus faibles	45,28	46,9	0,9	100,8	28,23	73

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsFspatcum and donneescpltsrsfspatcum

W = 4924, p-value = 4,533e-05

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-16 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports spatiaux

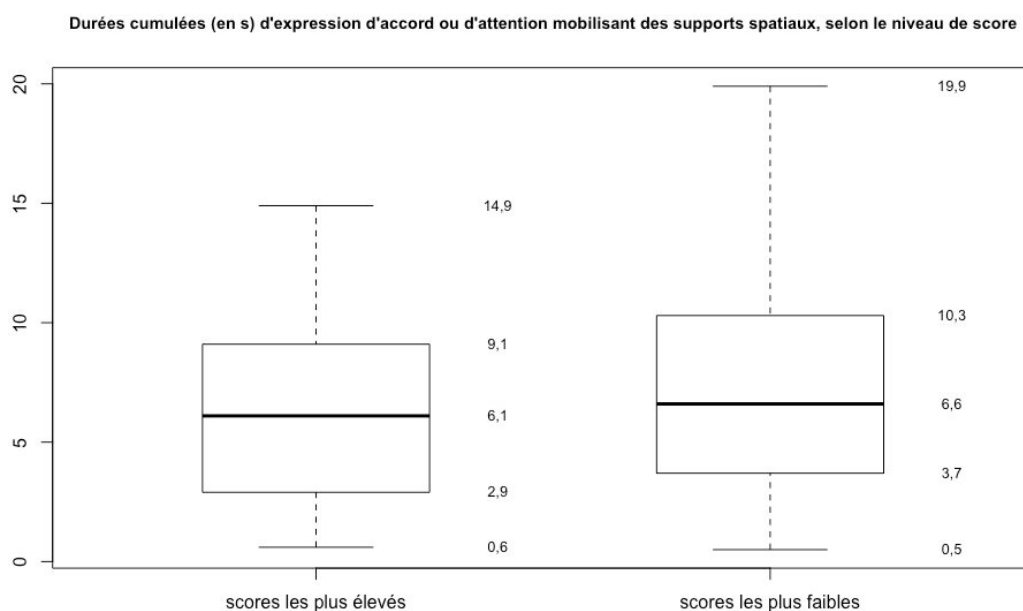


tableau A.10-16 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions exprimant un accord ou de l'attention et mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	6,22	6,1	0,6	14,9	3,83	52
Scores les plus faibles	7,75	6,6	0,5	19,9	5,59	70

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarFspatcum and donneescpltarfspatcum

W = 1626,5, p-value = 0,3177

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-17 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux

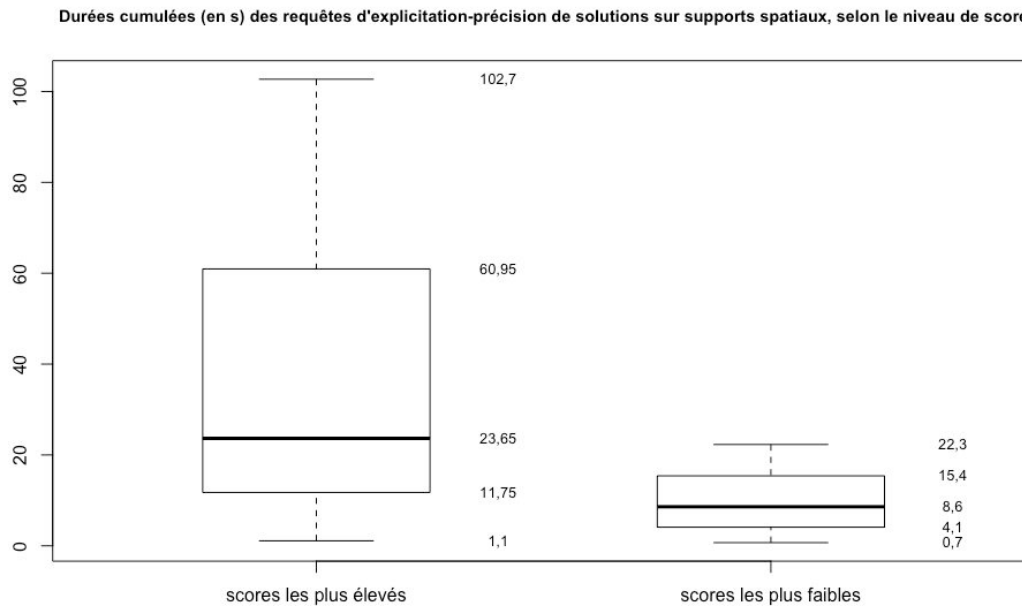


tableau A.10-17 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	36,31	23,65	1,1	102,7	30,63	68
Scores les plus faibles	9,97	8,6	0,7	22,3	6,53	31

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsFspatcum and donneescpltreqsfspacecum

W = 1661, p-value = 2,368e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-18 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux

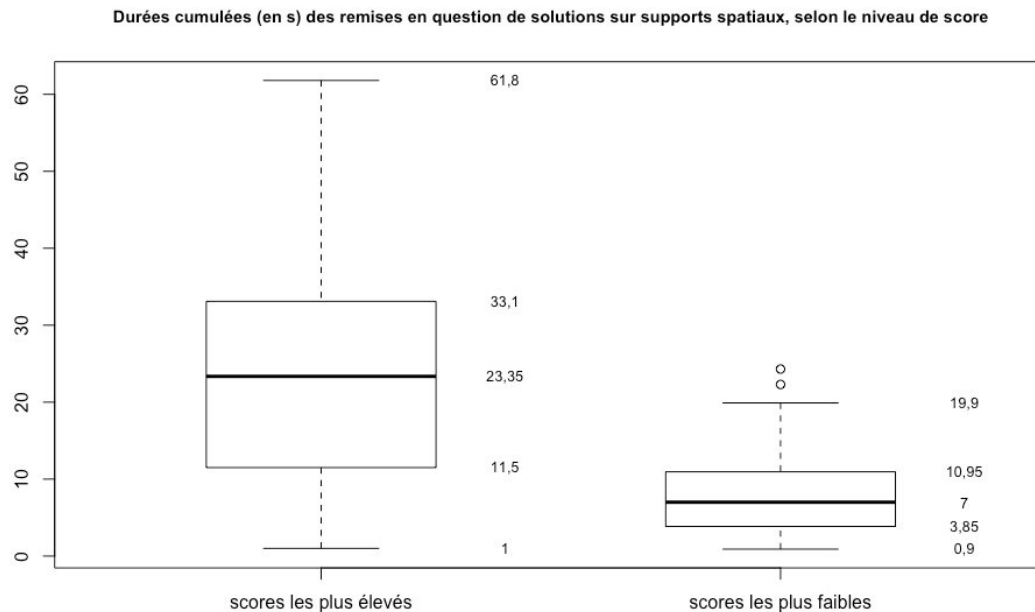


tableau A.10-18 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	23,69	23,35	1	61,8	14,68	66
Scores les plus faibles	8,83	7	0,9	24,3	6,99	23

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsFspatcum and donneescpltrqsfspatcum

W = 1237, p-value = 3,815e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-19 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux

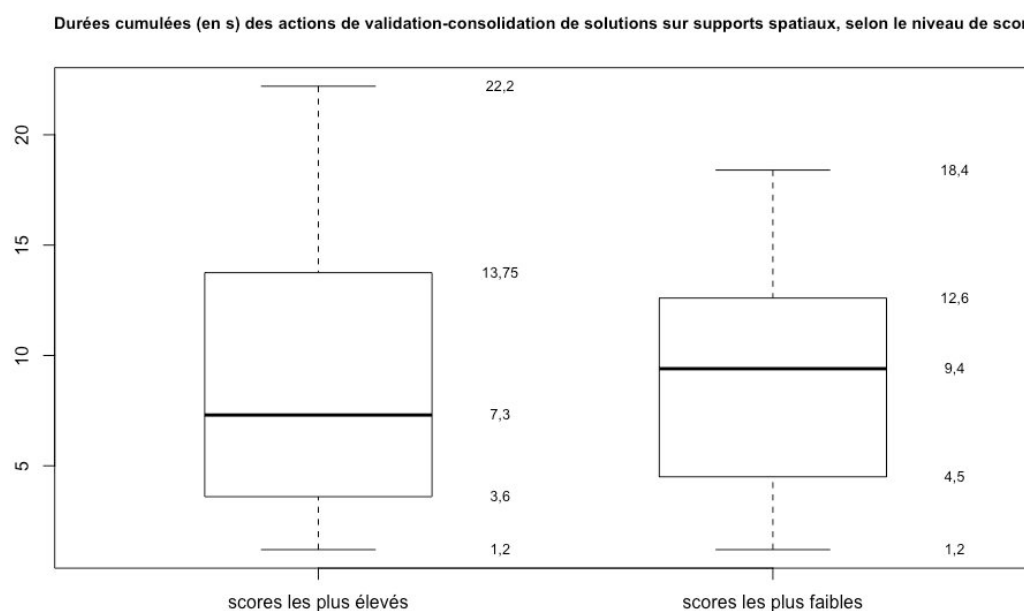


tableau A.10-19 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	9,02	7,3	1,2	22,2	6	28
Scores les plus faibles	8,78	9,4	1,2	18,4	5,09	18

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsFspatcum and donneescpltvcsfspatcum

W = 257,5, p-value = 0,9104

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-20 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux

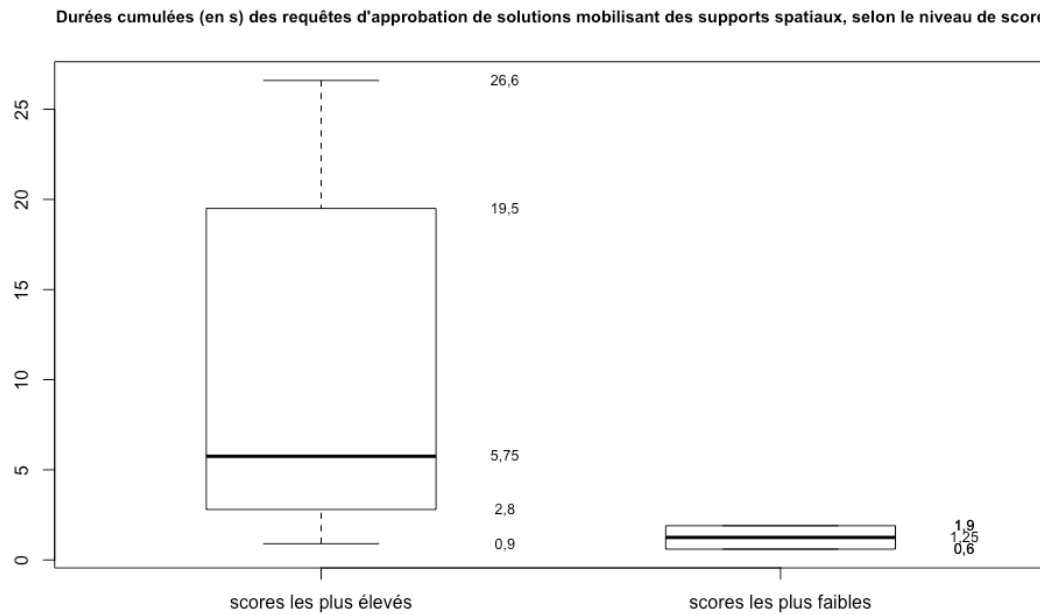


tableau A.10-20 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	9,82	5,75	0,9	26,6	8,71	22
Scores les plus faibles	1,25	1,25	0,6	1,9	0,92	2

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrasFspatcum and donneescpltrasfspatcum

W = 40, p-value = 0,06752

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-21 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux

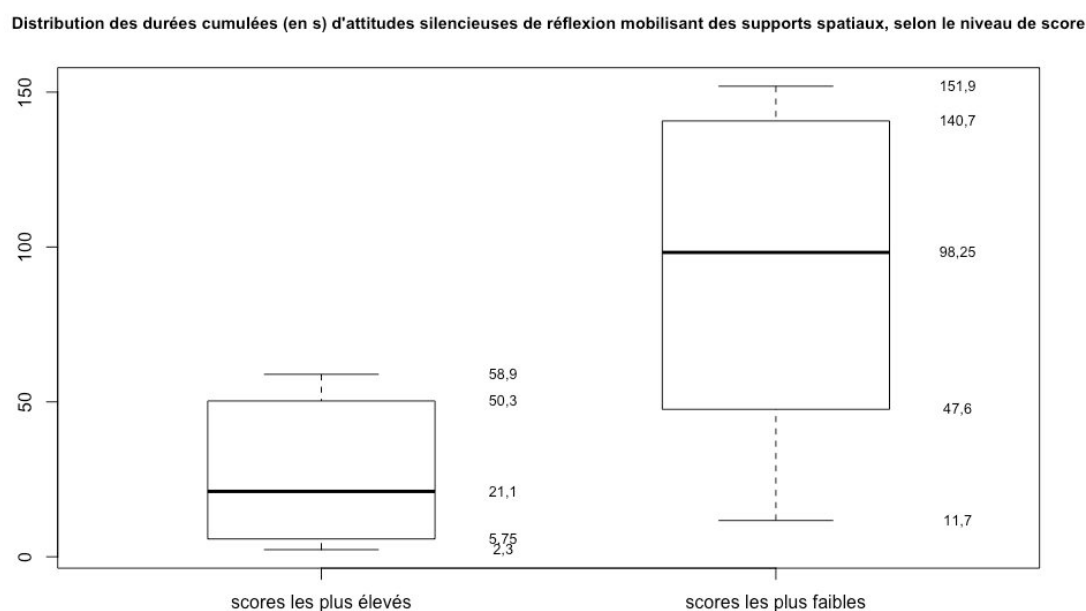


tableau A.10-21 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	27,77	21,1	2,3	58,9	24,77	7
Scores les plus faibles	92,62	98,25	11,7	151,9	50,98	14

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsrfspatcum and donneescpltpsrfspatcum

W = 13, p-value = 0,002821

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-22 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports spatiaux

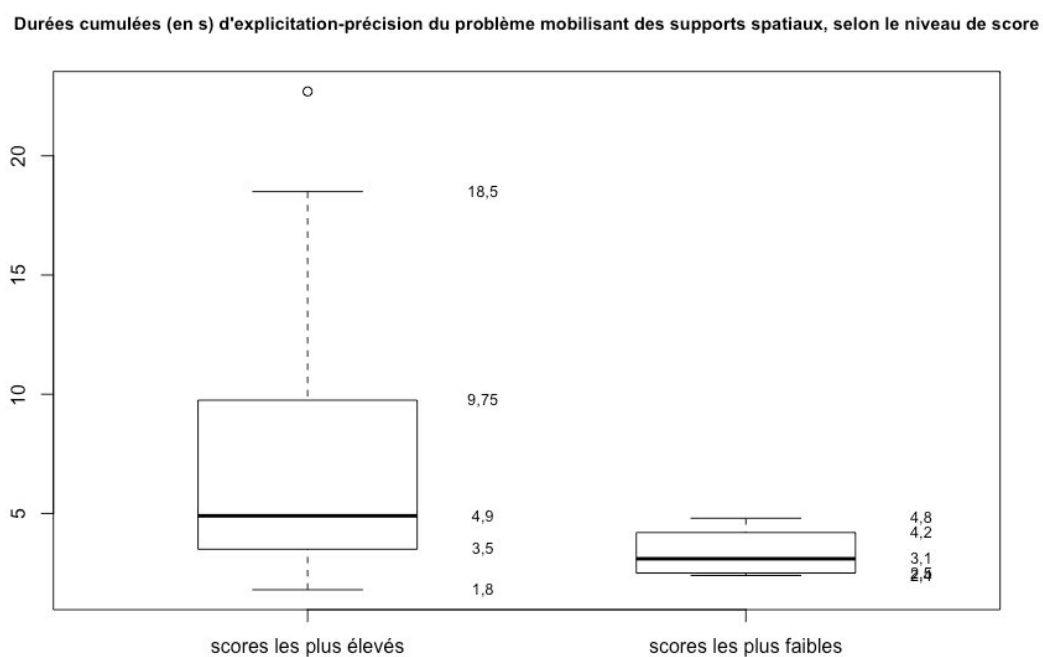


tableau A.10-22 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	7,89	4,9	1,8	22,7	6,91	11
Scores les plus faibles	3,35	3,1	2,4	4,8	1,1	4

Wilcoxon rank sum test

data: donneescplteppFspatcum and donneescplteppfspatcum

W = 32, p-value = 0,2256

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-23 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux

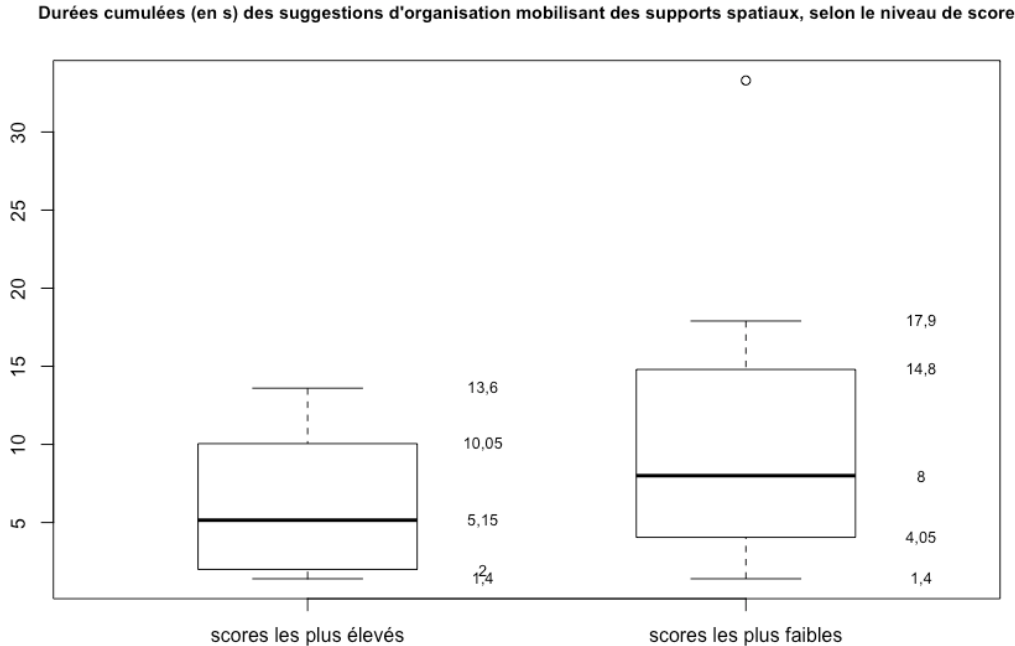


tableau A.10-23 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	6,17	5,15	1,4	13,6	4,67	8
Scores les plus faibles	11,49	8	1,4	33,3	11,14	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsoFspatcum and donneescpltsofspatcum

W = 20,5, p-value = 0,4175

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-24 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail

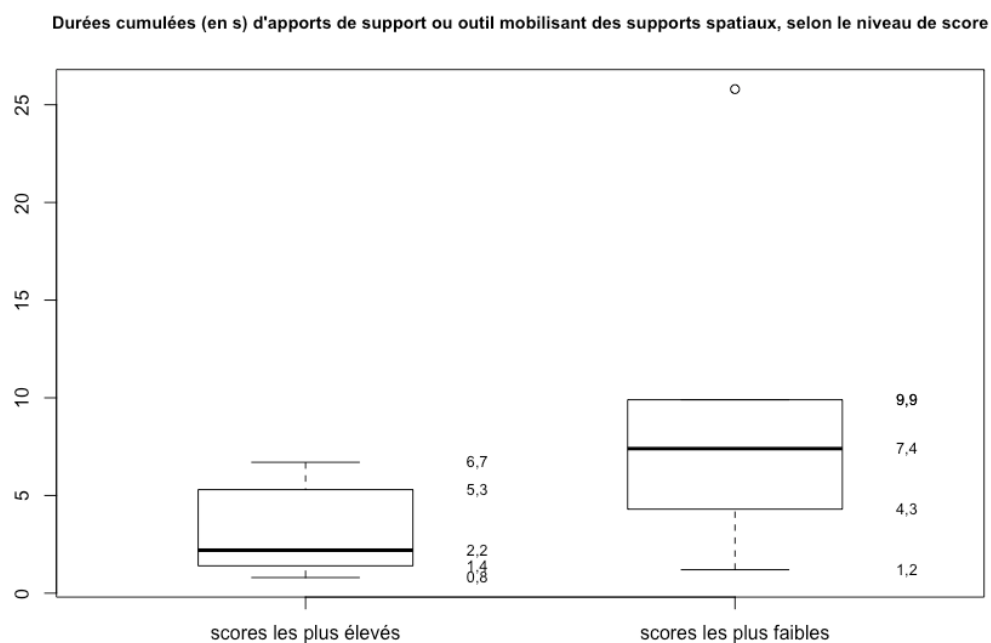


tableau A.10-24 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	3,3	2,2	0,8	6,7	2,49	7
Scores les plus faibles	9,33	7,4	1,2	25,8	8,69	6

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltaostFspatcum and donneescpltaostfspatcum

W = 9,5, p-value = 0,1156

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-25 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

Durées cumulées (en s) des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

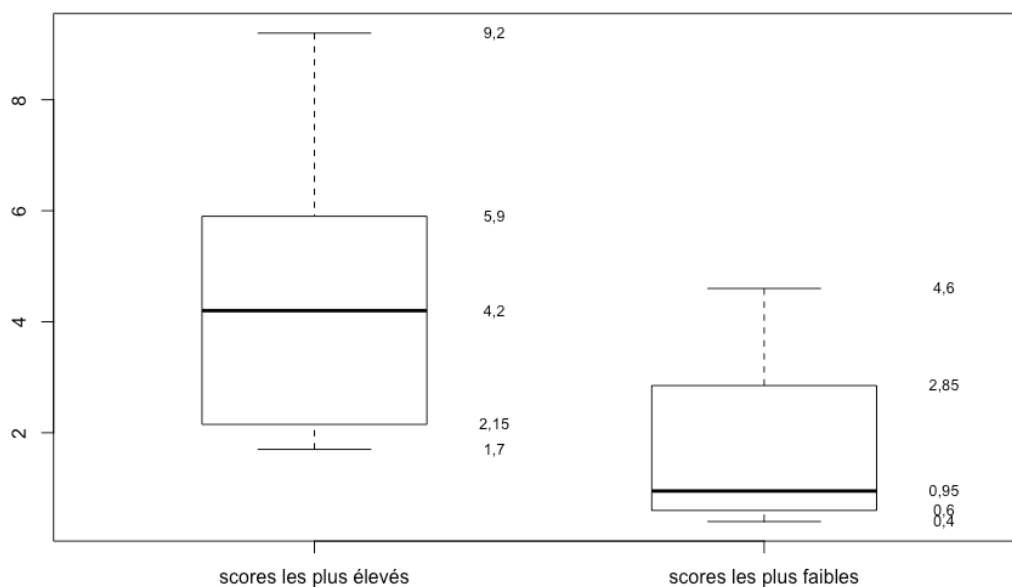


tableau A.10-25 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	4,46	4,2	1,7	9,2	2,77	7
Scores les plus faibles	1,72	0,95	0,4	4,6	1,94	4

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltrrsFspatcum and donneescpltrrsfspatcum

W = 24, p-value = 0,07273

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-26 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier

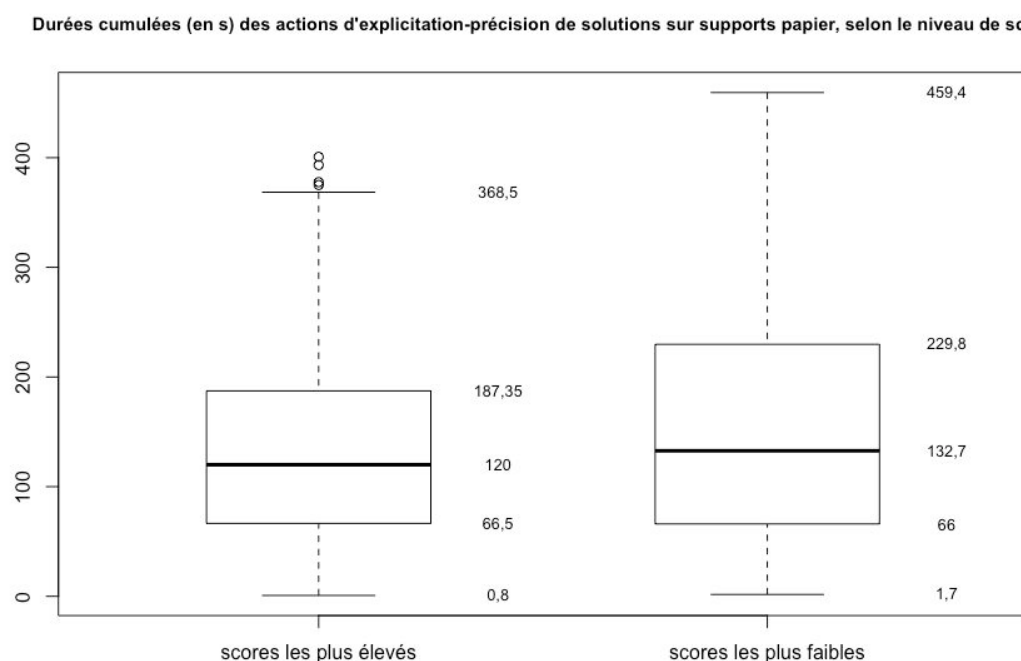


tableau A.10-26 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions recourant à des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	140,08	120	0,8	400,8	99,3	271
Scores les plus faibles	166,12	132,7	1,7	459,4	124,02	198

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsFpapcum and donneescpltpsfpapcum

W = 24144, p-value = 0,03205

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-27 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier

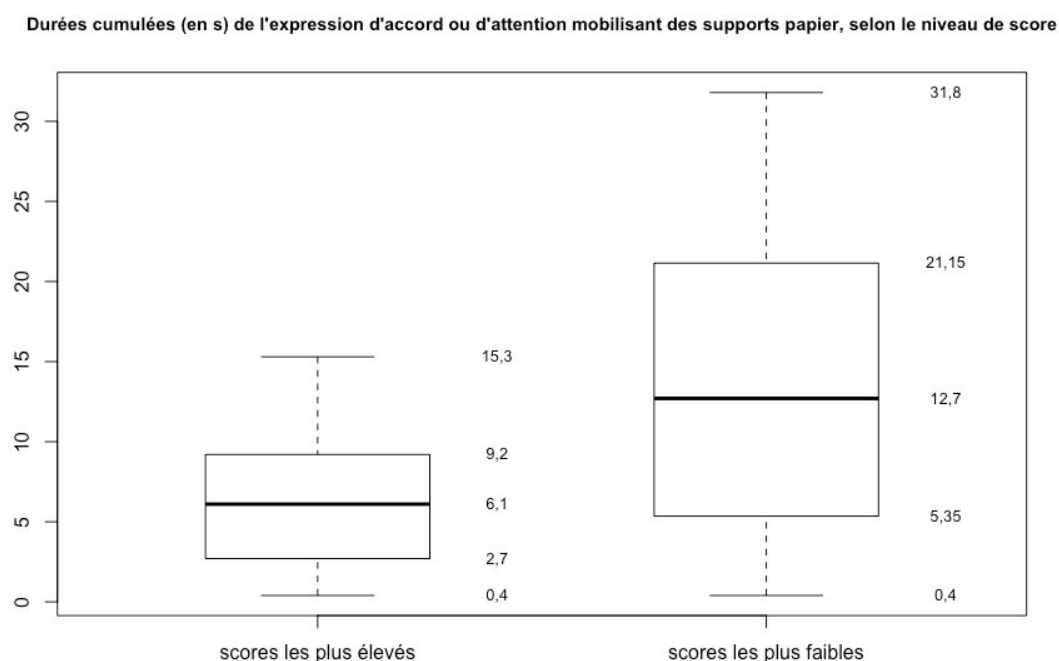


tableau A.10-27 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	6,31	6,1	0,4	15,3	3,99	51
Scores les plus faibles	13,34	12,7	0,4	31,8	8,81	128

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarFpapcum and donneescpltarfpapcum

W = 1773, p-value = 9,521e-07

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-28 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

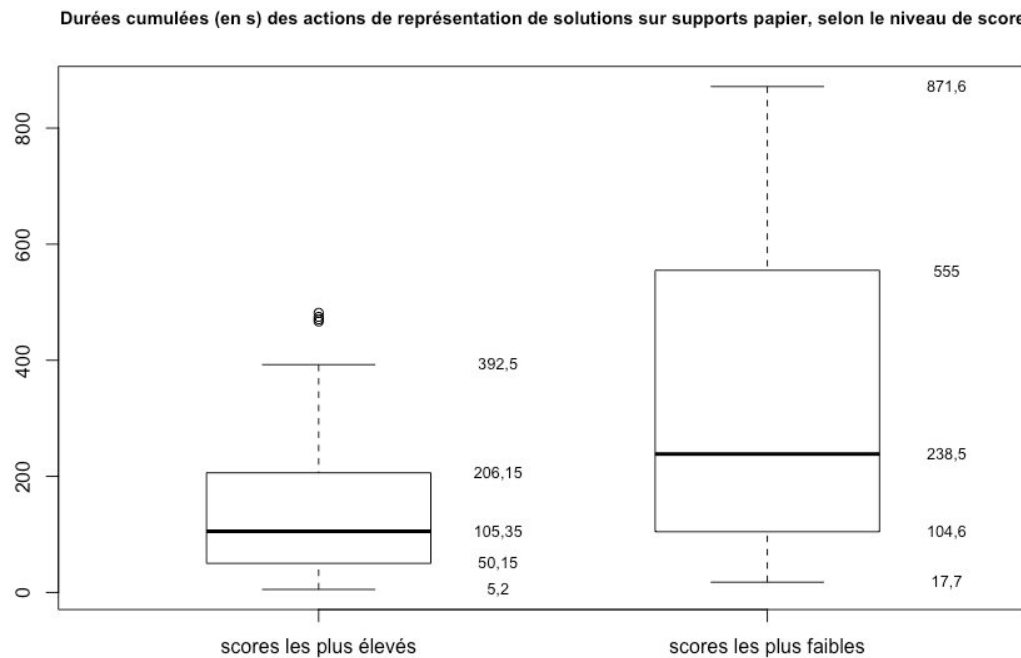


tableau A.10-28 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	135,79	105,35	5,2	481,7	114,65	108
Scores les plus faibles	338,5	238,5	17,7	871,6	257,08	62

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrsFpapcum and donneescpltrsfpapcum

W = 1721, p-value = 6,99e-08

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-29 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier

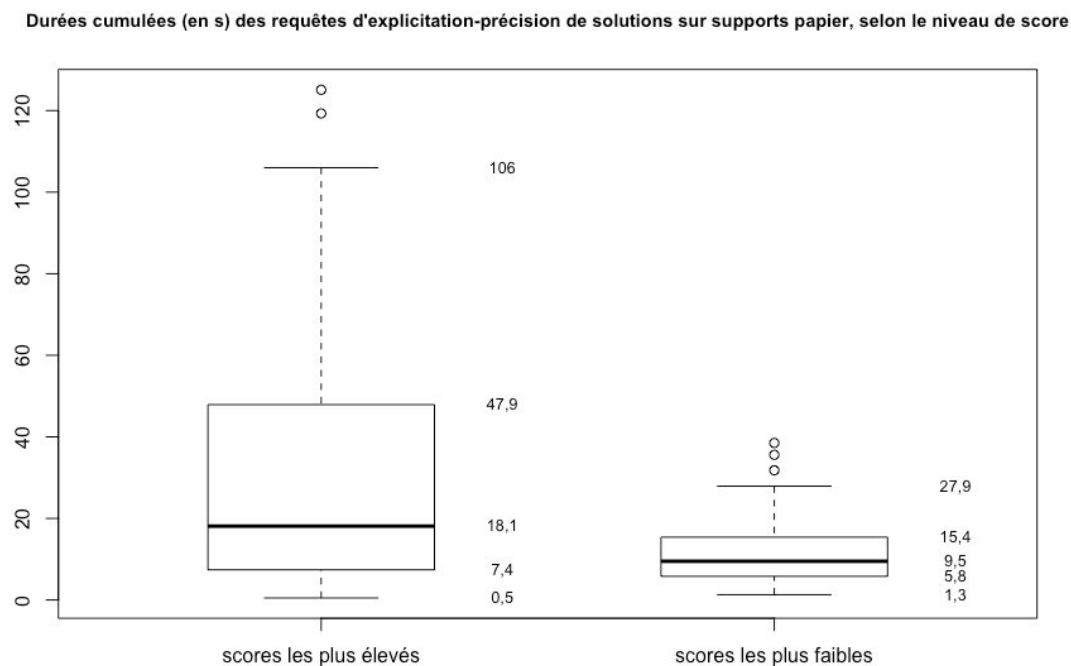


tableau A.10-29 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	32,73	18,1	0,5	125,1	34,25	70
Scores les plus faibles	11,91	9,5	1,3	38,5	9,32	43

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsfpapcum and donneescpltreqsfpapcum

W = 2035,5, p-value = 0,0008613

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-30 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports papier

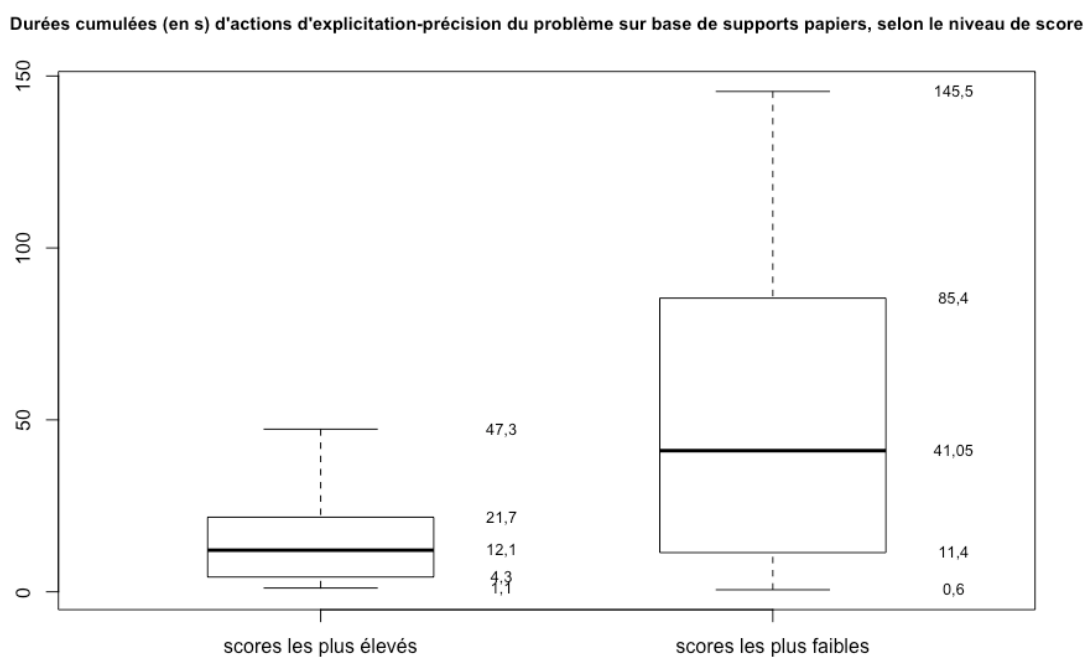


tableau A.10-30 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	14,78	12,1	1,1	47,3	12,62	29
Scores les plus faibles	51,26	41,05	0,6	145,5	45,93	44

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescplteppFpapcum and donneescplteppfpapcum

W = 353, p-value = 0,0006699

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-31 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions recourant à des supports papier

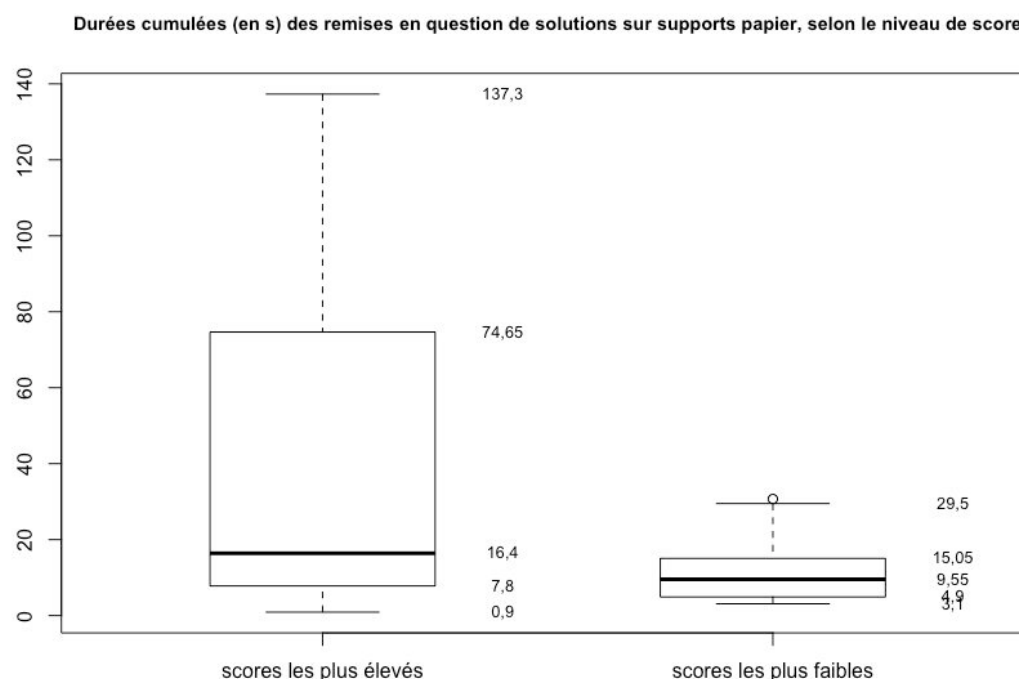


tableau A.10-31 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	40,9	16,4	0,9	137,3	43,02	51
Scores les plus faibles	11,5	9,55	3,1	30,7	8,5	20

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsFpapcum and donneescpltrqsfpapcum

W = 707, p-value = 0,006002

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-32 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

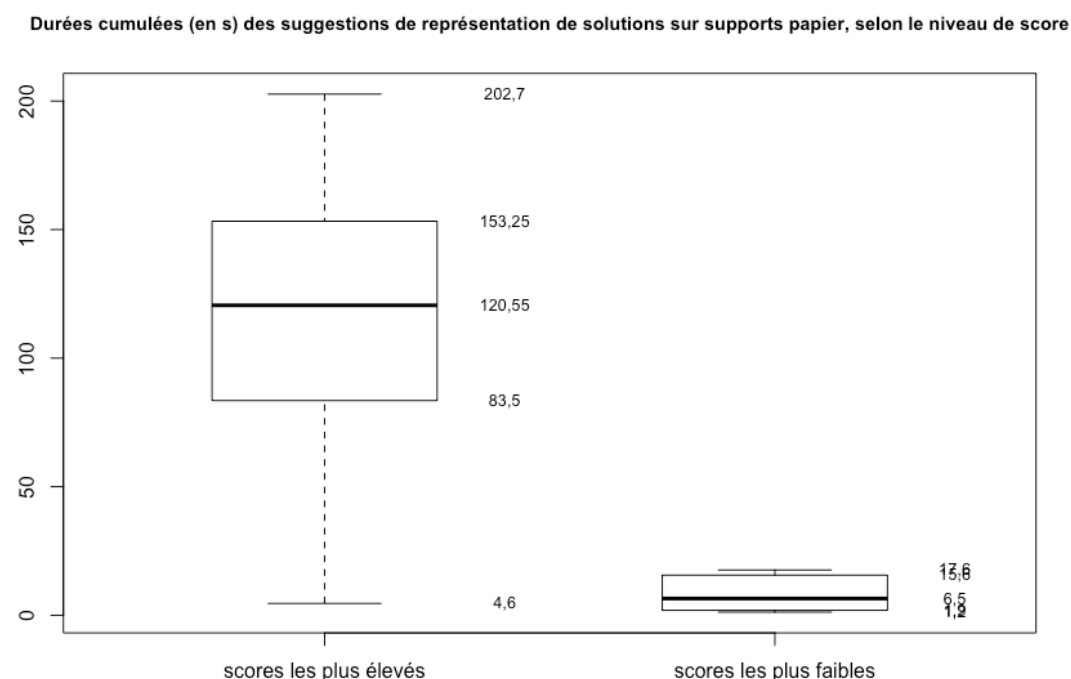


tableau A.10-32 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	117,88	120,55	4,6	202,7	50,73	52
Scores les plus faibles	8,61	6,5	1,2	17,6	7,42	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsFpapcum and donneescpltsrsfpapcum

W = 353, p-value = 3,212e-05

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-33 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier

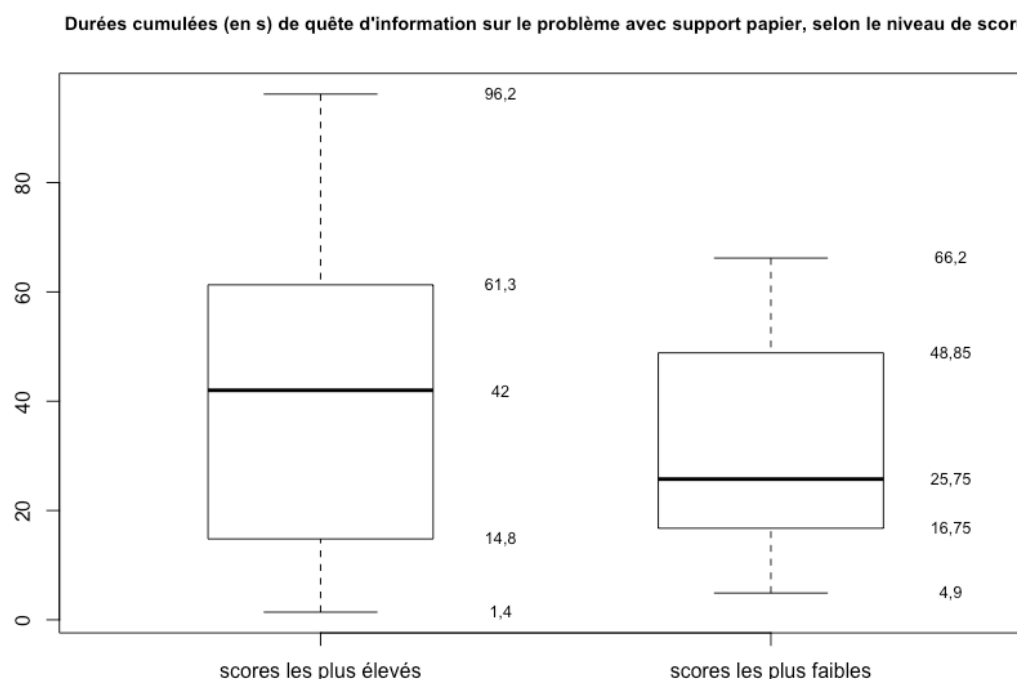


tableau A.10-33 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	41,09	42	1,4	96,2	29,66	25
Scores les plus faibles	31,36	25,75	4,9	66,2	20,41	24

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpipFpapcum and donneescpltpipfpapcum

W = 350, p-value = 0,3252

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-34 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées de propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier

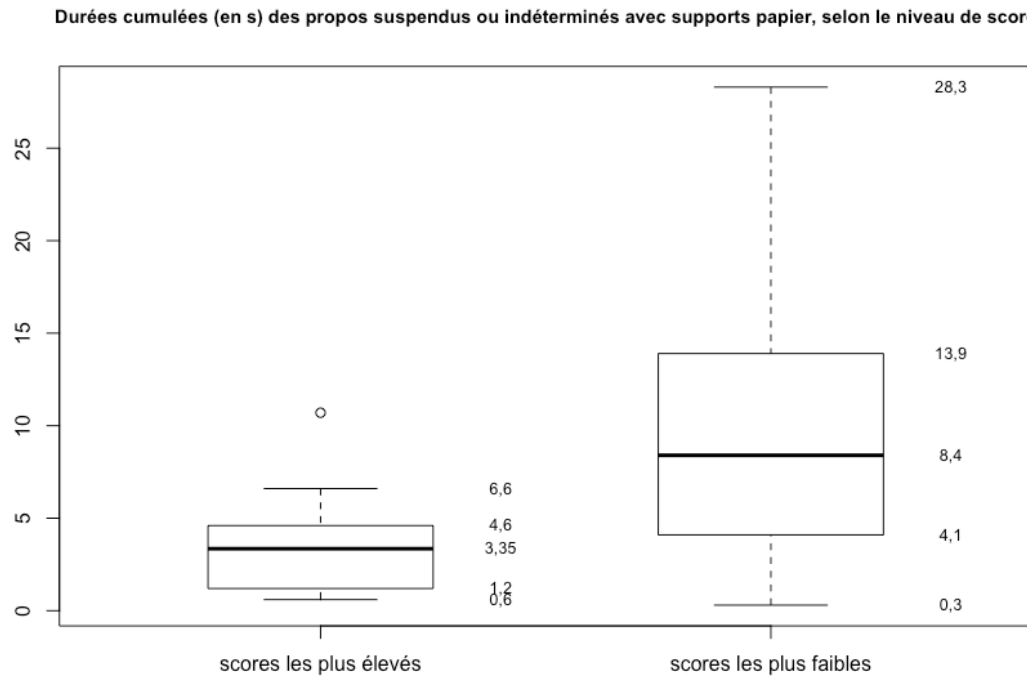


tableau A.10-34 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	3,53	3,35	0,6	10,7	2,71	14
Scores les plus faibles	9,72	8,4	0,3	28,3	7,28	33

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsifpapcum and donneescpltpsifpapcum

W = 99,5, p-value = 0,001152

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-35 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier

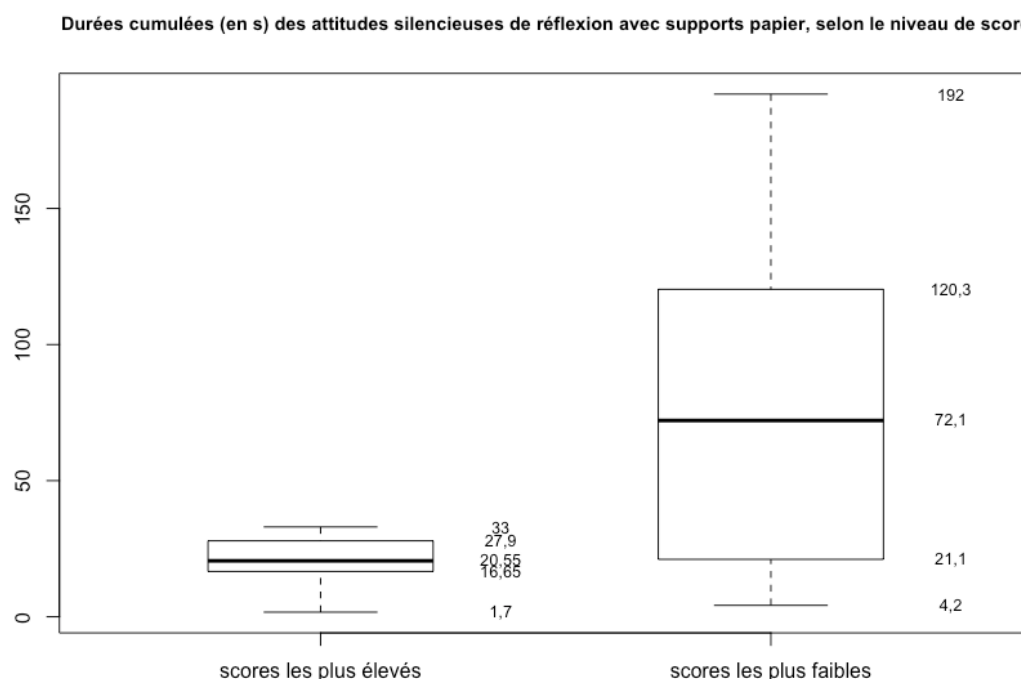


tableau A.10-35 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	20,61	20,55	1,7	33	9,71	8
Scores les plus faibles	79,49	72,1	4,2	192	57,54	38

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsrfpapcum and donneescpltpsrfpapcum

W = 63, p-value = 0,004185

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-36 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier

Durées cumulées (en s) des actions de validation-consolidation de solutions sur support papier, selon le niveau de score

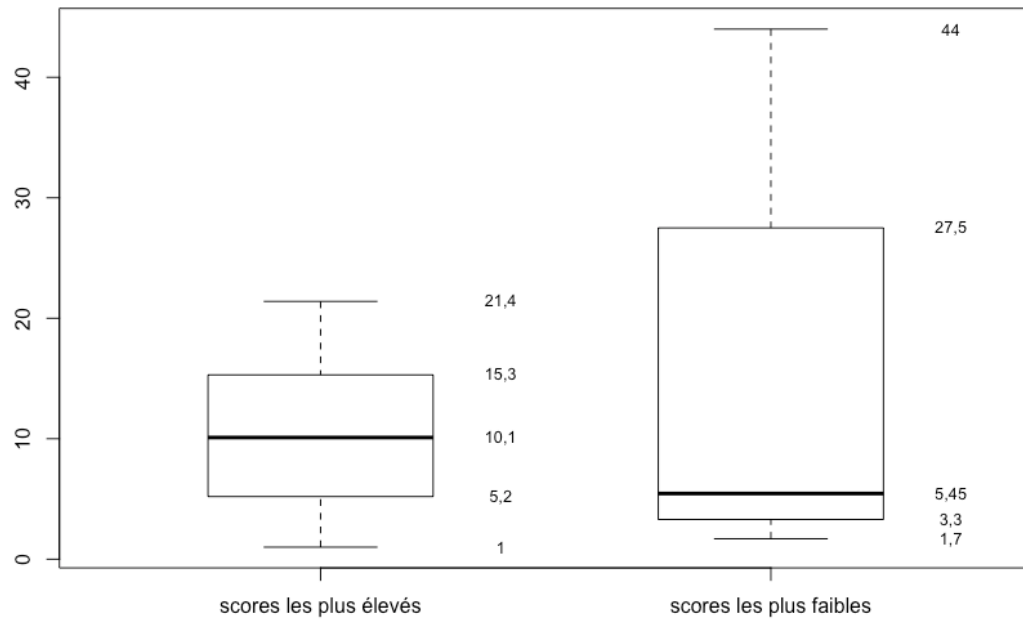


tableau A.10-36 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	10,21	10,1	1	21,4	5,75	30
Scores les plus faibles	13,52	5,45	1,7	44	15,21	14

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsFpapcum and donneescpltvcsfpapcum

W = 233, p-value = 0,5707

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-37 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier

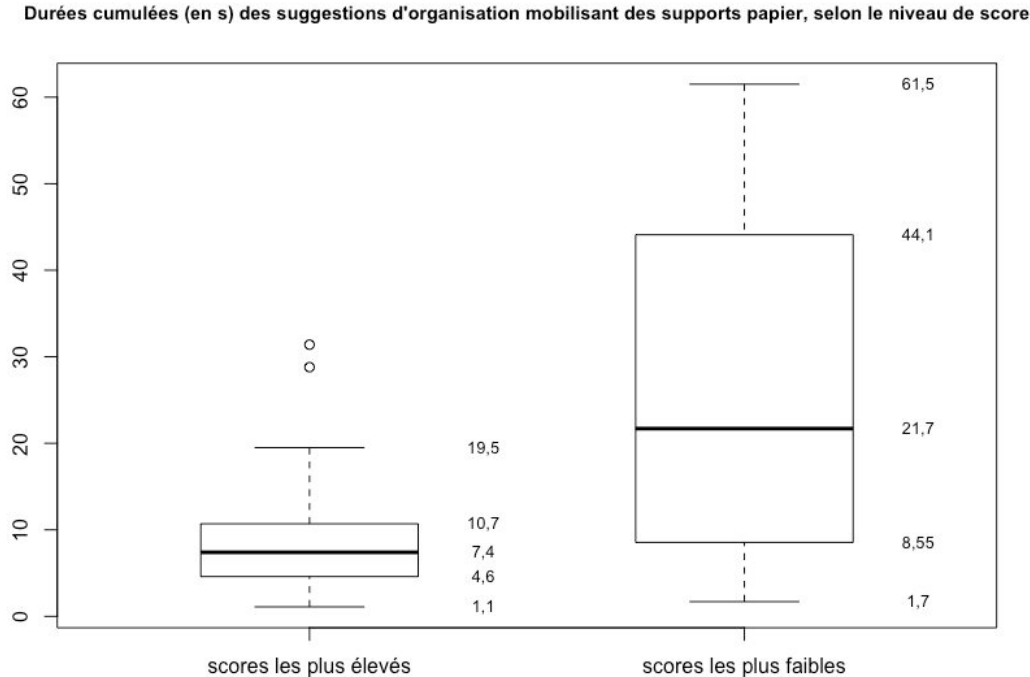


tableau A.10-37 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	10,25	7,4	1,1	31,4	8,87	17
Scores les plus faibles	26,87	21,7	1,7	61,5	20,67	15

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltsoFpapcum and donneescpltsofpapcum

W = 69, p-value = 0,01352

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-38 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) des actions de représentation de solutions sur supports numériques, selon le niveau de score

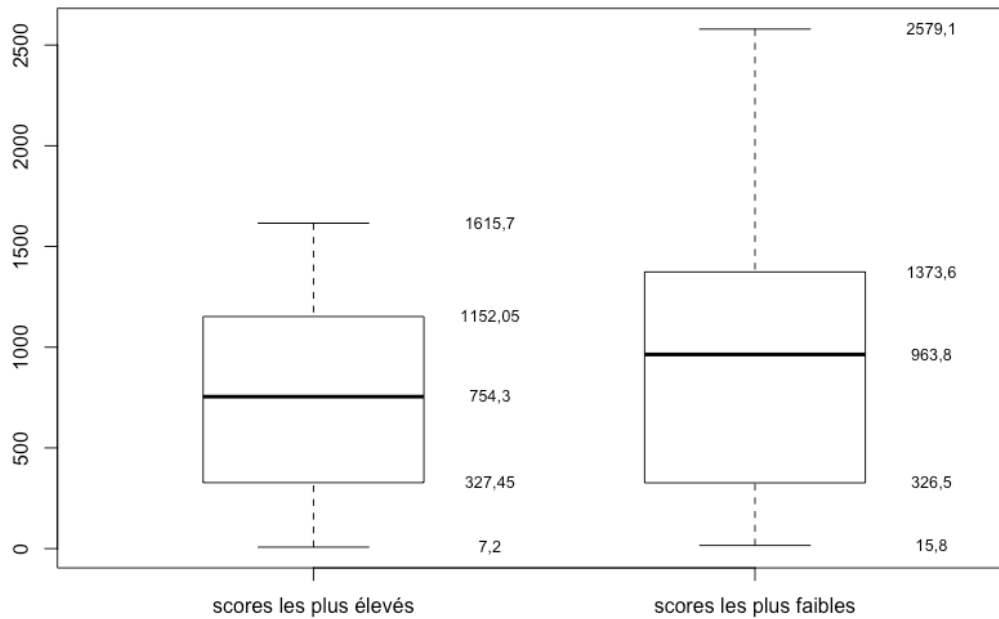


tableau A.10-38 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de représentation de solutions sur supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	740,44	754,3	7,2	1615,7	467,92	175
Scores les plus faibles	1013,58	963,8	15,8	2579,1	776,69	59

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrsFnumcum and donneescpltrsfnucum

W = 4344, p-value = 0,03445

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-39 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) de actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

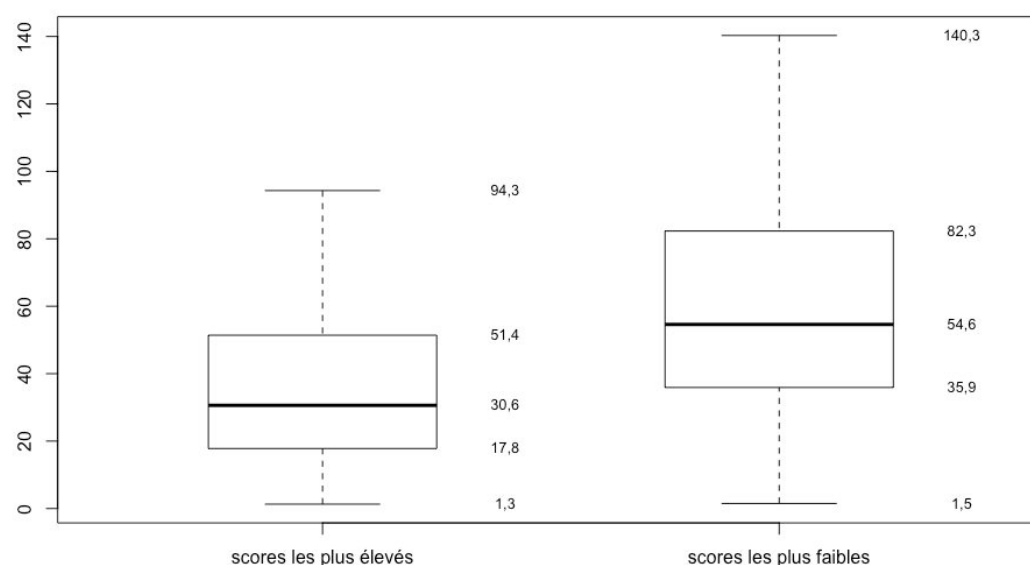


tableau A.10-39 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	35,71	30,6	1,3	94,3	23,06	93
Scores les plus faibles	60,87	54,6	1,5	140,3	37,61	83

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsFnumcum and donneescpltpsfnucum

W = 2309,5, p-value = 2,193e-06

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-40 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

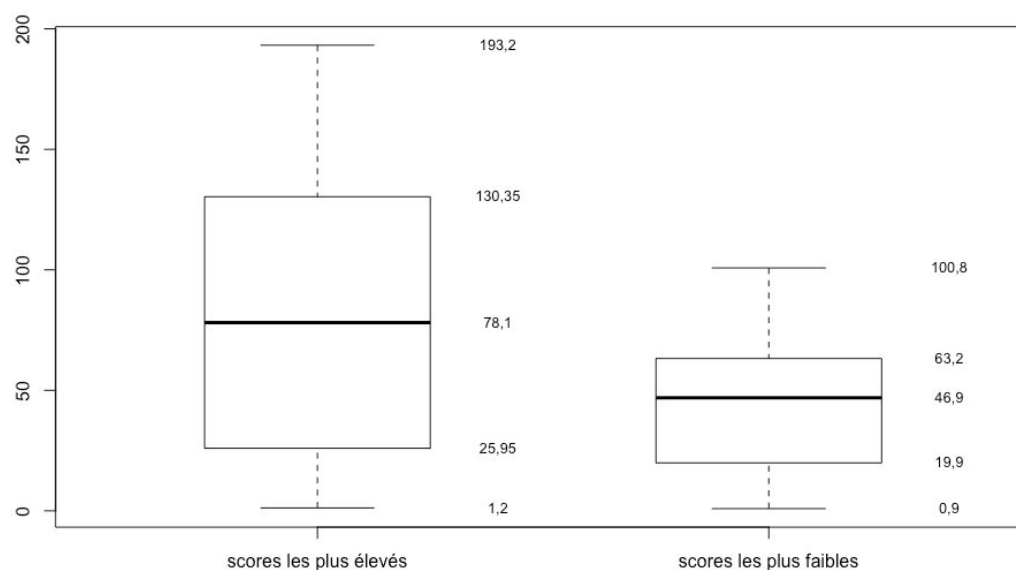


tableau A.10-40 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	82,41	78,1	1,2	193,2	58,21	100
Scores les plus faibles	45,28	46,9	0,9	100,8	28,23	73

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsFnumcum and donneescpltsrsfnumcum

W = 4924, p-value = 4,533e-05

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-41 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports numériques

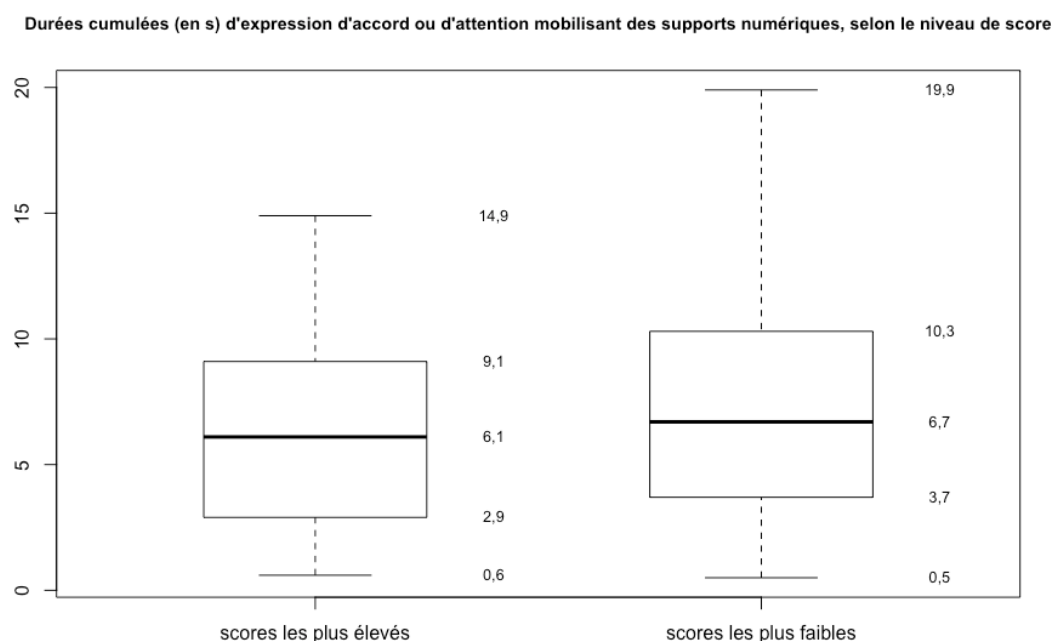


tableau A.10-41 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	6,22	6,1	0,6	14,9	3,83	52
Scores les plus faibles	7,86	6,7	0,5	19,9	5,56	69

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarFnumcum and donneescpltarfnumcum

W = 1574,5, p-value = 0,2515

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-42 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation de solutions mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

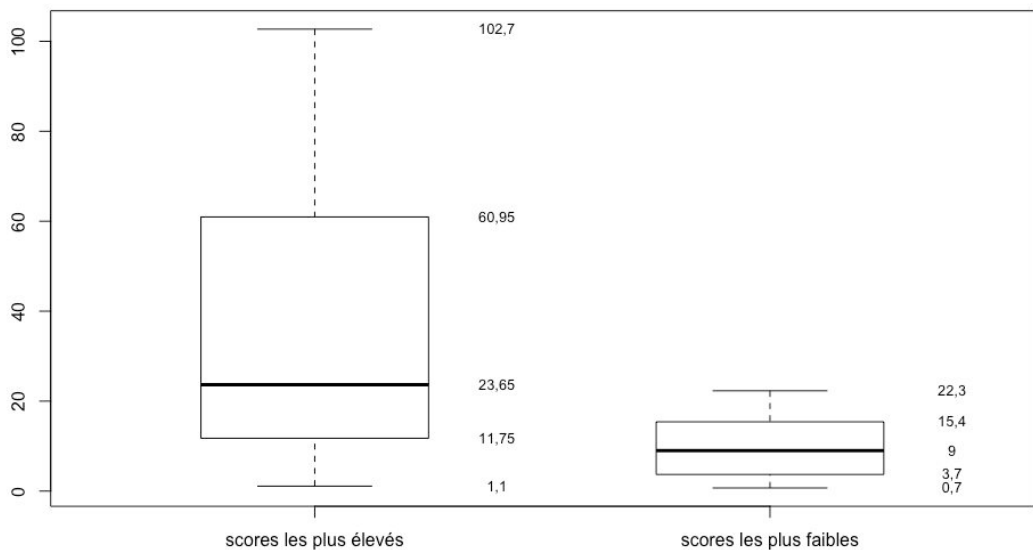


tableau A.10-42 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	36,31	23,65	1,1	102,7	30,63	68
Scores les plus faibles	10,09	9	0,7	22,3	6,61	30

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsFnumcum and donneescpltreqsfnucum

W = 1602, p-value = 3,689e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-43 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques

Distribution des durées cumulées (en s) des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

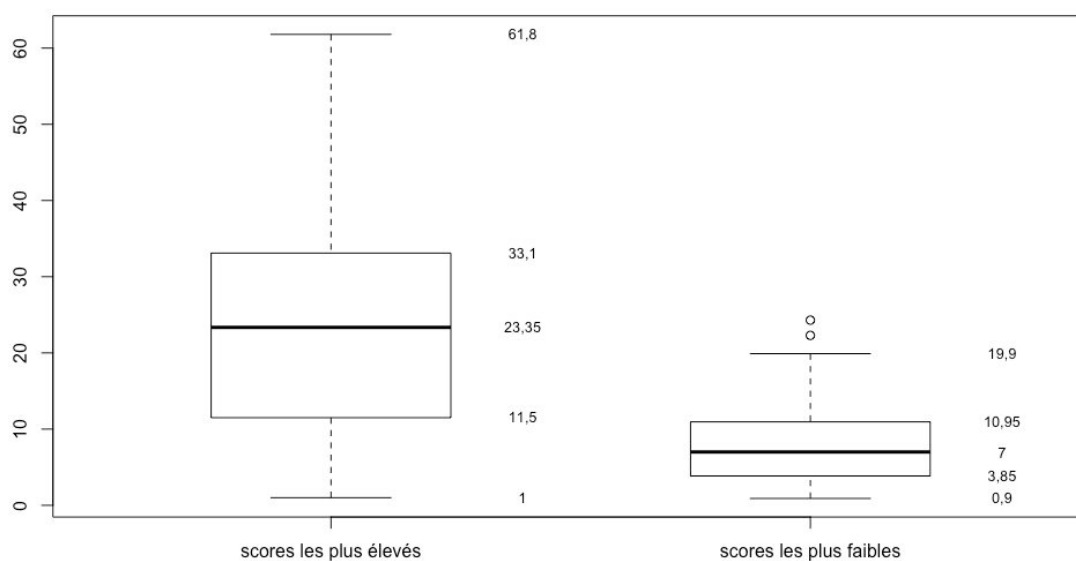


tableau A.10-43 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	23,69	23,35	1	61,8	14,68	66
Scores les plus faibles	8,83	7	0,9	24,3	6,99	23

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsFnumcum and donneescpltrqsfnucum

W = 1237, p-value = 3,815e-06

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-44 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) des actions de validation consolidation de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

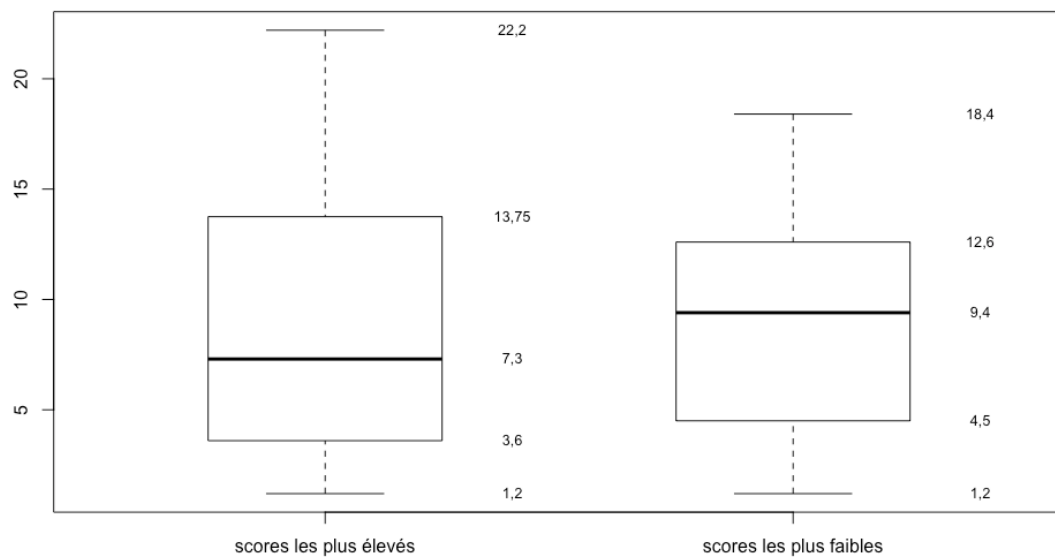


tableau A.10-44 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	9,02	7,3	1,2	22,2	6	28
Scores les plus faibles	8,78	9,4	1,2	18,4	5,09	18

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsFnumcum and donneescpltvcsfnumcum

W = 257,5, p-value = 0,9104

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-45 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques

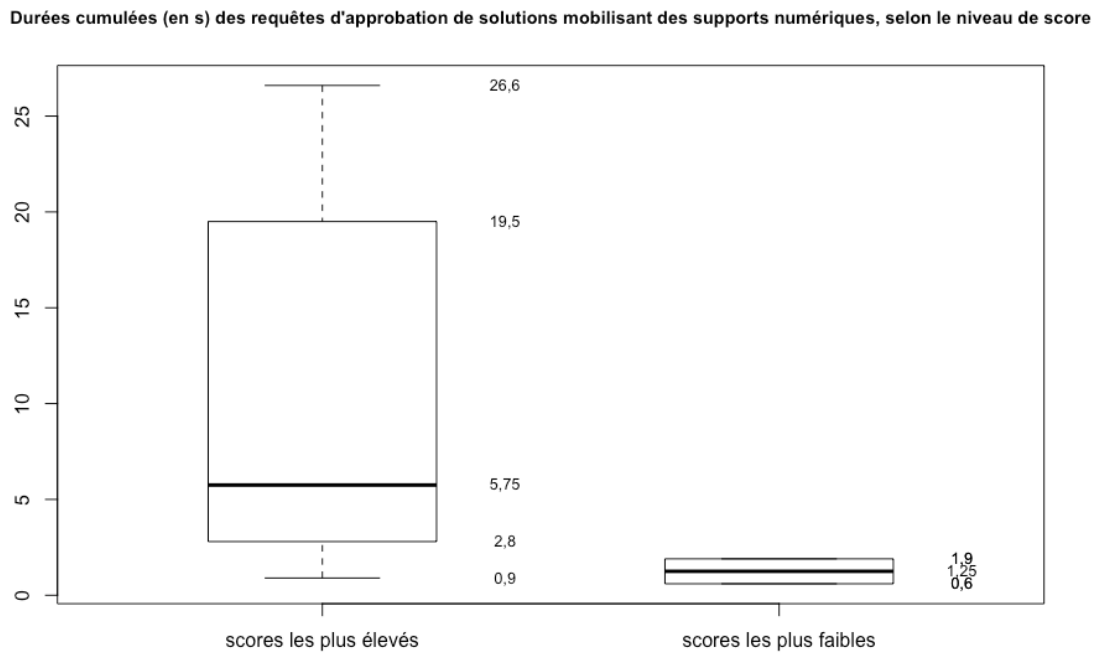


tableau A.10-45 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	9,82	5,75	0,9	26,6	8,71	22
Scores les plus faibles	1,25	1,25	0,6	1,9	0,92	2

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrasFnumcum and donneescpltrasfnumcum

W = 40, p-value = 0,03376

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-46 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques

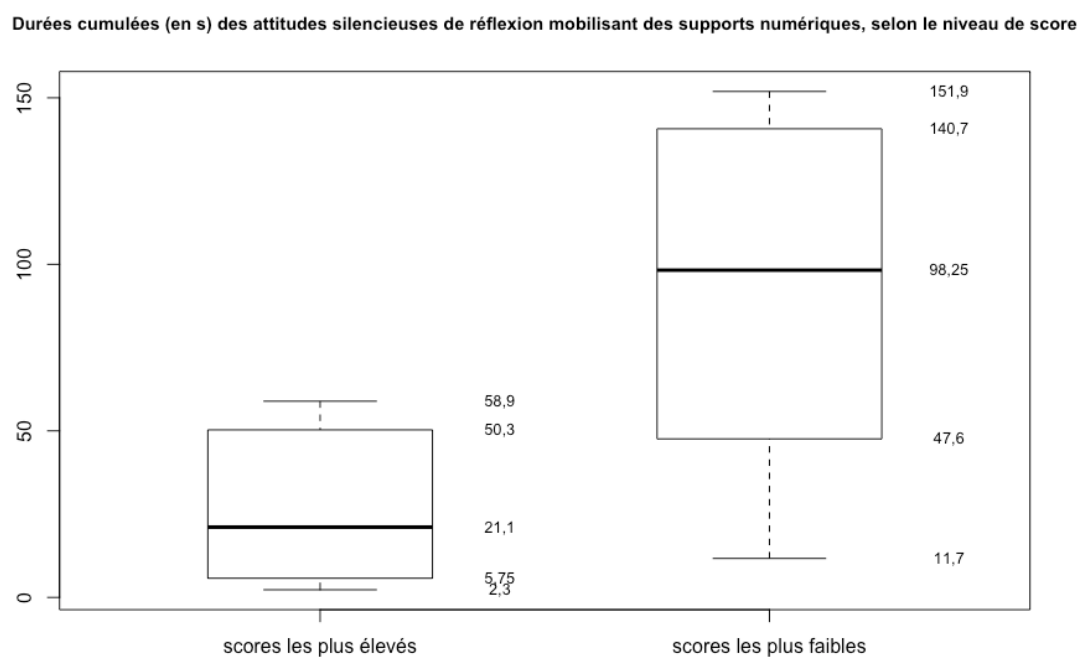


tableau A.10-46 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	27,77	21,1	2,3	58,9	24,77	7
Scores les plus faibles	92,62	98,25	11,7	151,9	50,98	14

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsrfnumcum and donneescpltpsrfnumcum

W = 13, p-value = 0,002821

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-47 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques

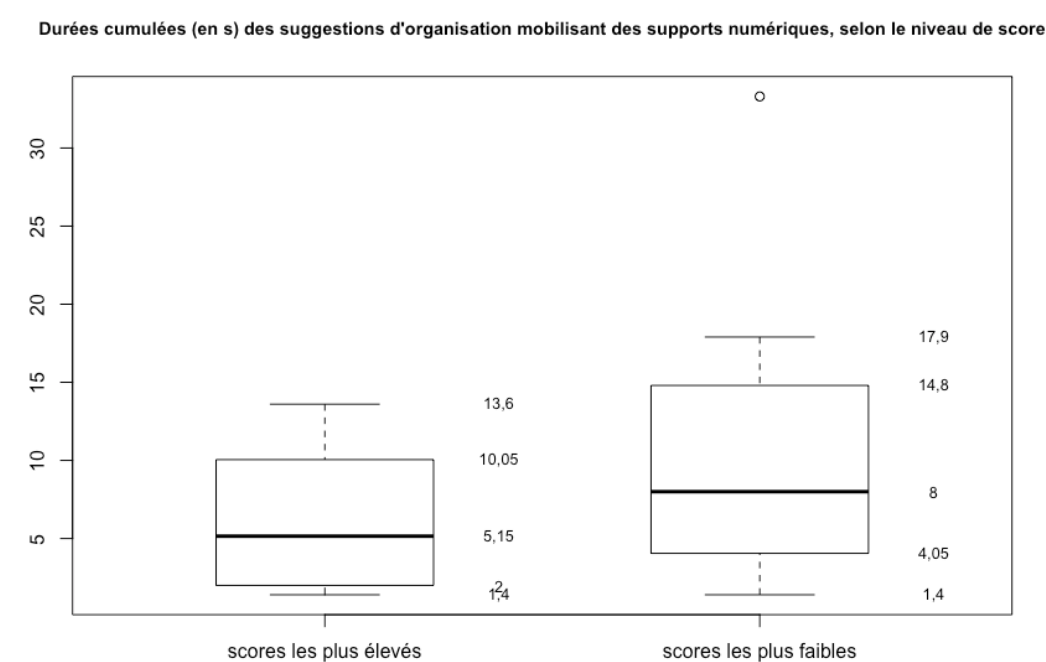


tableau A.10-47 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	6,17	5,15	1,4	13,6	4,67	8
Scores les plus faibles	11,49	8	1,4	33,3	11,14	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsoFnumcum and donneescpltsofnumcum
W = 20,5, p-value = 0,4175
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-48 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

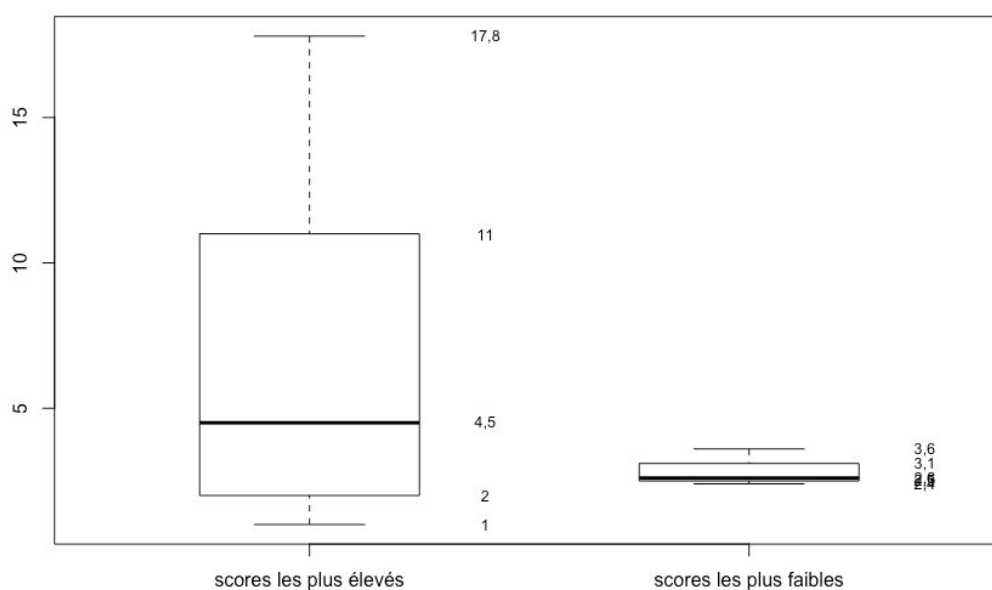


tableau A.10-48 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	7,13	4,5	1	17,8	5,93	9
Scores les plus faibles	2,87	2,6	2,4	3,6	0,64	3

Wilcoxon rank sum test

data: donneescplteppFnumcum and donneescplteppfnumcum

W = 18, p-value = 0,4818

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-49 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) des apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

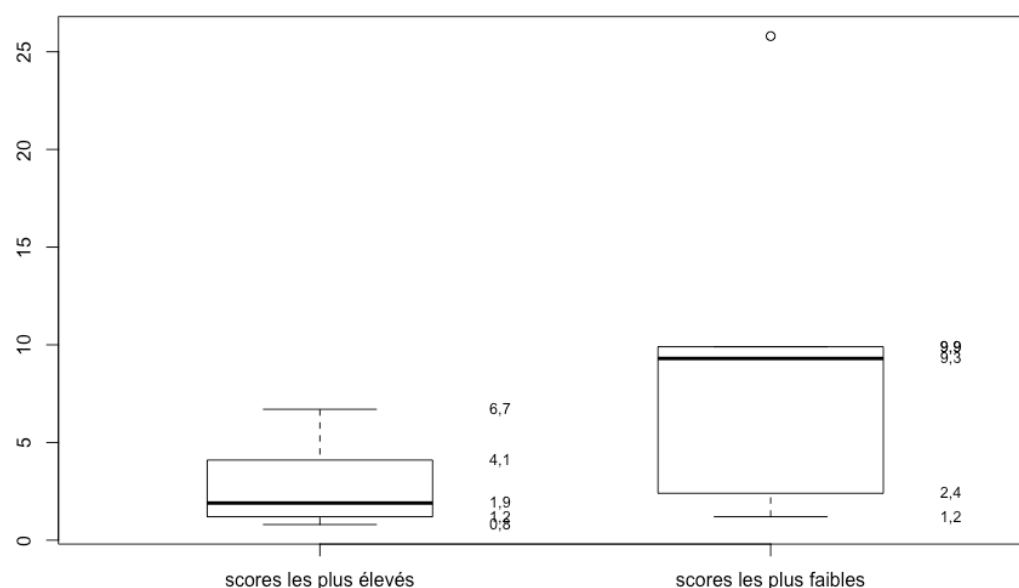


tableau A.10-49 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2,77	1,9	0,8	6,7	2,25	6
Scores les plus faibles	9,72	9,3	1,2	25,8	9,81	5

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltaostFnumcum and donneescpltaostfnumcum

W = 6,5, p-value = 0,1432

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-50 : Distribution, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

Durées cumulées (en s) des requêtes de représentation de solutions sur supports numériques, selon le niveau de score

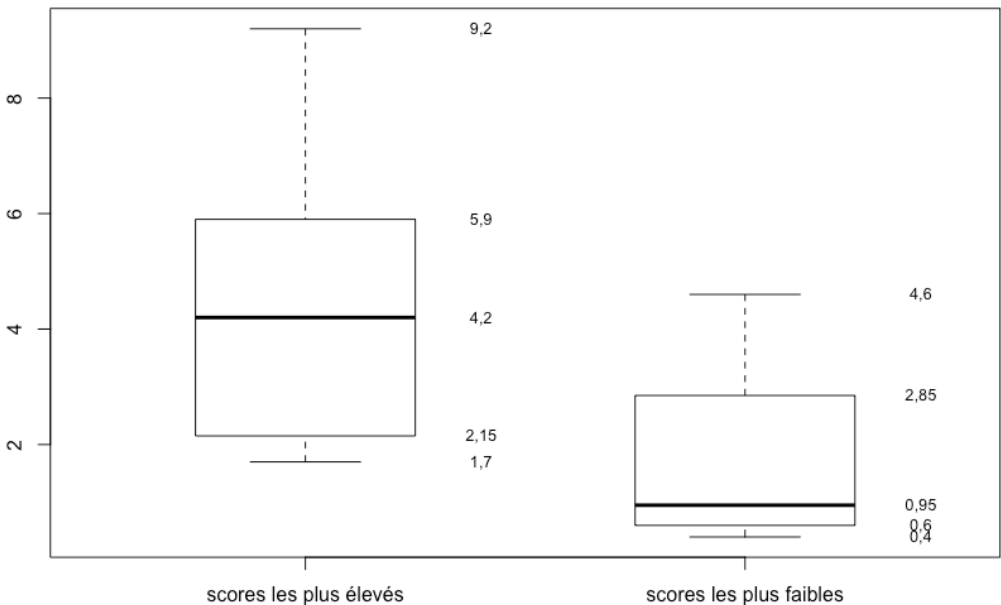


tableau A.10-50 : Description, selon le niveau de score, des durées cumulées des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	4,46	4,2	1,7	9,2	2,77	7
Scores les plus faibles	1,72	0,95	0,4	4,6	1,94	4

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltrrsFnumcum and donneescpltrrsfnumcum

W = 24, p-value = 0,03636

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-51 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans

Distribution des instants de survenue (en s) d'explicitations de solutions mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

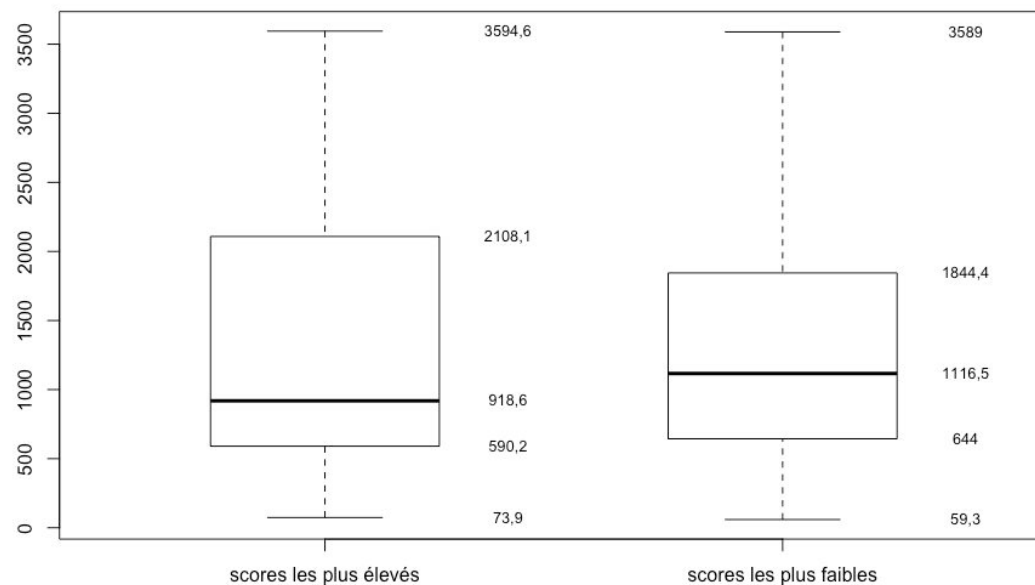


tableau A.10-51 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1328,49	918,6	73,9	3594,6	1011,23	268
Scores les plus faibles	1379,28	1116,5	59,3	3589	1014,32	195

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltepsEplandeb and donneescpltepsfplandeb

W = 24838, p-value = 0,3636

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-52 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports plans

Distribution des instants de survenue (en s) de l'expression d'accord ou d'attention mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

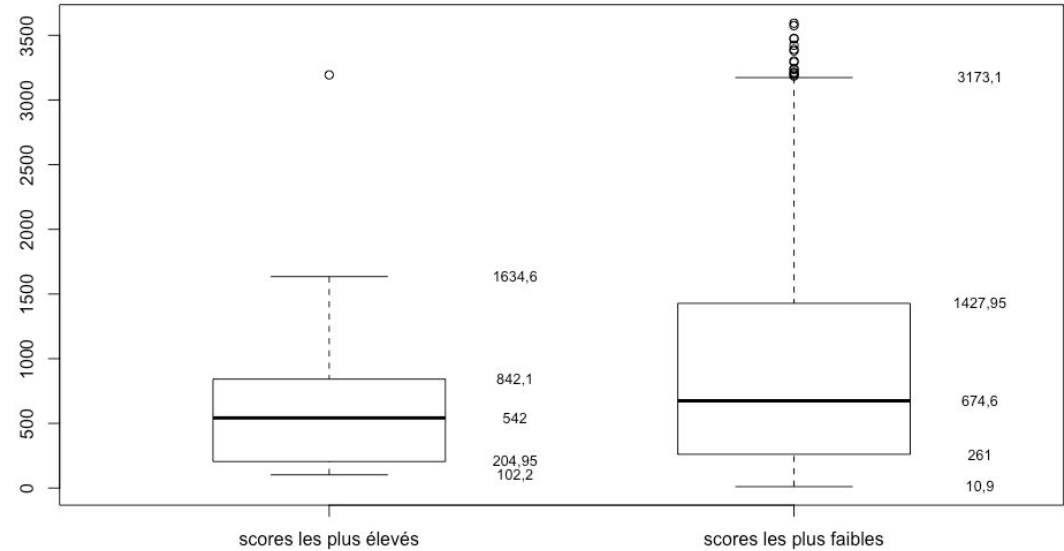


tableau A.10-52 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	607,81	542	102,2	3193,9	519,94	51
Scores les plus faibles	1058,13	674,6	10,9	3593,4	1031,45	127

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarEplandeb and donneescpltarfplandeb

W = 2522, p-value = 0,01063

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-53 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions sur supports plans

Distribution des instants de survenue (en s) de la représentation de solutions sur supports plans, selon le niveau de score

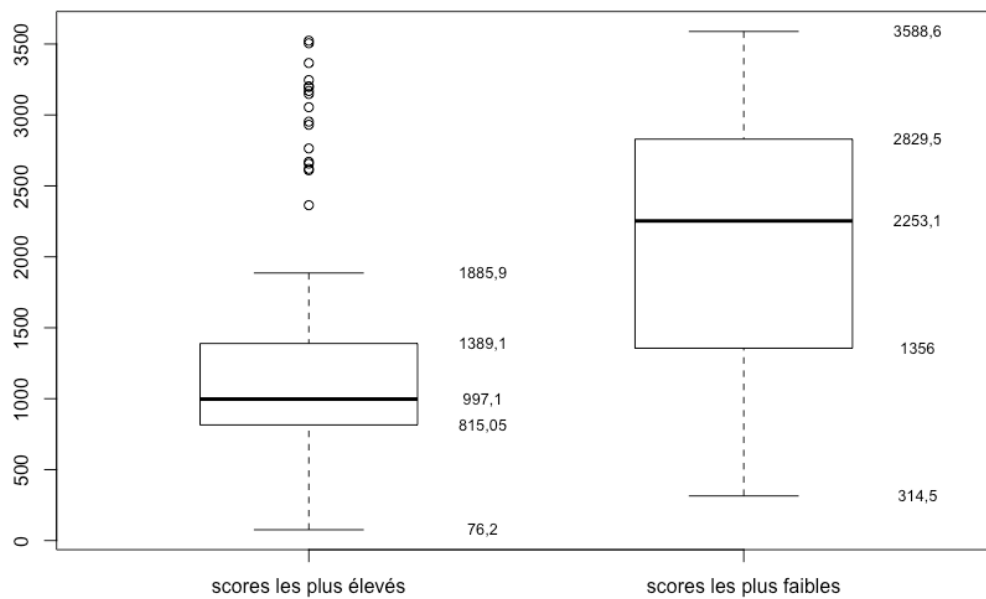


tableau A.10-53 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions sur supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1242,36	997,1	76,2	3523,2	852,29	108
Scores les plus faibles	1999,9	2253,1	314,5	3588,6	1000,01	62

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrsEplandeb and donneespltrsfplandeb

W = 2026, p-value = 9,424e-06

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-54 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de requête d'explicitation de solutions mobilisant des supports plans

Distribution des instants de survenue (en s) des requêtes d'explicitation de solutions sur supports plans, selon le niveau de score

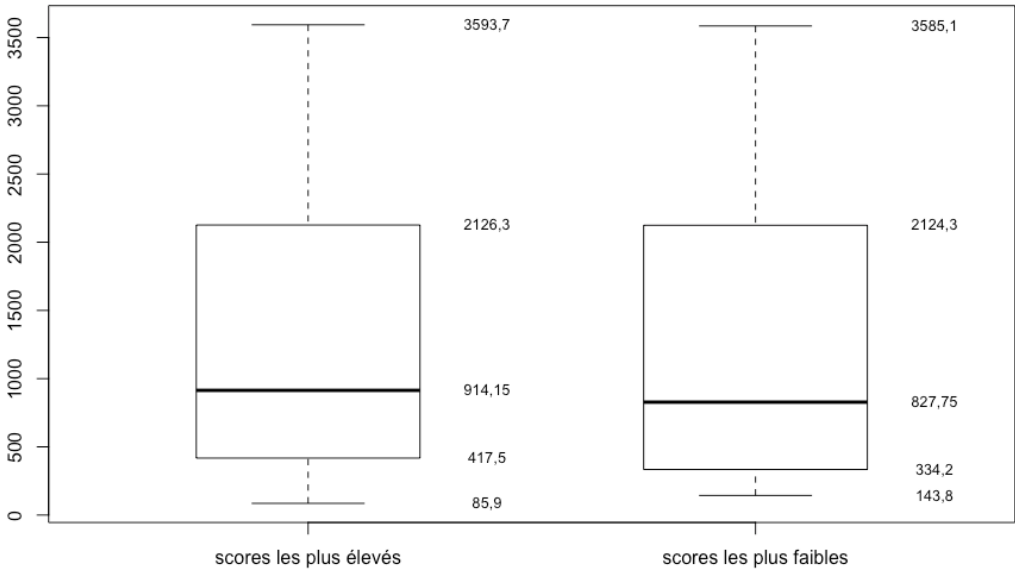


tableau A.10-54 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1270,71	914,15	85,9	3593,7	1077,58	70
Scores les plus faibles	1219,02	827,75	143,8	3585,1	1015,87	42

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsEplandeb and donneescpltreqsfpplandeb

W = 1527, p-value = 0,7342

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-55 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de remise en question de solutions mobilisant des supports plans

Distribution des instants de survenue (en s) des remises en question de solutions sur supports plans, selon le niveau de score

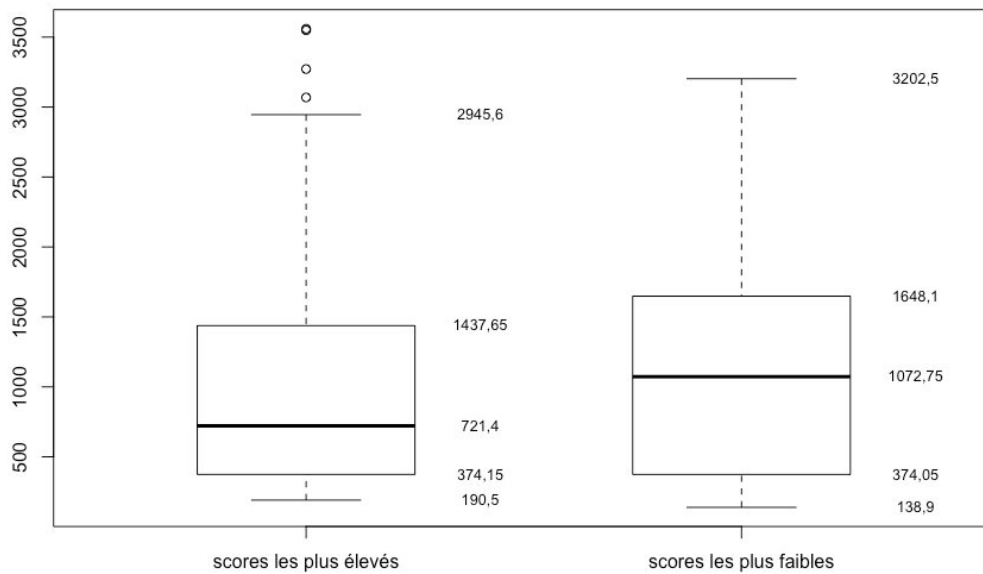


tableau A.10-55 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1146,41	721,4	190,5	3559,3	1021,22	51
Scores les plus faibles	1280,38	1072,75	138,9	3202,5	1003,48	20

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsEplandeb and donneescpltrqsfpandeb

W = 440, p-value = 0,3743

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-56 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans

Instants de survenue (en s) d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

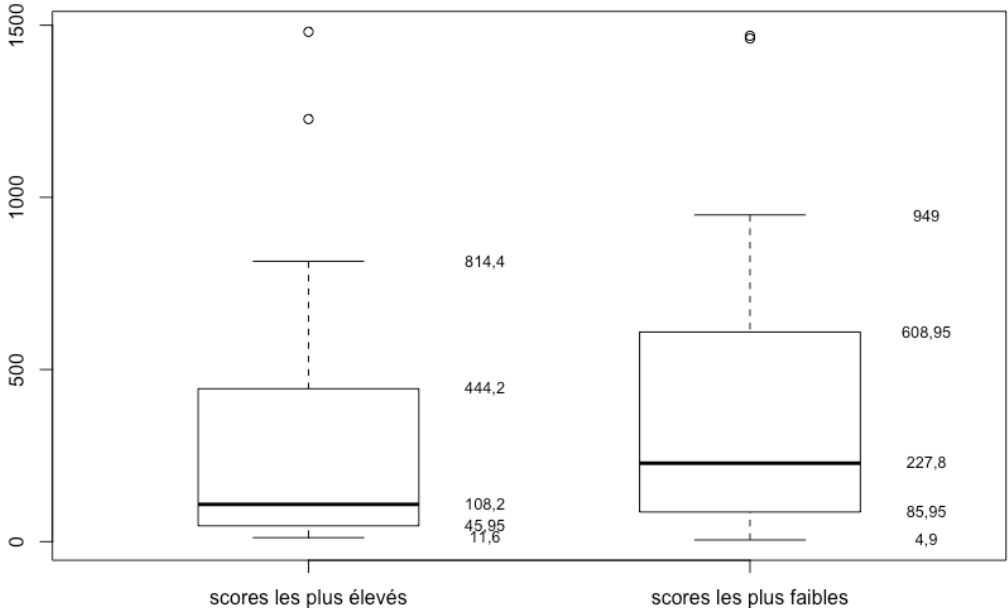


tableau A.10-56 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	300,52	108,2	11,6	1481	394,98	27
Scores les plus faibles	361,32	227,8	4,9	1469,4	369,24	43

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescplteppEplandeb and donneescplteppfplandeb

W = 485, p-value = 0,2517

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-57 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans

Instants de survenue (en s) des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

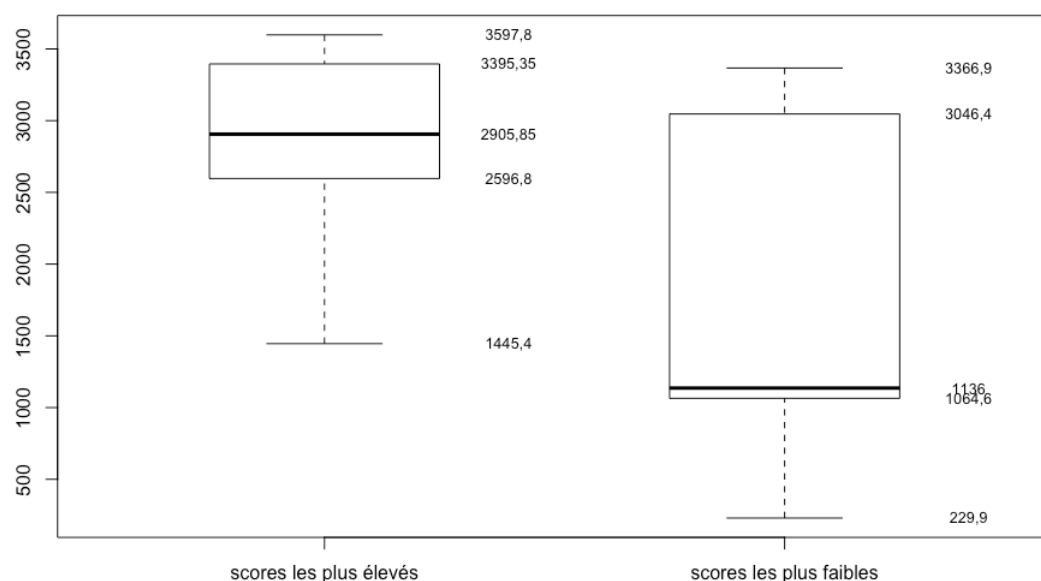


tableau A.10-57 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2873,57	2905,85	1445,4	3597,8	535,82	52
Scores les plus faibles	1850,69	1136	229,9	3366,9	1262,14	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsEplandeb and donneescpltsrsfplandeb

W = 260, p-value = 0,03464

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-58 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans

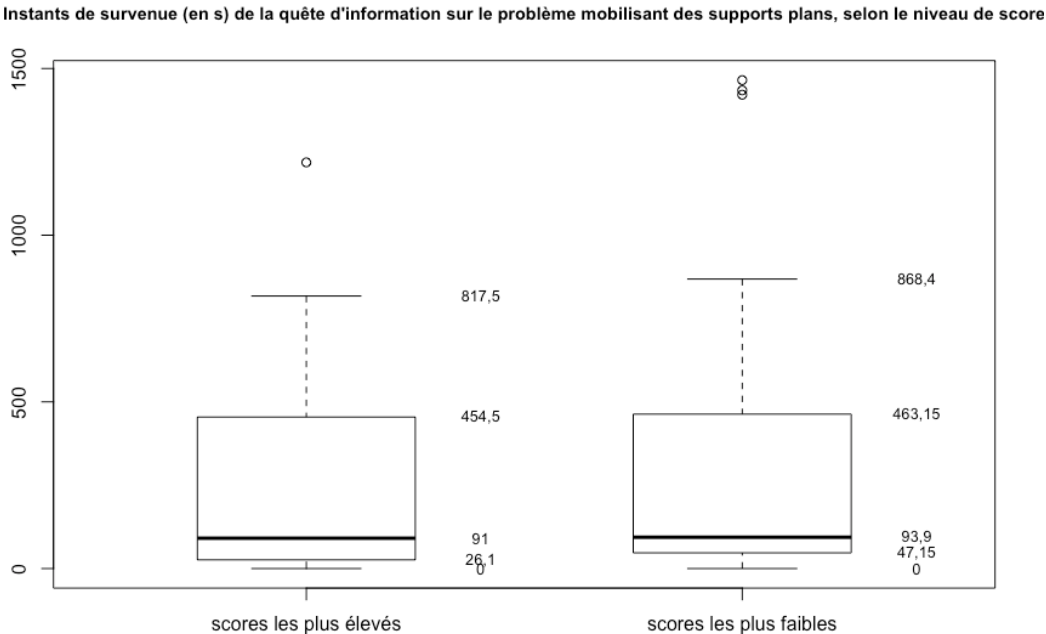


tableau A.10-58 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	267,55	91	0	1218,4	324,99	25
Scores les plus faibles	367,58	93,9	0	1465,1	492,36	23

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltqipEplandeb and donneescpltqipfplandeb

W = 263, p-value = 0,6203

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-59 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans

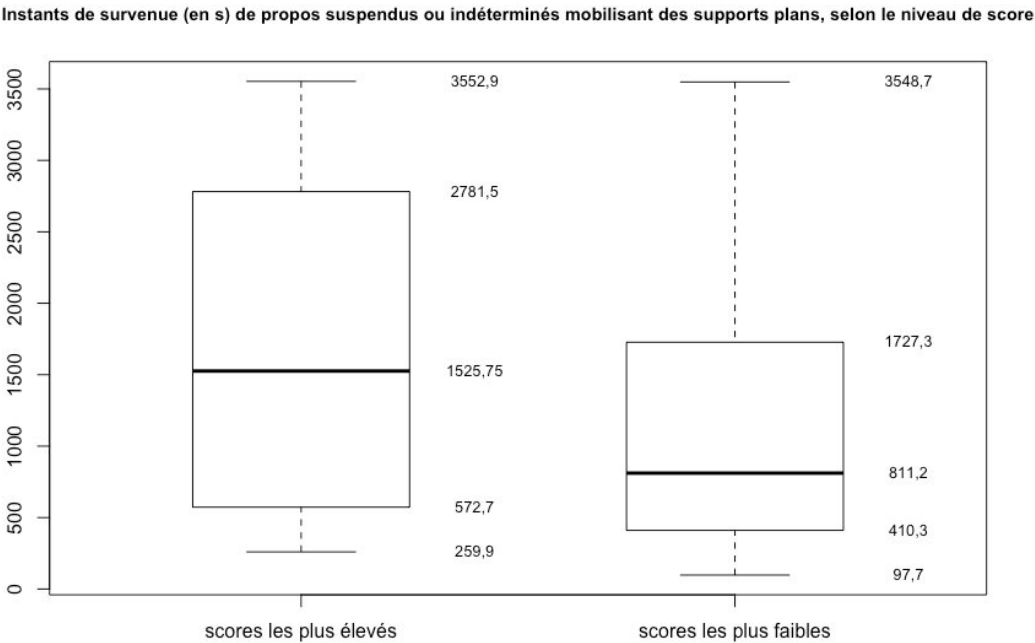


tableau A.10-59 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés soutenant un recours aux supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1719,09	1525,75	259,9	3552,9	1250,69	14
Scores les plus faibles	1171,35	811,2	97,7	3548,7	962,1	33

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsEplandeb and donneescpltpsifplandeb
W = 291, p-value = 0,1663
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-60 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans

Instants de survenue (en s) d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

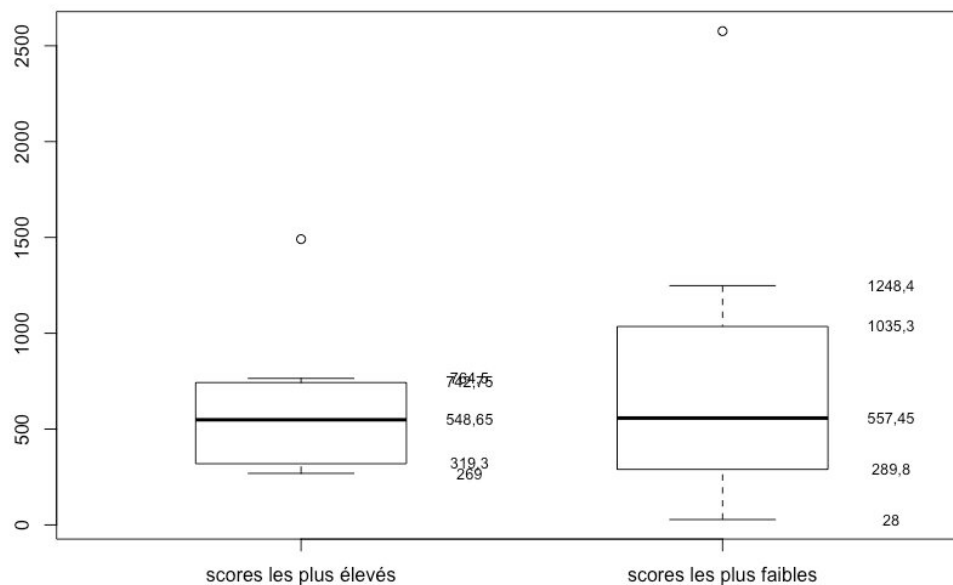


tableau A.10-60 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	622,67	548,65	269	1491	406,01	8
Scores les plus faibles	681,46	557,45	28	2576,4	501,27	38

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsreplandeb and donneescpltpsrflandeb

W = 150, p-value = 0,966

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsreplandeb and donneescpltpsrflandeb

W = 150, p-value = 0,966

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-61 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans

Instants de survenue (en s) de validation-consolidation de solutions sur supports plans, selon le niveau de score

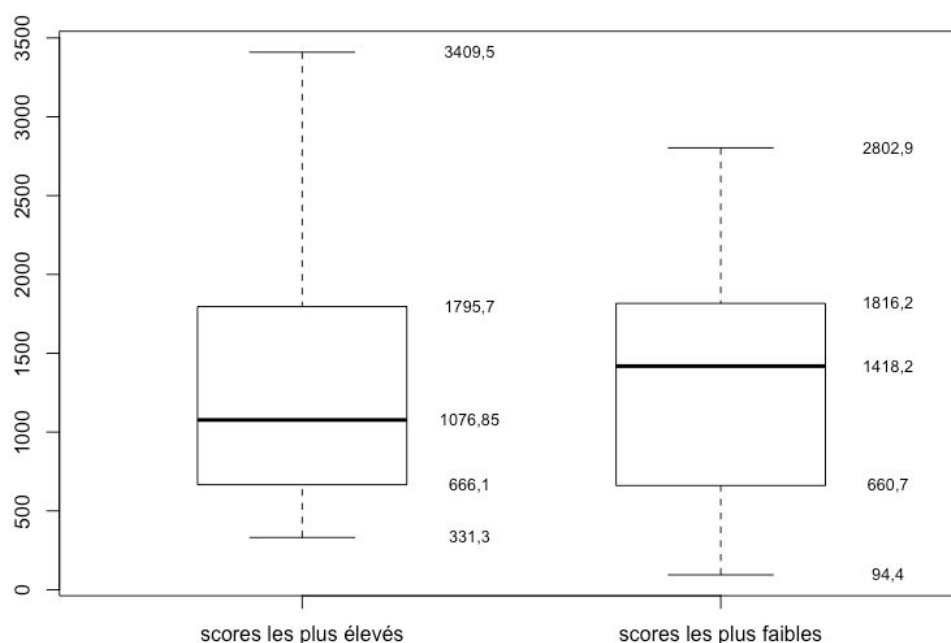


tableau A.10-61 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1356,63	1076,85	331,3	3409,5	904,36	30
Scores les plus faibles	1289,79	1418,2	94,4	2802,9	789,53	14

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsEplandeb and donneescpltvcsfplandeb

W = 194, p-value = 0,6961

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-62 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans

Instants de survenue (en s) des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans, selon le niveau de score

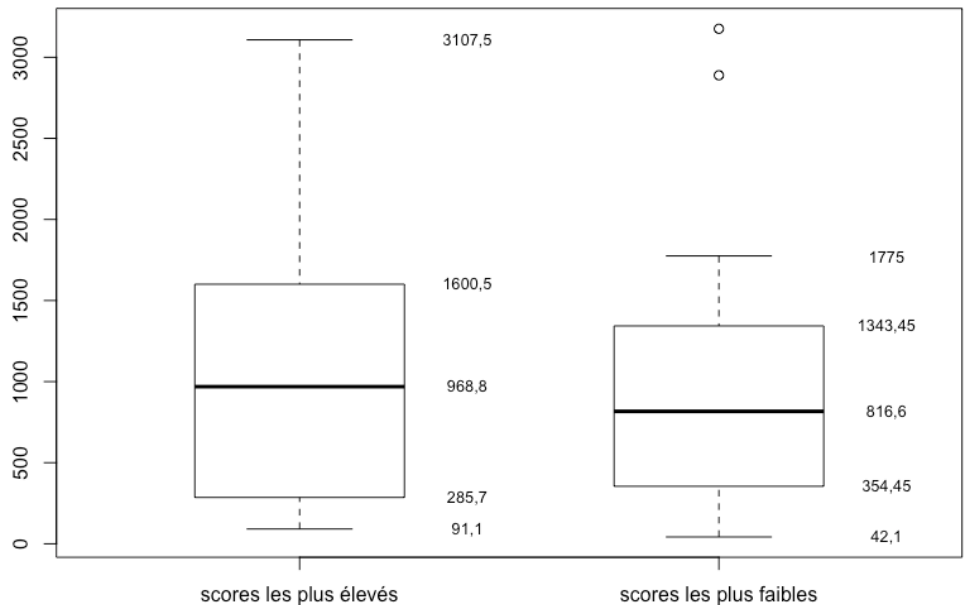


tableau A.10-62 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports plans

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1091,06	968,8	91,1	3107,5	950,24	17
Scores les plus faibles	1038,17	816,6	42,1	3175,7	955,34	15

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltsoEplandeb and donneescpltsofplandeb

W = 130, p-value = 0,9407

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-63 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des actions de représentation de solutions sur supports spatiaux, selon le niveau de score

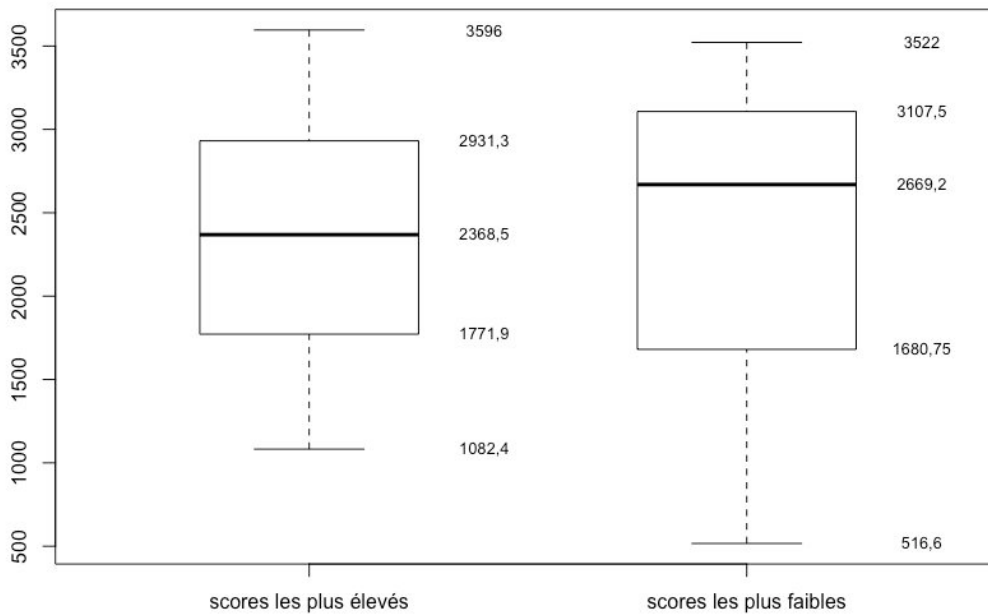


tableau A.10-63 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2356,85	2368,5	1082,4	3596	688,29	175
Scores les plus faibles	2412,64	2669,2	516,6	3522	851,69	59

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrsEspatdeb and donneescpltrsfspatdeb

W = 4769, p-value = 0,3821

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-64 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des actions d'explicitation-précision de solutions sur supports spatiaux, selon le niveau de score

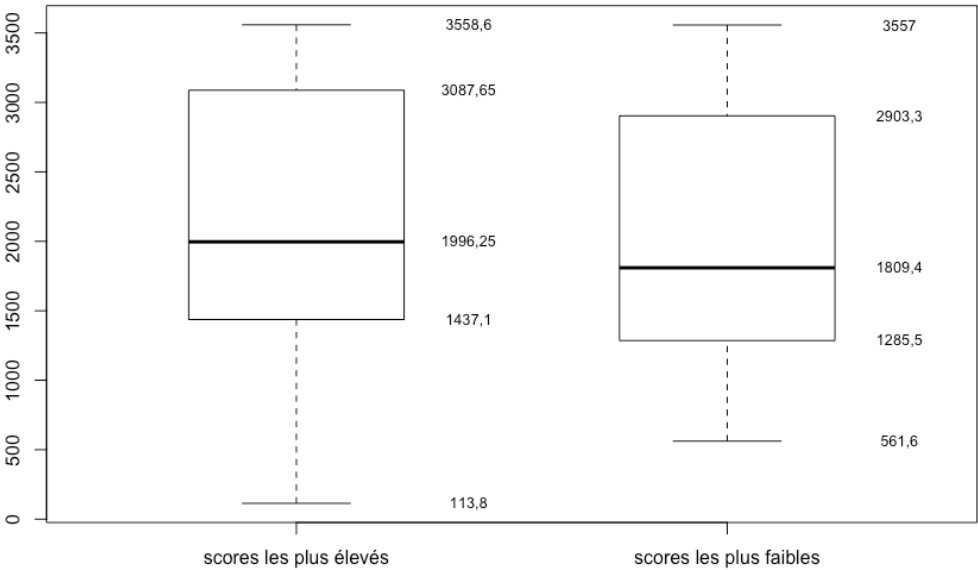


tableau A.10-64 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solution mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2093,83	1996,25	113,8	3558,6	975,26	96
Scores les plus faibles	2107,62	1809,4	561,6	3557	914,71	86

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltepsEspatdeb and donneescpltepsfspatdeb

W = 4302,5, p-value = 0,6239

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-65 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des suggestions de représentation de solutions sur supports spatiaux, selon le niveau de score

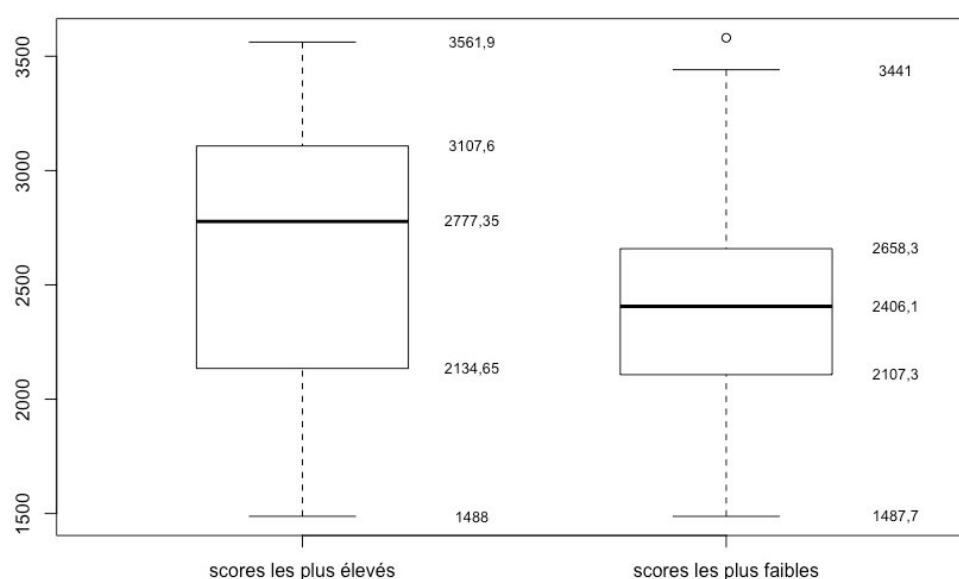


tableau A.10-65 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2655,84	2777,35	1488	3561,9	581,16	100
Scores les plus faibles	2381,17	2406,1	1487,7	3580,6	471,53	73

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsEspatdeb and donneescpltsrsfspatdeb

W = 4681, p-value = 0,000769

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-66 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'expressions d'accord ou d'attention mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des expressions d'accord ou d'attention mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

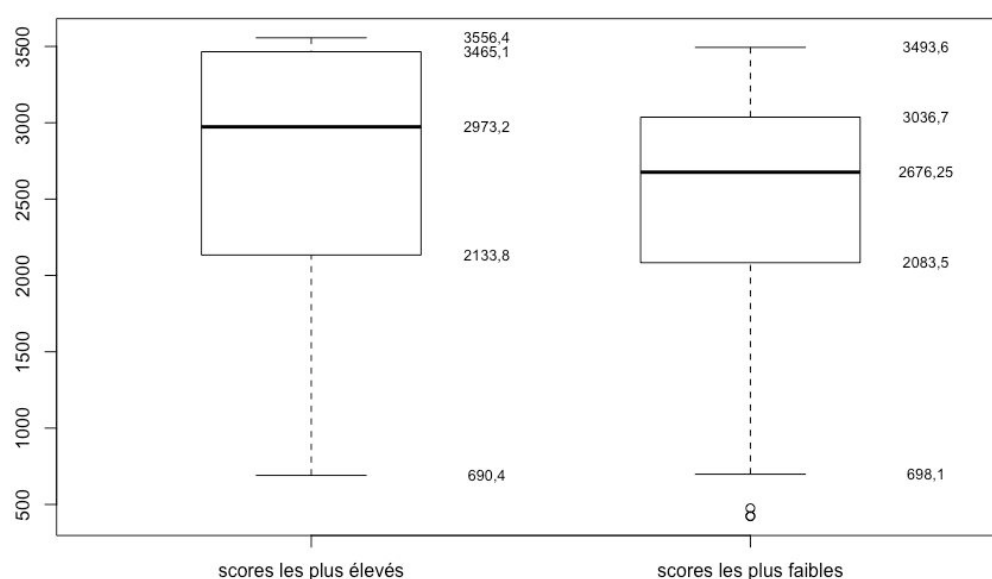


tableau A.10-66 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions exprimant un accord ou de l'attention et mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2717,33	2973,2	690,4	3556,4	832,46	52
Scores les plus faibles	2490,56	2676,25	422,2	3493,6	789,26	70

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarEspatdeb and donneescpltarfspatdeb

W = 2246, p-value = 0,0138

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-67 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des requêtes d'explicitation-précision de solutions sur supports spatiaux, selon le niveau de score

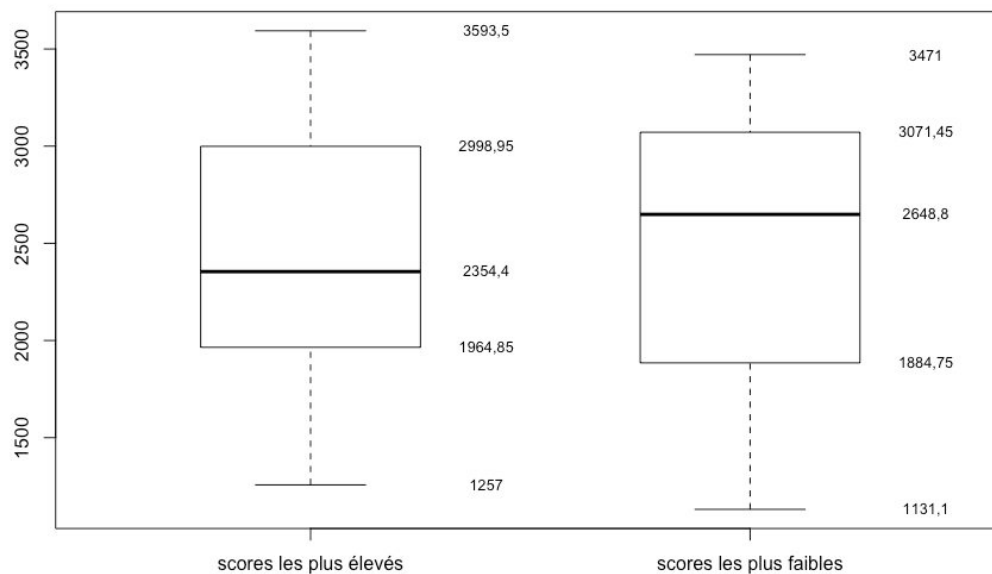


tableau A.10-67 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2425,75	2354,4	1257	3593,5	661,16	68
Scores les plus faibles	2493,52	2648,8	1131,1	3471	686,01	31

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsEspatdeb and donneescpltreqsfspatdeb

W = 989, p-value = 0,6265

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-68 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux

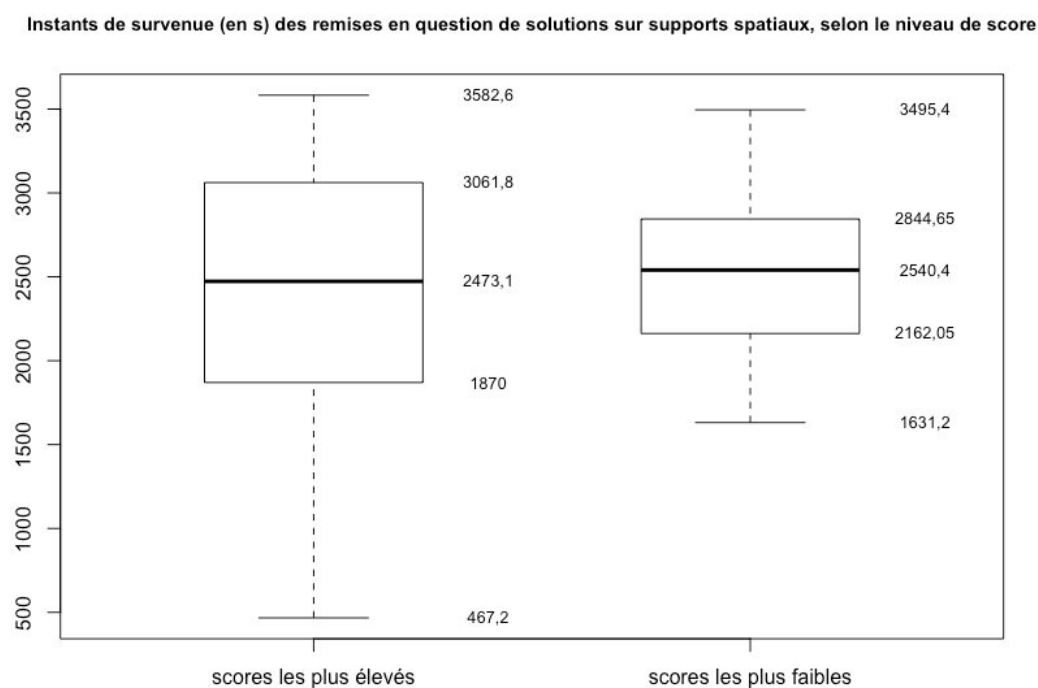


tableau A.10-68 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2448,69	2473,1	467,2	3582,6	687,29	66
Scores les plus faibles	2537,29	2540,4	1631,2	3495,4	532,18	23

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrqsEspatdeb and donneescpltrqsfspatdeb

W = 696, p-value = 0,558

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-69 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des actions de validation-consolidation de solutions sur supports spatiaux, selon le niveau de score

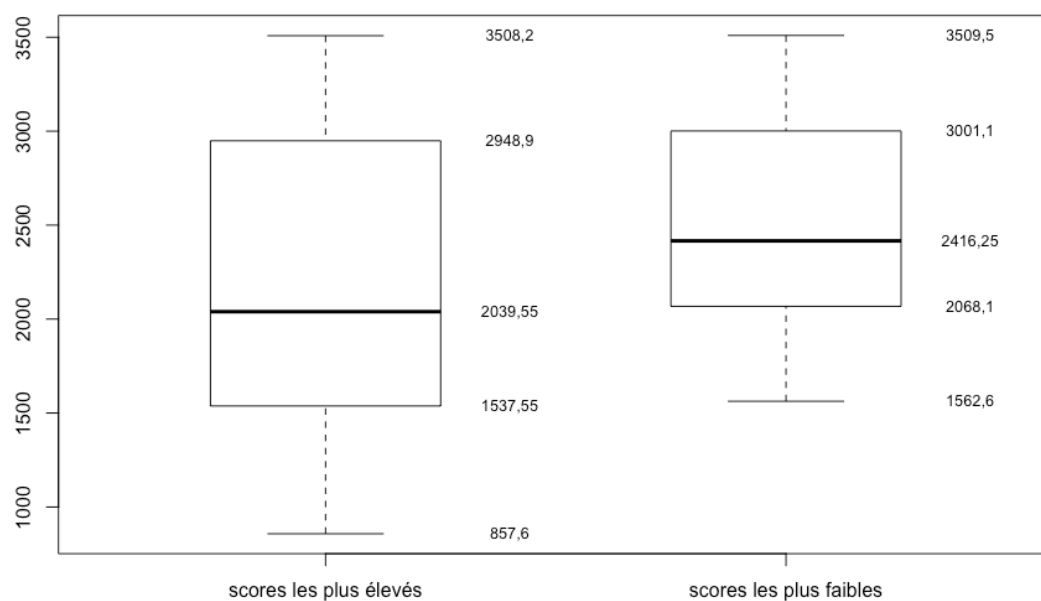


tableau A.10-69 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2235,1	2039,55	857,6	3508,2	741,92	28
Scores les plus faibles	2469,1	2416,25	1562,6	3509,5	623,76	18

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsEspatdeb and donneescpltvcsfspatdeb

W = 191, p-value = 0,1733

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-70 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

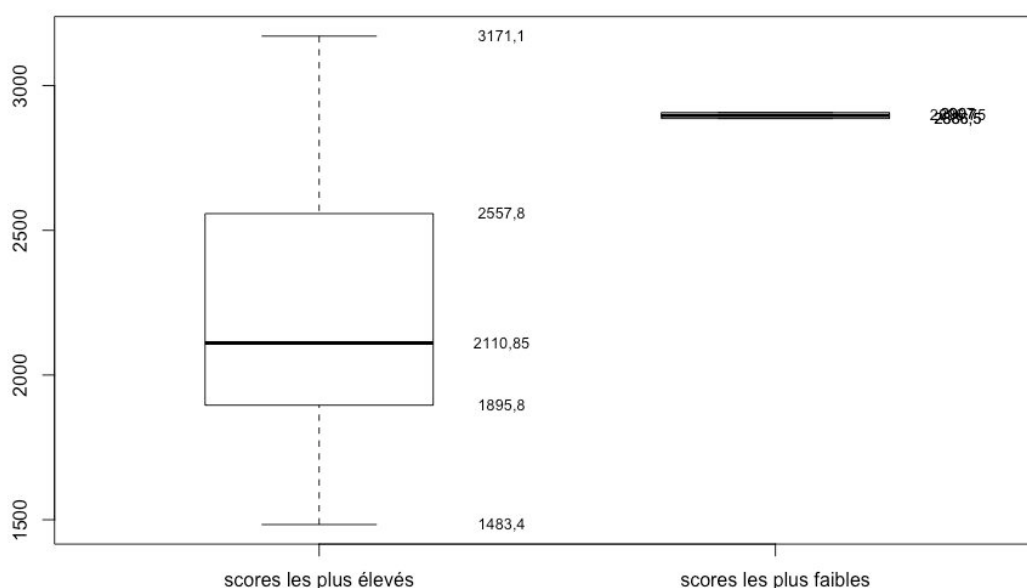


tableau A.10-70 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2236,56	2110,85	1483,4	3171,1	469,96	22
Scores les plus faibles	2896,75	2896,75	2886,5	2907	14,5	2

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrasEspatdeb and donneescpltrasfspatdeb

W = 6, p-value = 0,1055

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-71 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux

Distribution des instants de survenue (en s) d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

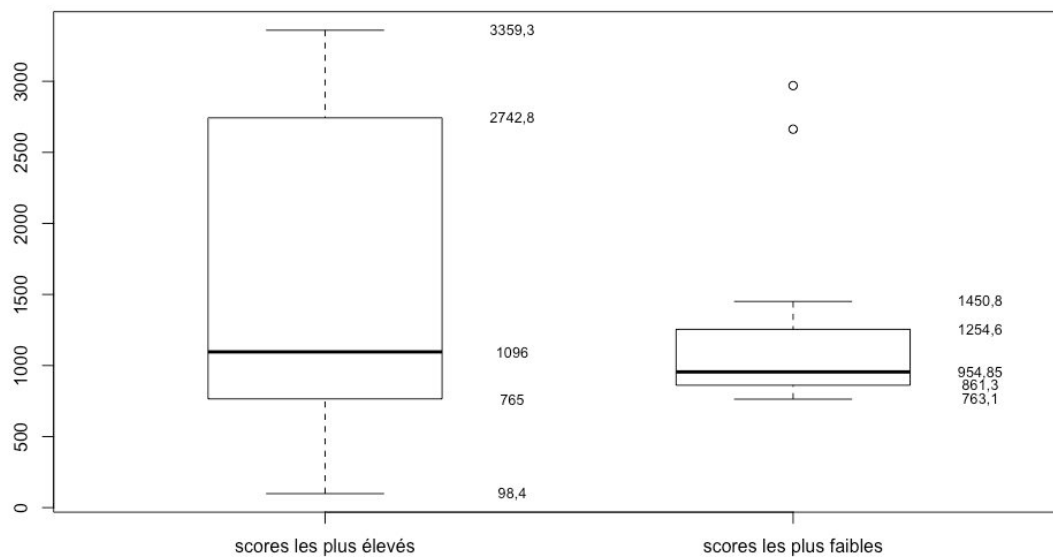


tableau A.10-71 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1652,76	1096	98,4	3359,3	1315,51	7
Scores les plus faibles	1247,23	954,85	763,1	2969,5	695,03	14

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsRspatdeb and donneescpltpsrfspatdeb

W = 57, p-value = 0,5757

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-72 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

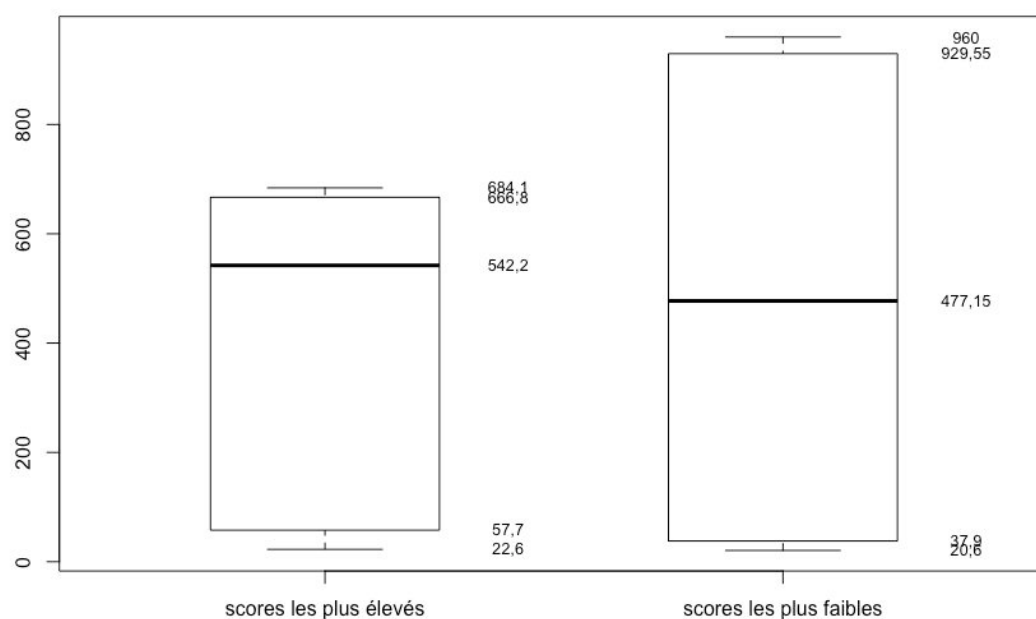


tableau A.10-72 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	418,56	542,2	22,6	684,1	301,21	11
Scores les plus faibles	483,73	477,15	20,6	960	515,59	4

Wilcoxon rank sum test

data: donneescplteppEspatdeb and donneescplteppfspatdeb

W = 20, p-value = 0,8513

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-73 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

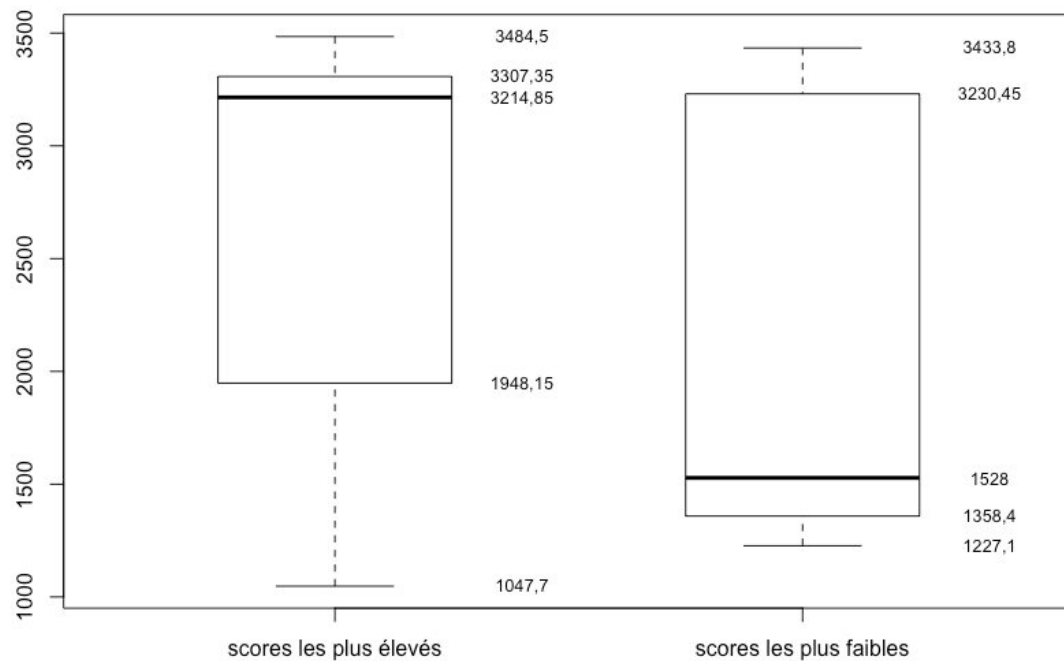


tableau A.10-73 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2684,11	3214,85	1047,7	3484,5	997,95	8
Scores les plus faibles	2195,23	1528	1227,1	3433,8	1040,08	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltsoEspatdeb and donneespltsofspatdeb

W = 33, p-value = 0,6025

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-74 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail

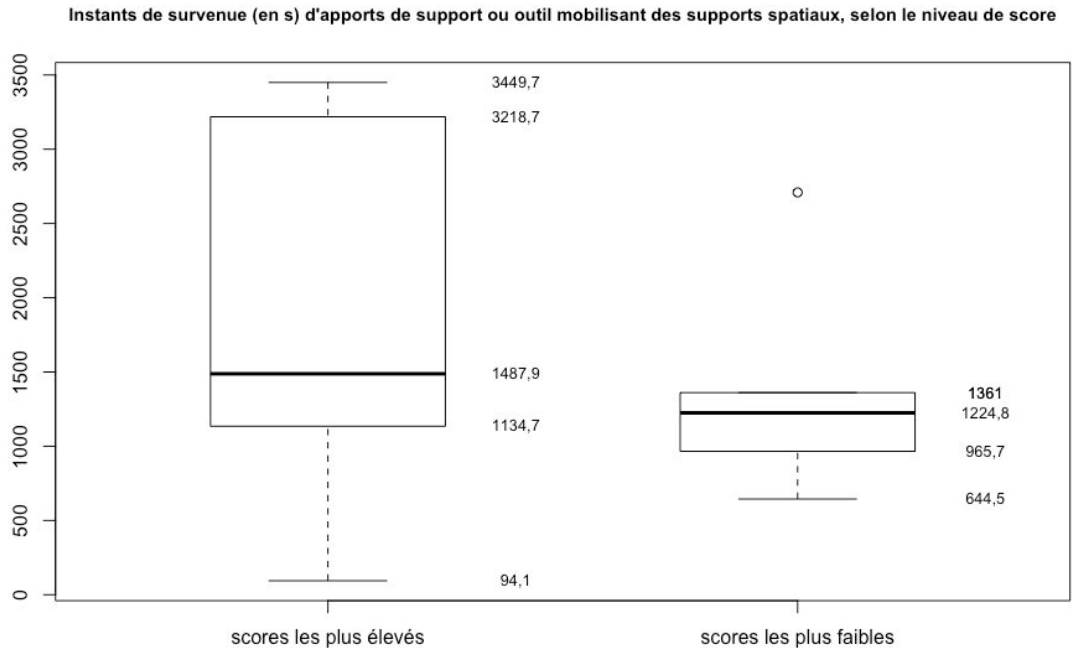


tableau A.10-74 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des apports de supports spatiaux comme outil ou support de travail

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1962,64	1487,9	94,1	3449,7	1327,42	7
Scores les plus faibles	1355,02	1224,8	644,5	2709,3	710,56	6

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltaostEspatdeb and donneescpltaostfspatdeb

W = 28, p-value = 0,3531

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-75 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

Instants de survenue (en s) des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux, selon le niveau de score

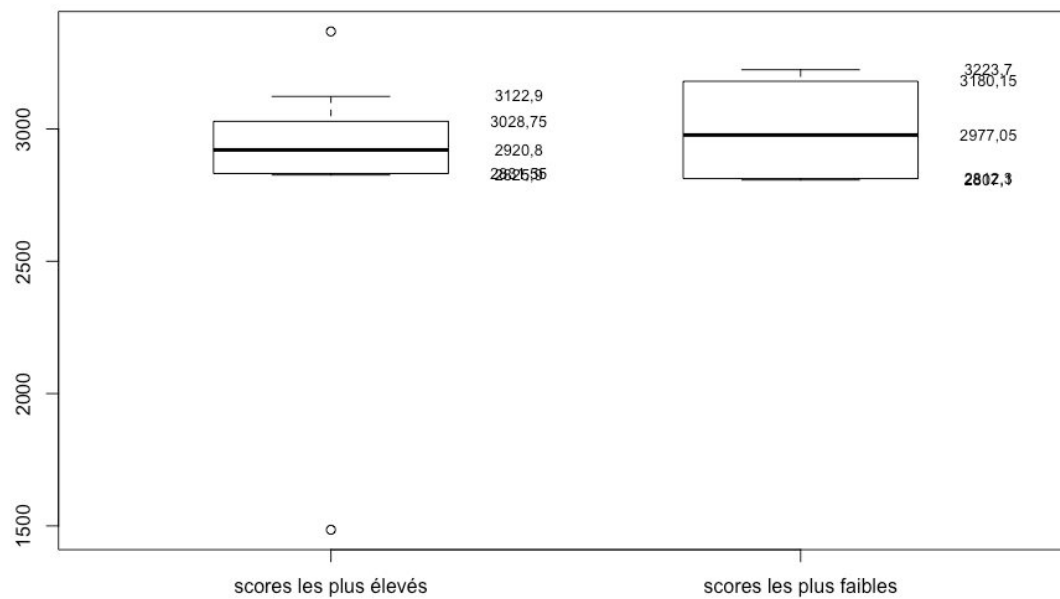


tableau A.10-75 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports spatiaux

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2785,03	2920,8	1485,4	3368,4	603,97	7
Scores les plus faibles	2996,22	2977,05	2807,1	3223,7	215,38	4

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltrrsEspatdeb and donneescpltrrsfspatdeb

W = 14, p-value = 1

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-76 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) des actions d'explicitation-précision de solutions sur supports papier, selon le niveau de score

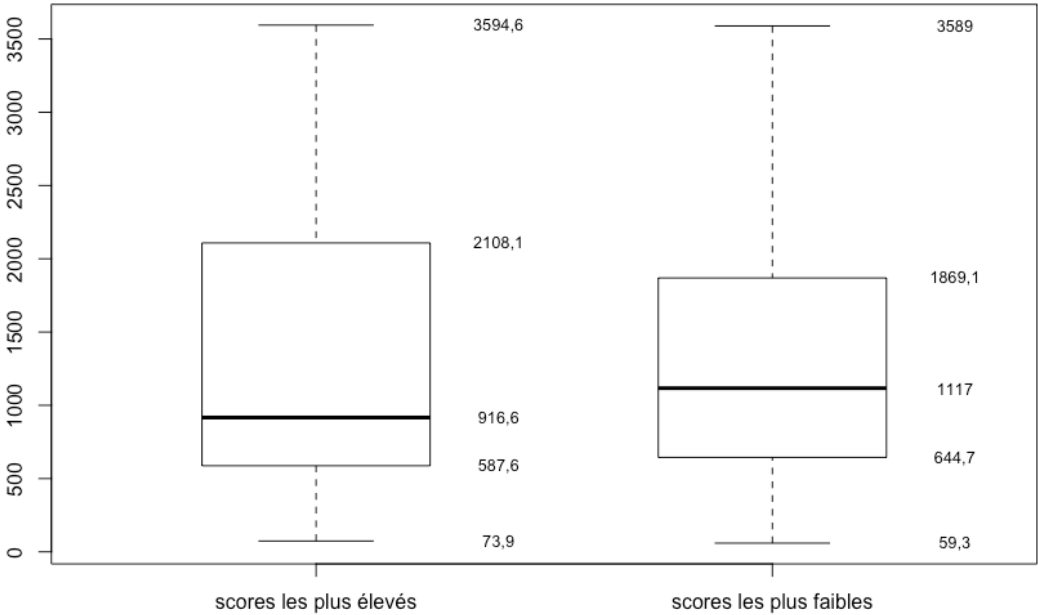


tableau A.10-76 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions recourant à des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1329,26	916,6	73,9	3594,6	1012,92	271
Scores les plus faibles	1392,29	1117	59,3	3589	1021,5	198

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsEpapdeb and donneescpltpsfpapdeb

W = 25333, p-value = 0,3023

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-77 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) de l'expression d'accord ou d'attention mobilisant des supports papier, selon le niveau de score

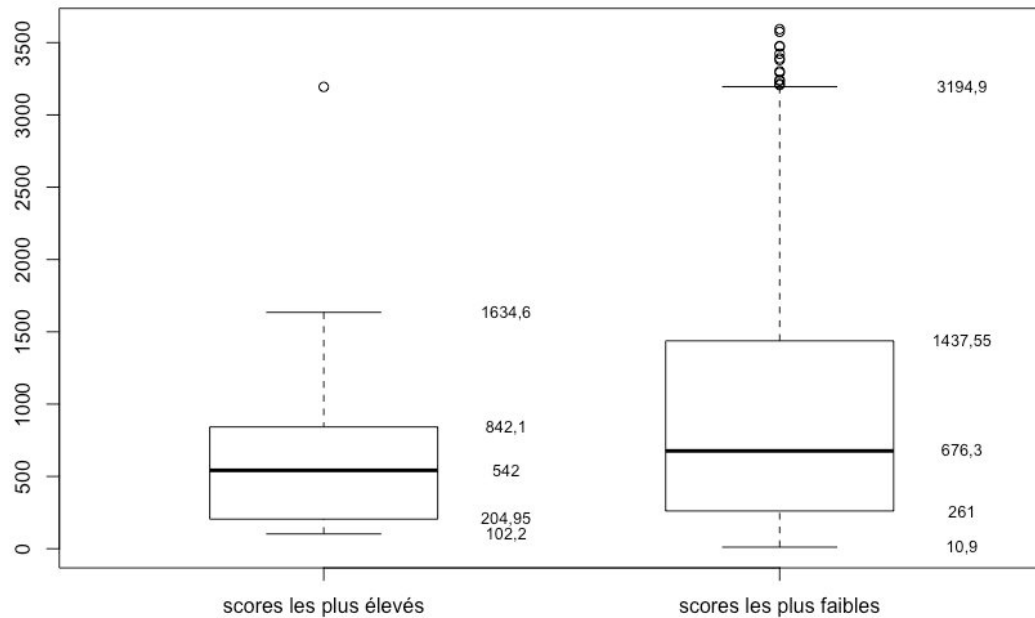


tableau A.10-77 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	607,81	542	102,2	1634,6	519,94	51
Scores les plus faibles	1073,59	676,3	10,9	3194,9	1042,16	128

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarEpapdeb and donneescpltarfpapdeb

W = 2523, p-value = 0,008981

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-78 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) des actions de représentation de solutions sur supports papier, selon le niveau de score

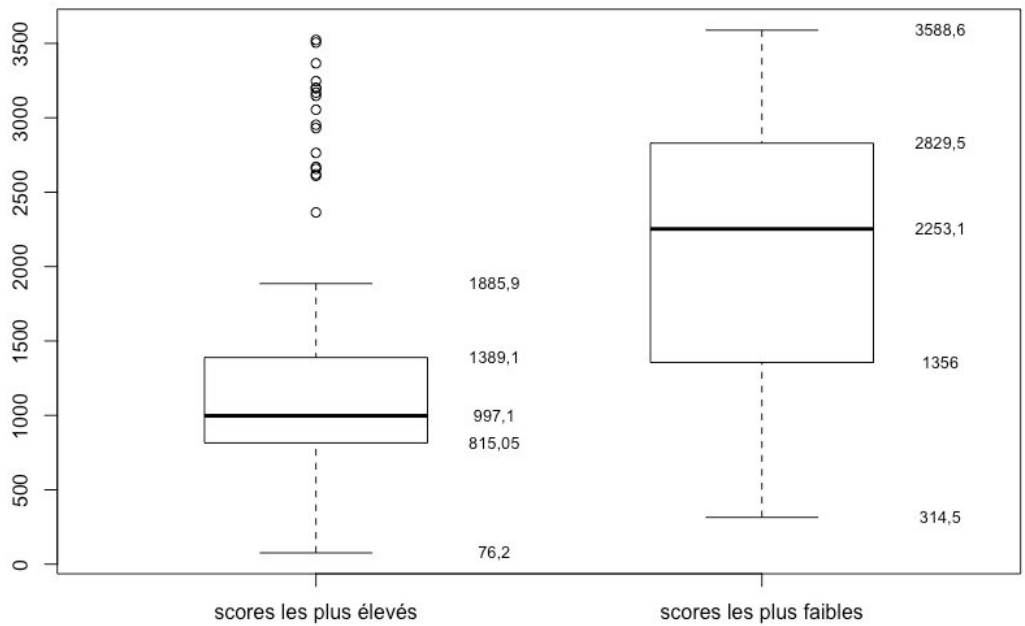


tableau A.10-78 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1242,36	997,1	76,2	3523,2	852,29	108
Scores les plus faibles	1999,9	2253,1	314,5	3588,6	1000,01	62

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltrsEpapdeb and donneescpltrsfpapdeb

W = 2026, p-value = 9,424e-06

alternative hypothesis: true location shift is less than 0

figure A-10-79 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) des requêtes d'explicitation-précision de solutions sur supports papier, selon le niveau de score

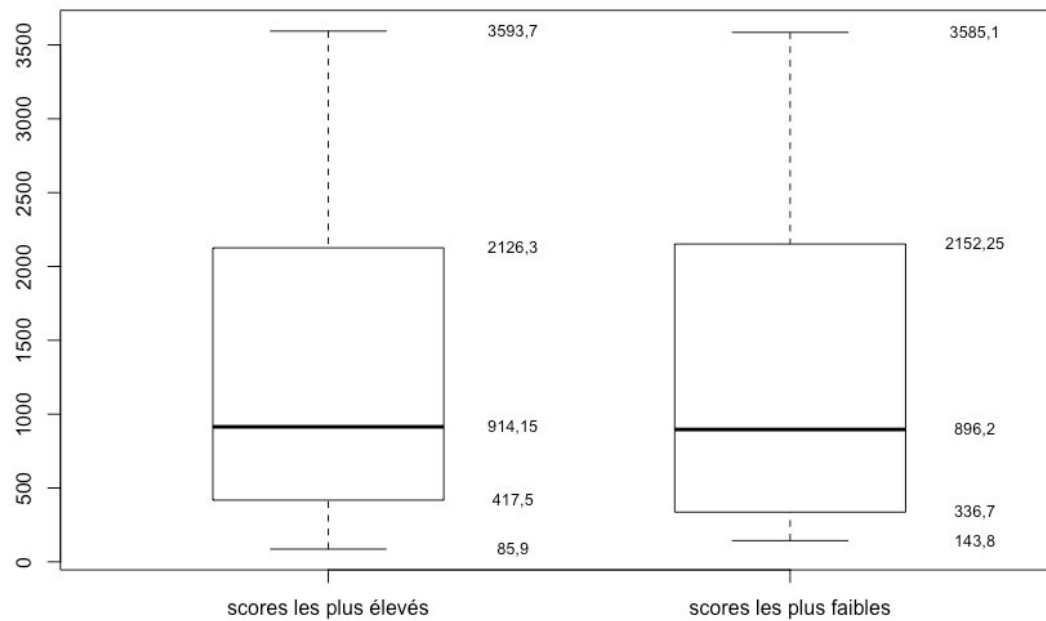


tableau A.10-79 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1270,71	914,15	85,9	3593,7	1077,58	70
Scores les plus faibles	1262,84	896,2	143,8	3585,1	1044,02	43

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsEpapdeb and donneescpltreqsfpapdeb

W = 1536, p-value = 0,8569

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-80 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) d'actions d'explicitation-précision du problème sur base de supports papiers, selon le niveau de score

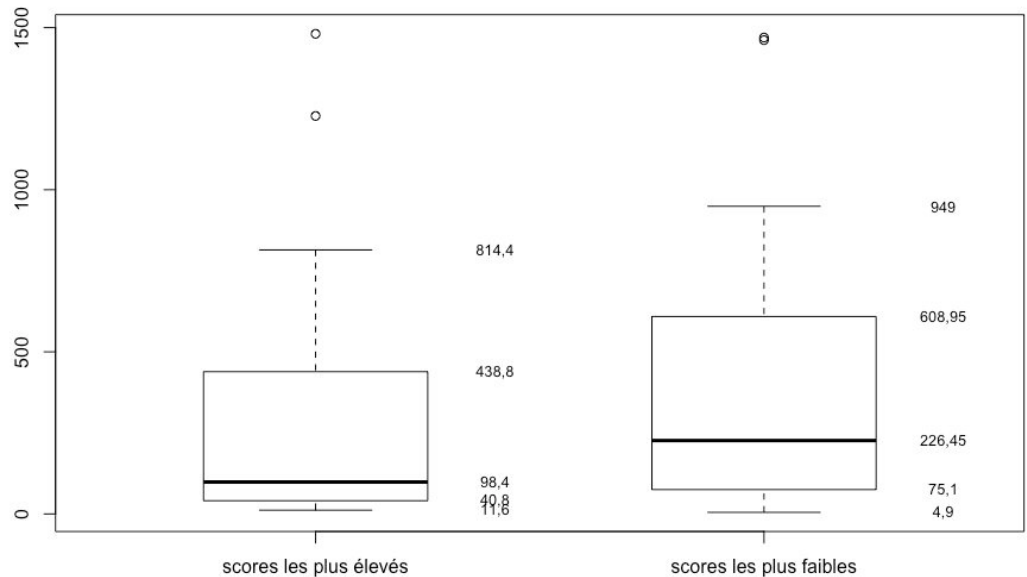


tableau A.10-80 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation du problème mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	281,95	98,4	11,6	1481	386,9	29
Scores les plus faibles	353,57	226,45	4,9	1469,4	368,52	44

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescplteppEpapdeb and donneescplteppfpapdeb

W = 522, p-value = 0,1929

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-81 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions recourant à des supports papier

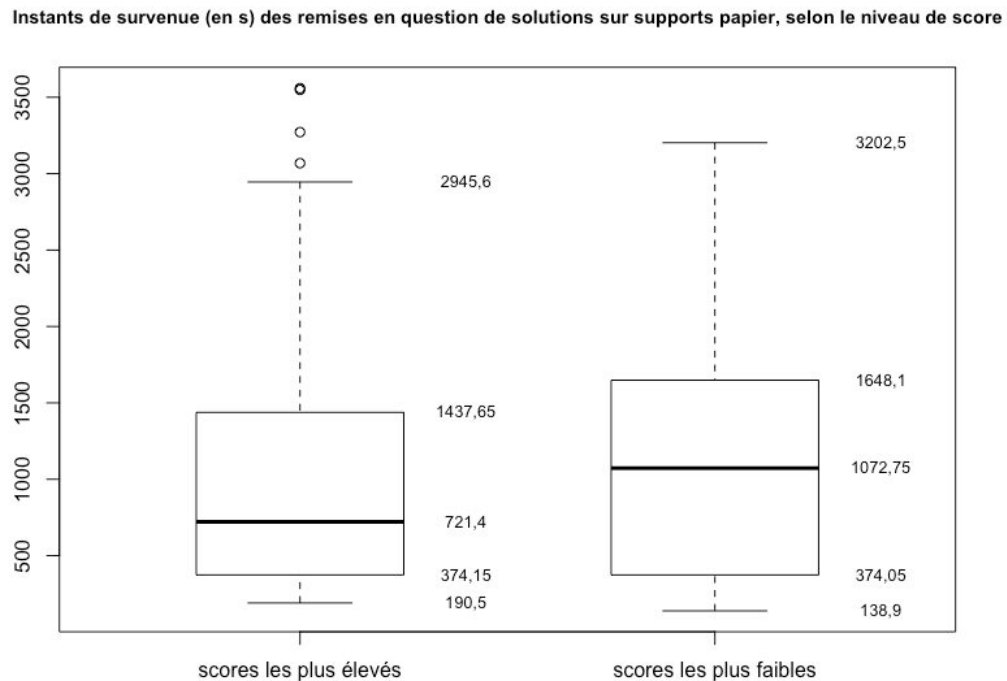


tableau A.10-81 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1146,41	721,4	190,5	3559,3	1021,22	51
Scores les plus faibles	1280,38	1072,75	138,9	3202,5	1003,48	20

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrqsEpapdeb and donneespltrqsfpapdeb

W = 440, p-value = 0,3743

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-82 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) des suggestions de représentation de solutions sur supports papier, selon le niveau de score

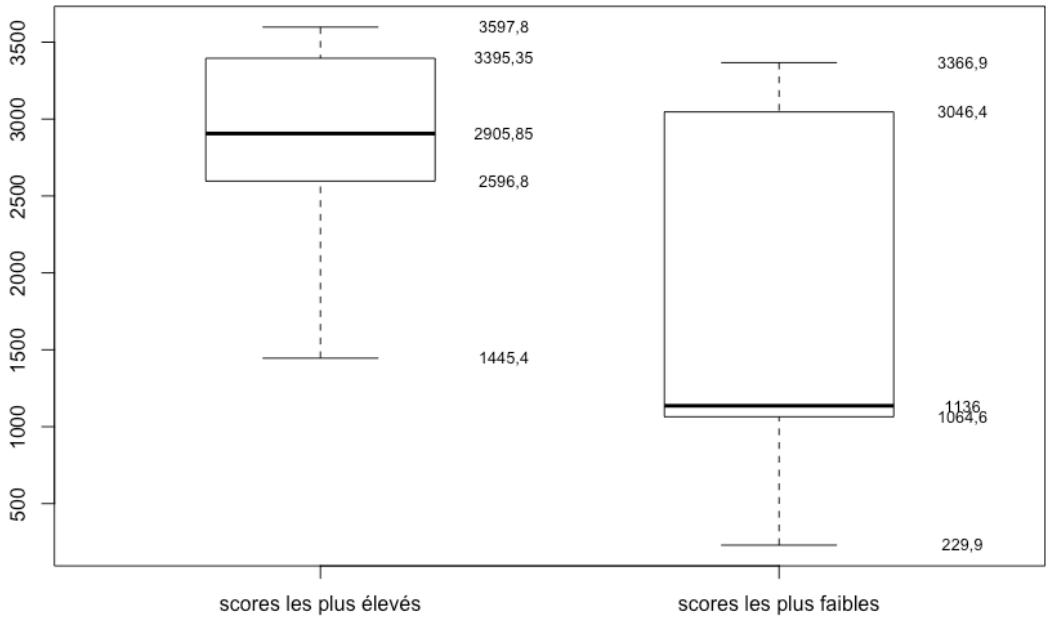


tableau A.10-82 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2873,57	2905,85	1445,4	3597,8	535,82	52
Scores les plus faibles	1850,69	1136	229,9	3366,9	1262,14	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsEpapdeb and donneescpltsrsfpapdeb

W = 260, p-value = 0,03464

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-83 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier

Instants de survenue (en s) des quêtes d'information sur le problème avec support papier, selon le niveau de score

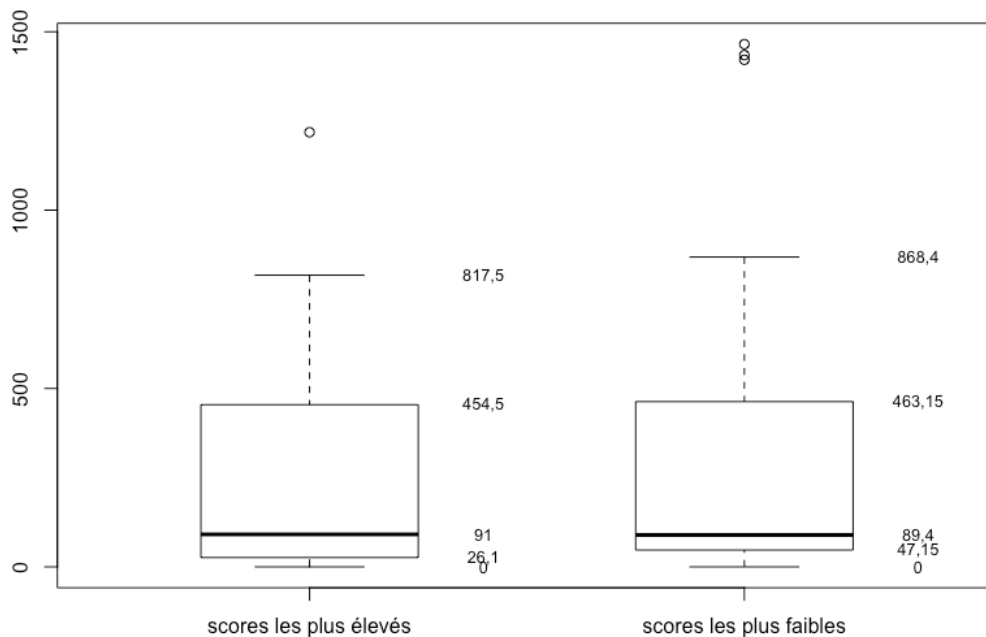


tableau A.10-83 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de quête d'information sur le problème recourant à des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	267,55	91	0	1218,4	324,99	25
Scores les plus faibles	354,36	89,4	0	1465,1	485,88	24

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpipEpapdeb and donneescpltpipfpapdeb

W = 278, p-value = 0,6672

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-84 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue de propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier

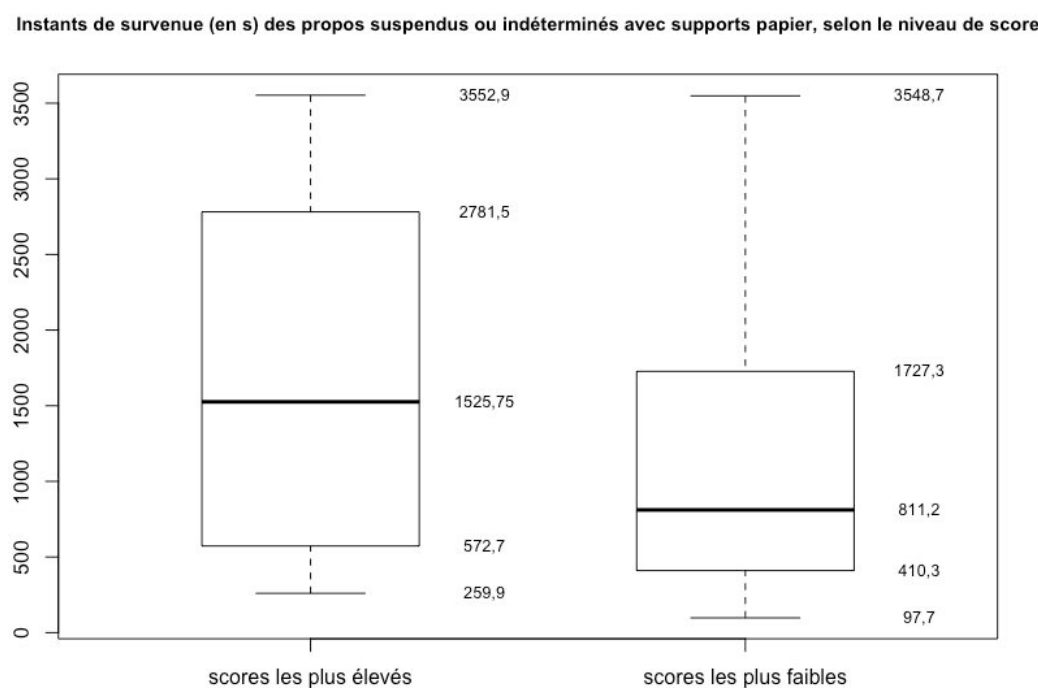


tableau A.10-84 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des propos suspendus ou indéterminés mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1719,09	1525,75	259,9	3552,9	1250,69	14
Scores les plus faibles	1171,35	811,2	97,7	3548,7	962,1	33

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsIEpapdeb and donneescpltpsifpapdeb

W = 291, p-value = 0,1663

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-85 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier

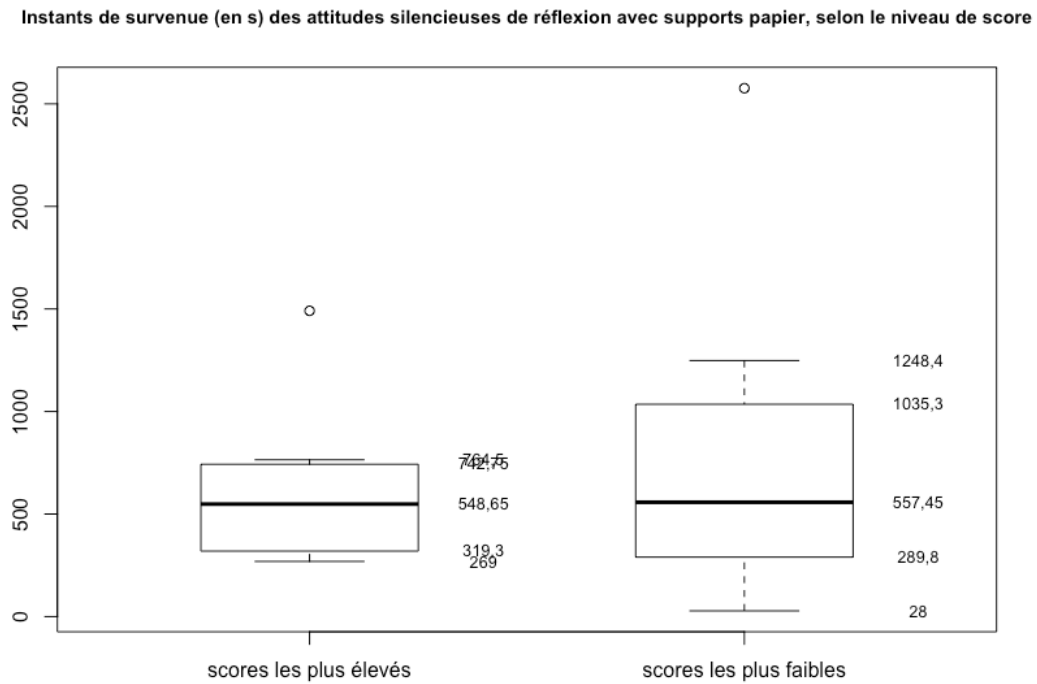


tableau A.10-85 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	622,67	548,65	269	1491	406,01	8
Scores les plus faibles	681,46	557,45	28	2576,4	501,27	38

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltpsREpapdeb and donneescpltpsrfpapdeb

W = 150, p-value = 0,966

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-86 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) des actions de validation-consolidation de solutions sur support papier, selon le niveau de score

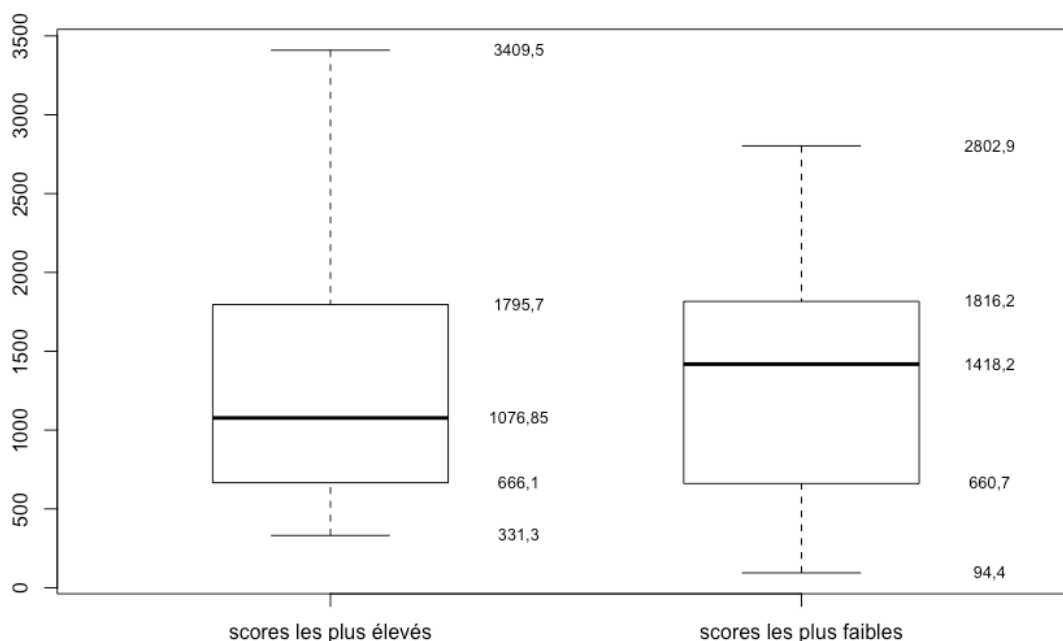


tableau A.10-86 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1356,63	1076,85	331,3	3409,5	904,36	30
Scores les plus faibles	1289,79	1418,2	94,4	2802,9	789,53	14

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsEpapdeb and donneescpltvcsfpapdeb

W = 194, p-value = 0,6961

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-87 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier

Instants de survenue (en s) des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier, selon le niveau de score

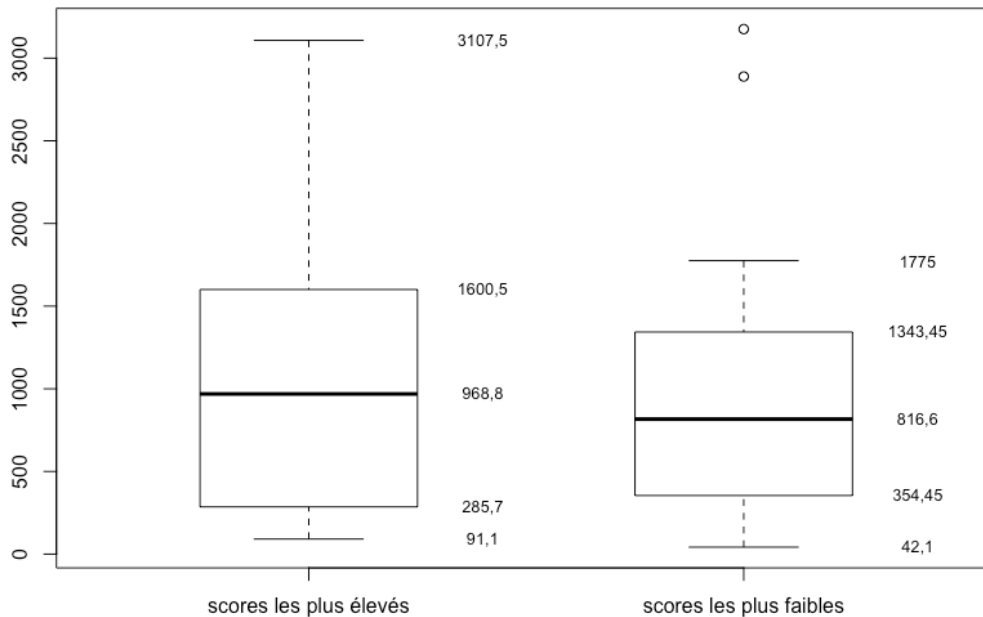


tableau A.10-87 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports papier

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1091,06	968,8	91,1	3107,5	950,24	17
Scores les plus faibles	1038,17	816,6	42,1	3175,7	955,34	15

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltsoEpapdeb and donneescpltsofpapdeb

W = 130, p-value = 0,9407

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-88 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des actions de représentation de solutions sur supports numériques, selon le niveau de score

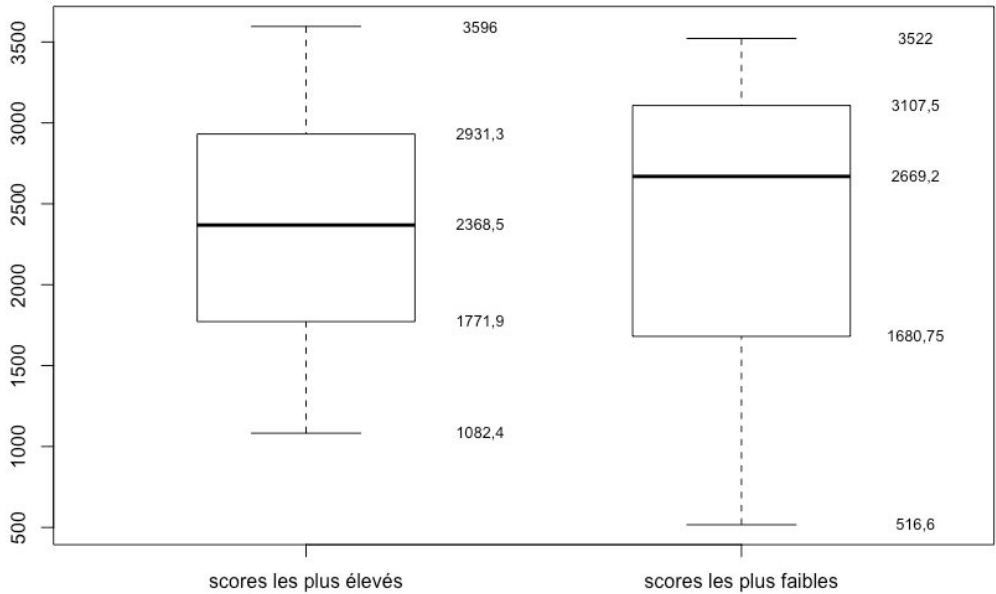


tableau A.10-88 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de représentation de solutions sur supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2356,85	2368,5	1082,4	3596	688,29	175
Scores les plus faibles	2412,64	2669,2	516,6	3522	851,69	59

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrsEnumdeb and donneespltrsfnundeb

W = 4769, p-value = 0,3821

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-89 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) de actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

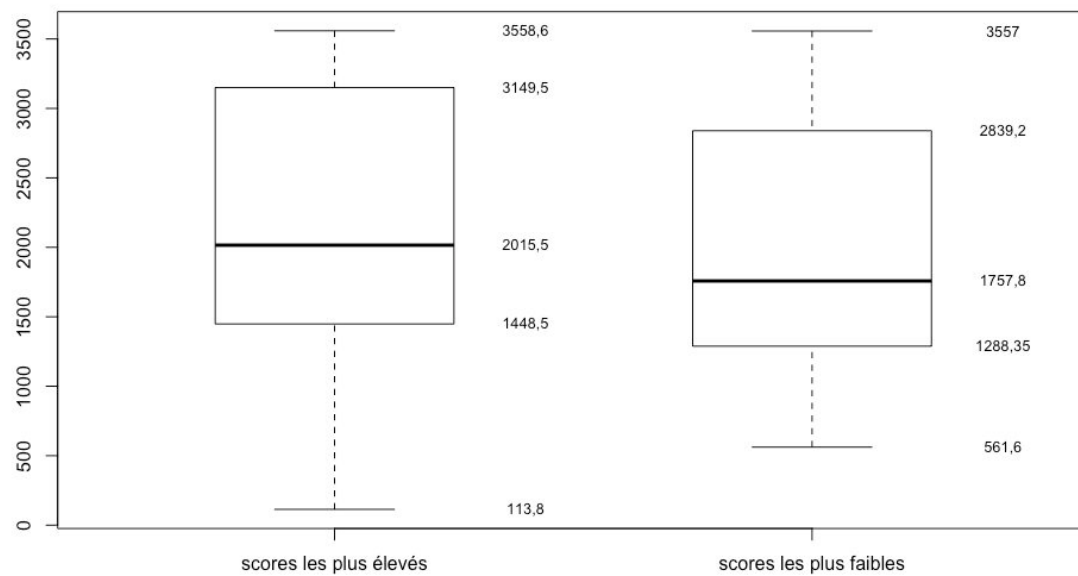


tableau A.10-89 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2116,29	2015,5	113,8	3558,6	960,53	93
Scores les plus faibles	2102,9	1757,8	561,6	3557	905,81	83

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsEnumdeb and donneescpltpsfnundeb

W = 4096,5, p-value = 0,4834

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-90 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

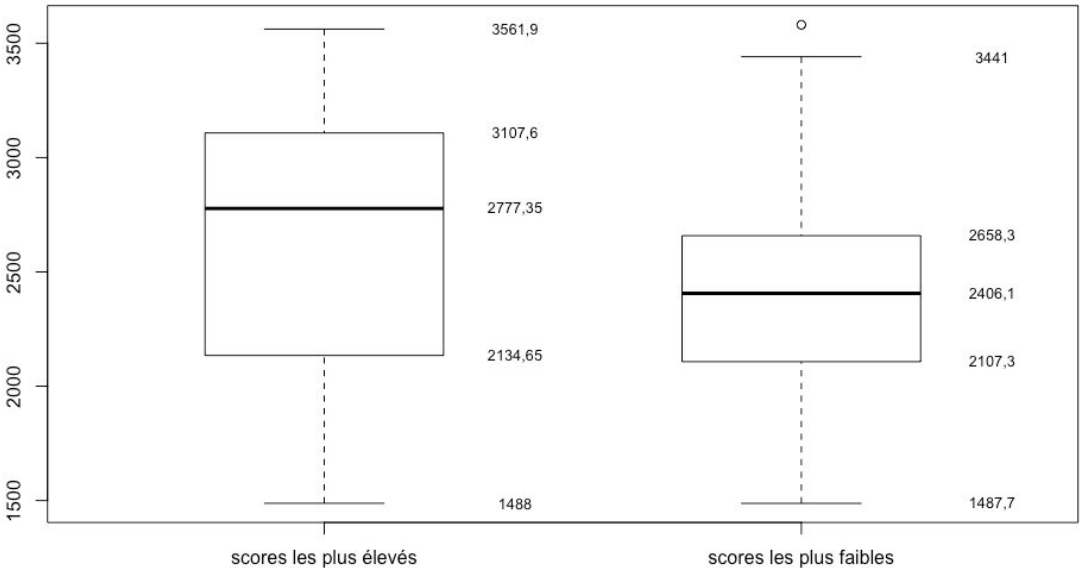


tableau A.10-90 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2655,84	2777,35	1488	3561,9	581,16	100
Scores les plus faibles	2381,17	2406,1	1487,7	3580,6	471,53	73

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltsrsEnumdeb and donneescpltsrsfnumdeb

W = 4681, p-value = 0,000769

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-91 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) d'expression d'accord ou d'attention mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

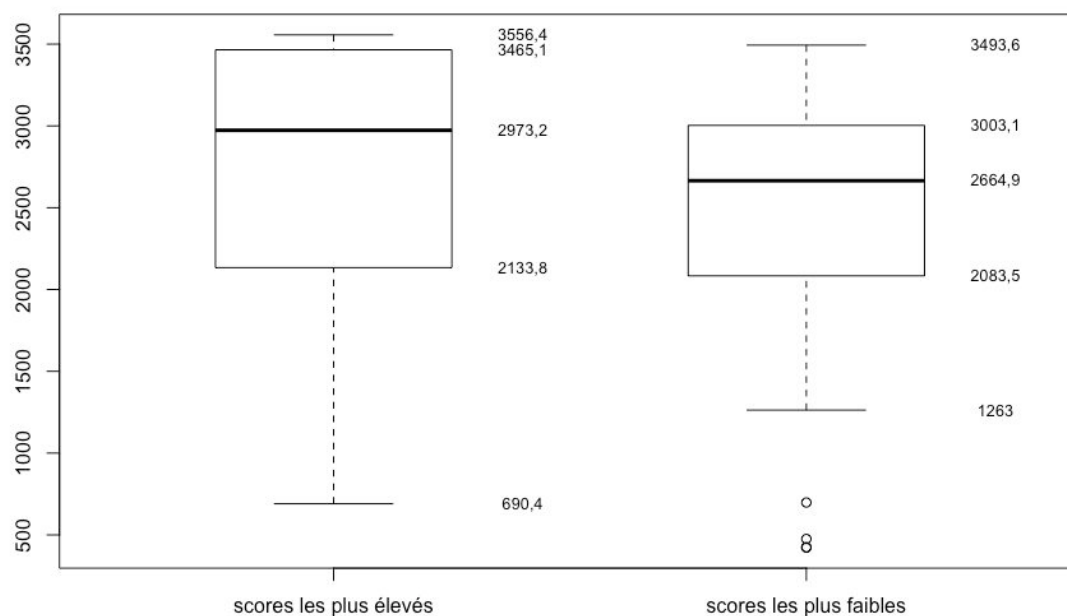


tableau A.10-91 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'expression d'accord, d'attention ou de compréhension recourant à des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2717,33	2973,2	690,4	3556,4	832,46	52
Scores les plus faibles	2482,65	2664,9	422,2	3493,6	792,24	69

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltarEnumdeb and donneescpltarfnumdeb

W = 2221, p-value = 0,01277

alternative hypothesis: true location shift is greater than 0

figure A-10-92 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

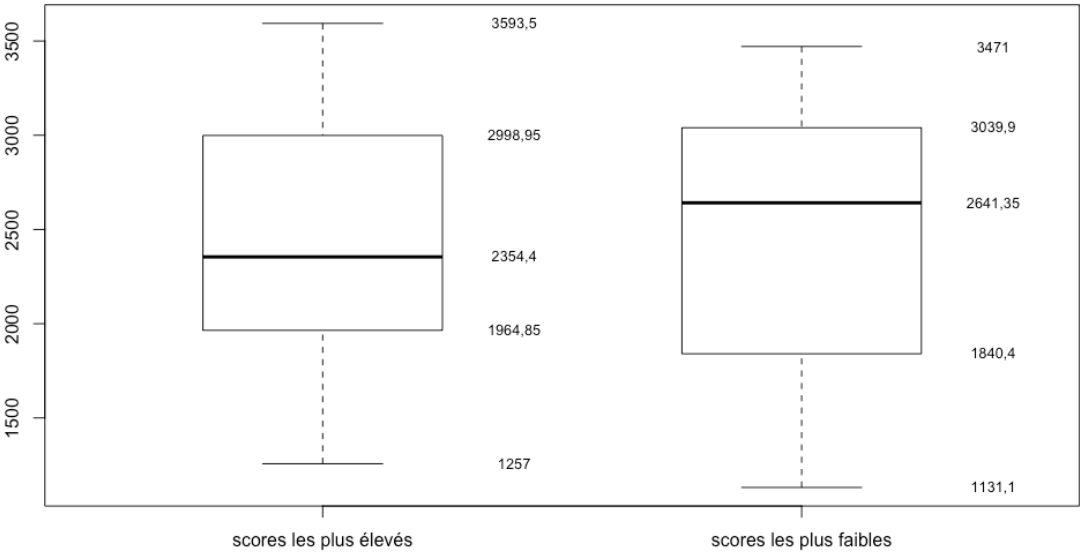


tableau A.10-92 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'explicitation-précision de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2425,75	2354,4	1257	3593,5	661,16	68
Scores les plus faibles	2473,2	2641,35	1131,1	3471	688,19	30

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltreqsEnumdeb and donneescpltreqsfnmdeb

W = 974, p-value = 0,7258

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-93 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques

Distribution des instants de survenue (en s) des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

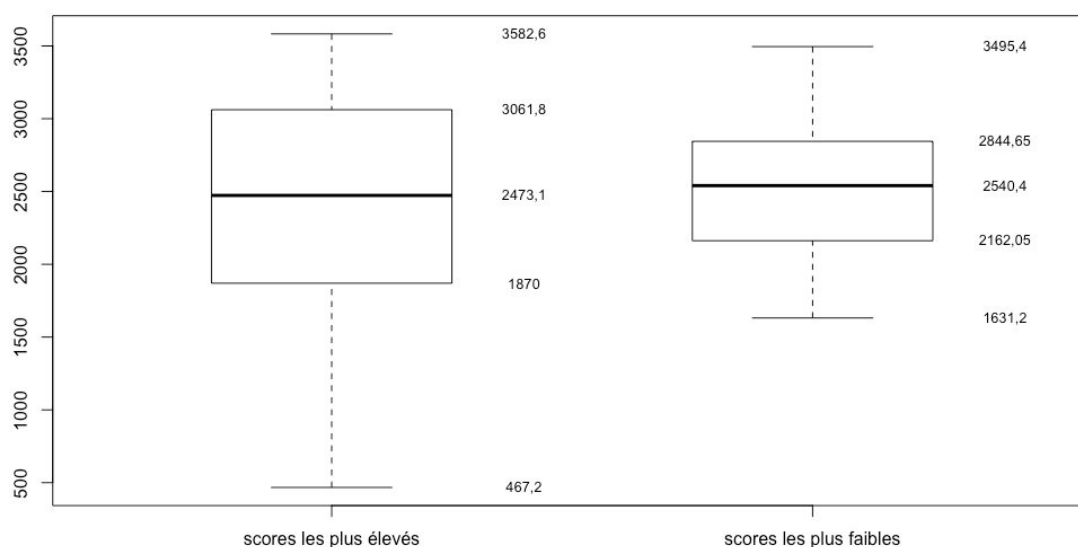


tableau A.10-93 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des remises en question de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2448,69	2473,1	467,2	3582,6	687,29	66
Scores les plus faibles	2537,29	2540,4	1631,2	3495,4	532,18	23

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrqsEnumdeb and donneespltrqsfnmdeb

W = 696, p-value = 0,558

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-94 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des actions de validation consolidation de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

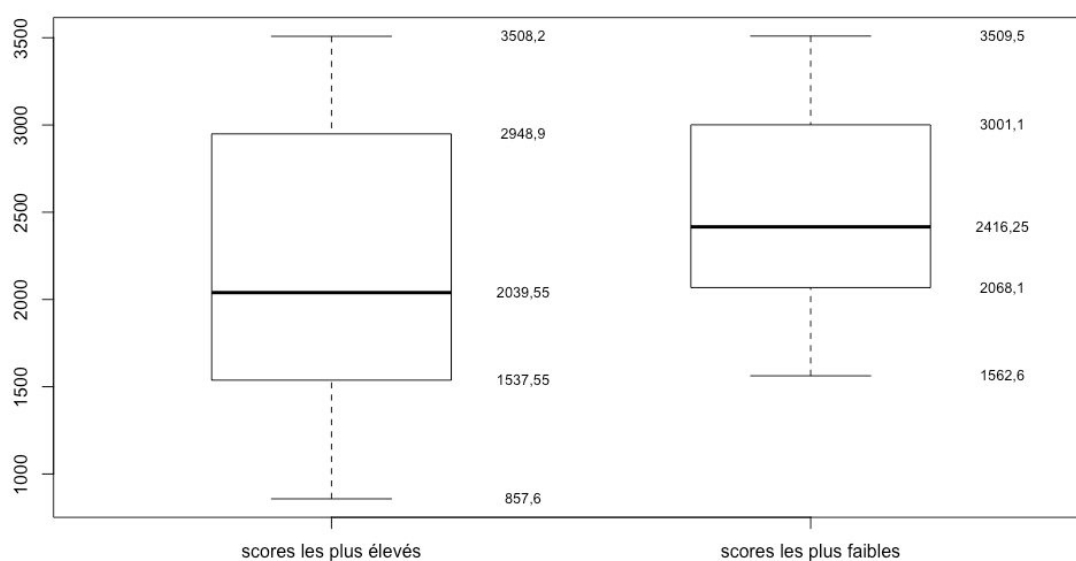


tableau A.10-94 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions de validation-consolidation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2235,1	2039,55	857,6	3508,2	741,92	28
Scores les plus faibles	2469,1	2416,25	1562,6	3509,5	623,76	18

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltvcsEnumdeb and donneescpltvcsfnumdeb

W = 191, p-value = 0,1733

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-95 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

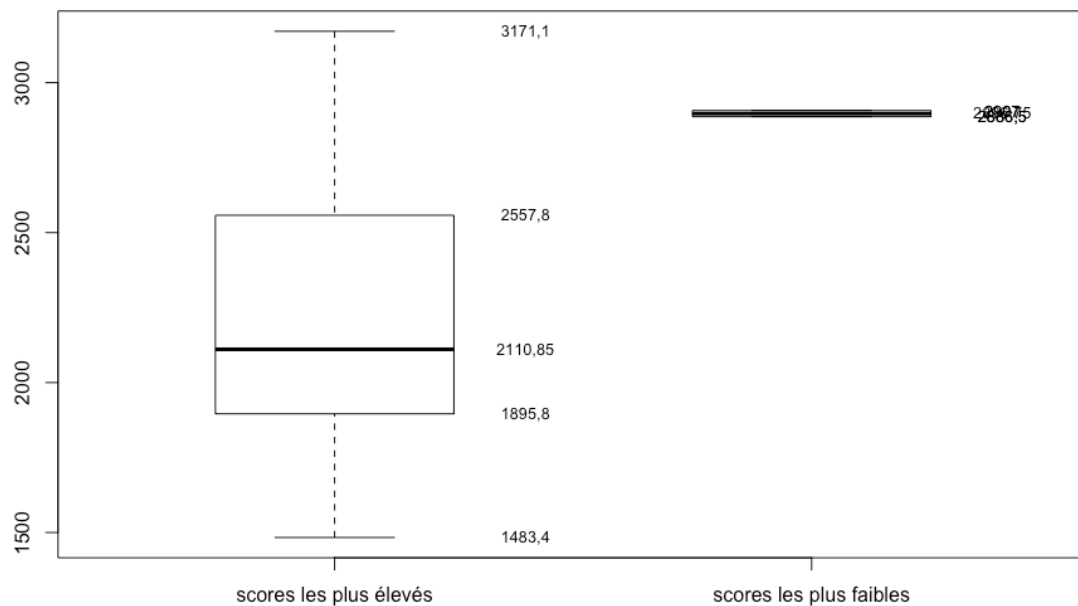


tableau A.10-95 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes d'approbation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2236,56	2110,85	1483,4	3171,1	469,96	22
Scores les plus faibles	2896,75	2896,75	2886,5	2907	14,5	2

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltrasEnumdeb and donneespltrasfnumdeb

W = 6, p-value = 0,1055

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-96 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

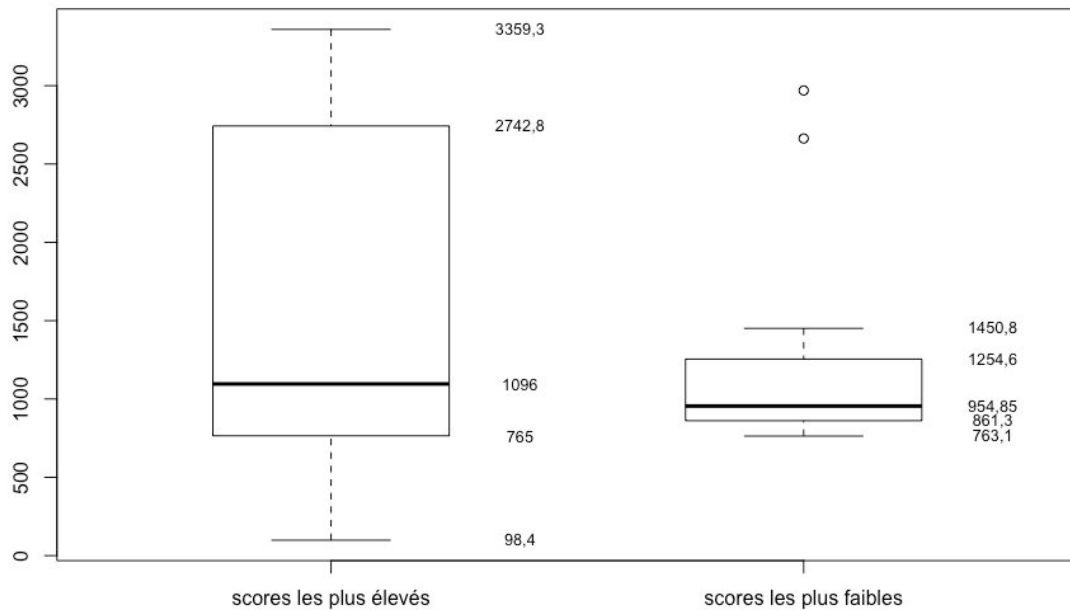


tableau A.10-96 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue d'attitudes silencieuses de réflexion mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1652,76	1096	98,4	3359,3	1315,51	7
Scores les plus faibles	1247,23	954,85	763,1	2969,5	695,03	14

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltpsEnumdeb and donneescpltpsrfnumdeb

W = 57, p-value = 0,5757

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-97 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

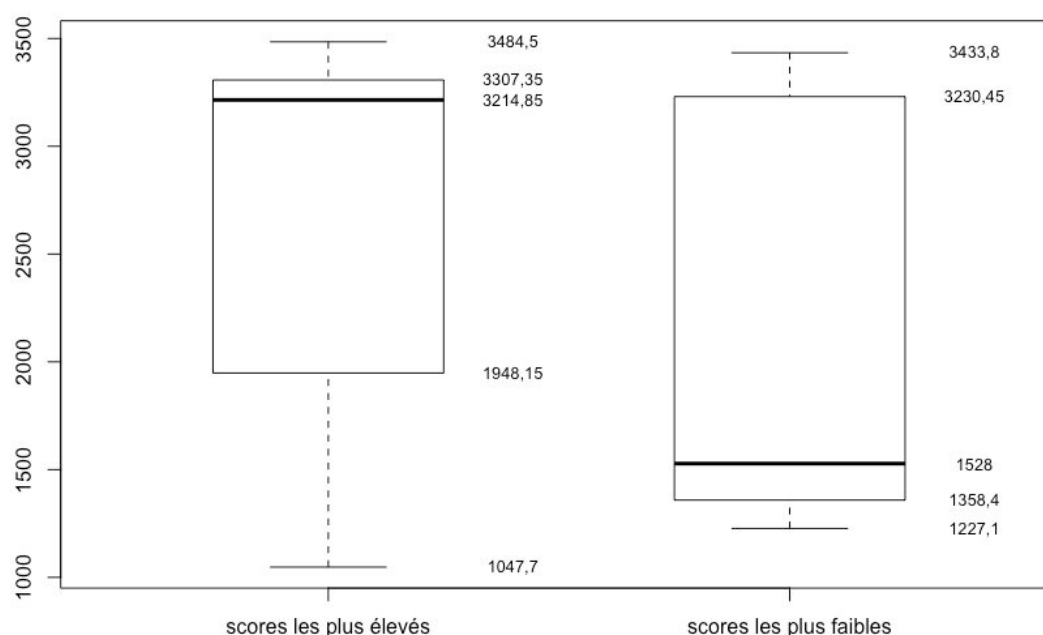


tableau A.10-97 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des suggestions d'organisation mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2684,11	3214,85	1047,7	3484,5	997,95	8
Scores les plus faibles	2195,23	1528	1227,1	3433,8	1040,08	7

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneespltsoEnumdeb and donneespltsofnumdeb

W = 33, p-value = 0,6025

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-98 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques, selon le niveau de score

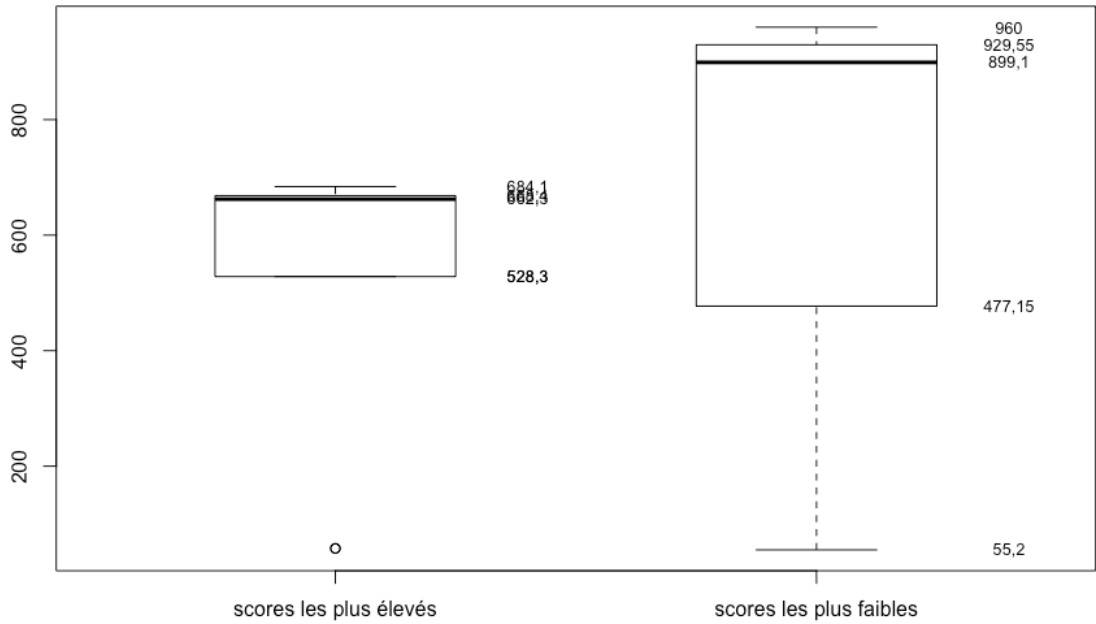


tableau A.10-98 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des actions d'explicitation-précision du problème mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	504,63	662,3	57,5	684,1	259,91	9
Scores les plus faibles	638,1	899,1	55,2	960	505,72	3

Wilcoxon rank sum test

data: donneescplteppEnumdeb and donneescplteppfnumdeb

W = 9, p-value = 0,4818

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-99 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques

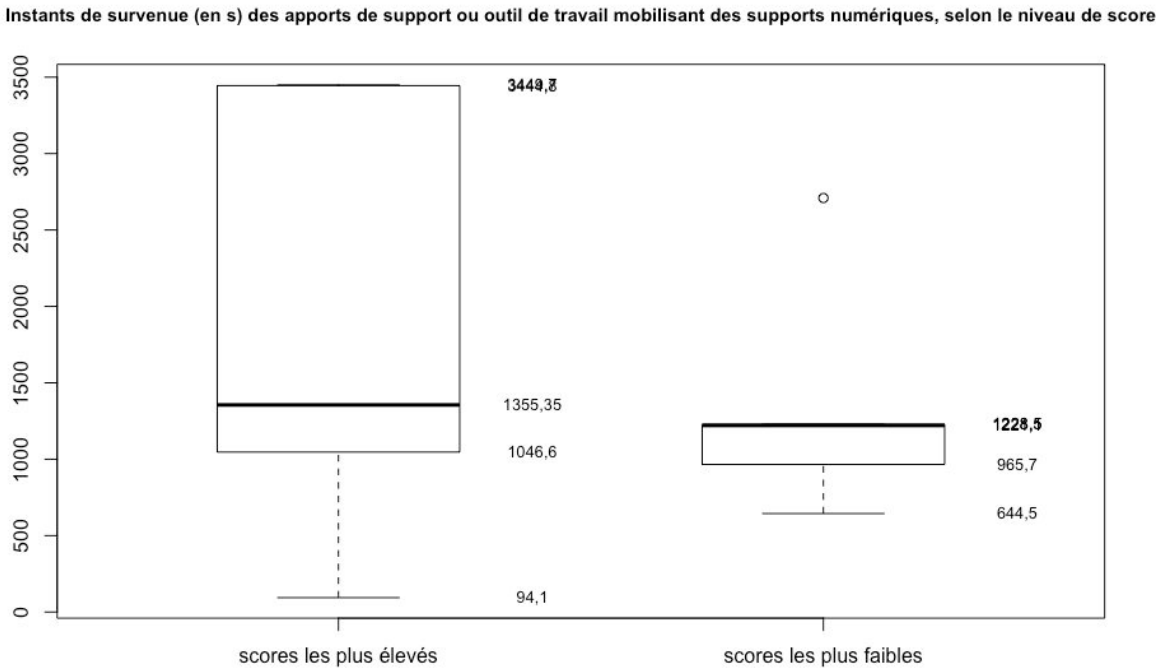


tableau A.10-99 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue d'apports de support ou outil de travail mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	1790,98	1355,35	94,1	3449,7	1366,36	6
Scores les plus faibles	1353,82	1221,1	644,5	2709,3	794,42	5

Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: donneescpltaostEnumdeb and donneescpltaostfnumdeb
W = 19, p-value = 0,5228
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0

figure A-10-100 : Distribution, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

Instants de survenue (en s) des requêtes de représentation de solutions sur supports numériques, selon le niveau de score

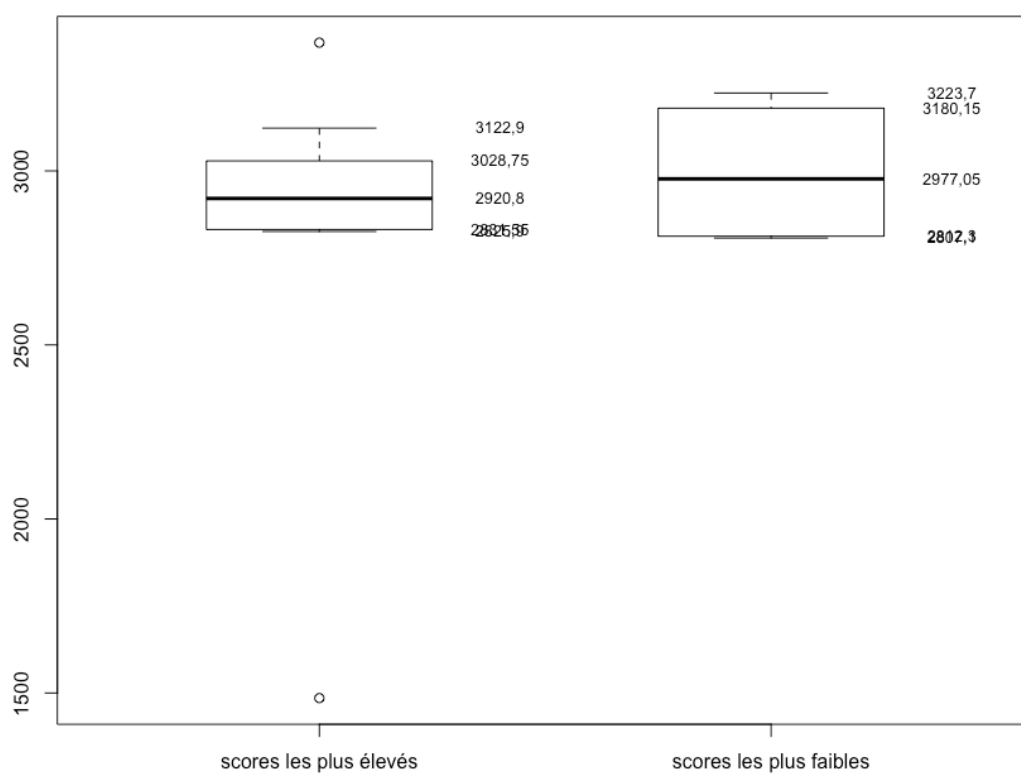


tableau A.10-100 : Description, selon le niveau de score, des instants de survenue des requêtes de représentation de solutions mobilisant des supports numériques

	Moyenne	Médiane	Min	Max	Écart-type	n
Scores les plus élevés	2785,03	2920,8	1485,4	3368,4	603,97	7
Scores les plus faibles	2996,22	2977,05	2807,1	3223,7	215,38	4

Wilcoxon rank sum test

data: donneescpltrrsEnumdeb and donneescpltrrsfnumdeb

W = 14, p-value = 1

alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0