

Titre: Effet de la représentation de l'état d'un projet sur la prise de
Title: décision en contrôle de projet

Auteur: Jérôme Isac
Author:

Date: 2019

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Isac, J. (2019). Effet de la représentation de l'état d'un projet sur la prise de
Citation: décision en contrôle de projet [Master's thesis, Polytechnique Montréal].
PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/3823/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/3823/>
PolyPublie URL:

**Directeurs de
recherche:** Robert Pellerin, & Pierre-Majorique Léger
Advisors:

Programme: Maîtrise recherche en génie industriel
Program:

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

**Effet de la représentation de l'état d'un projet sur la prise de décision en
contrôle de projet**

JÉRÔME ISAC

Département de mathématiques et de génie industriel

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie industriel

Avril 2019

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

**Effet de la représentation de l'état d'un projet sur la prise de décision en
contrôle de projet**

présenté par **Jérôme ISAC**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Jean-Marc ROBERT, président

Robert PELLERIN, membre et directeur de recherche

Pierre-Majorique LÉGER, membre et codirecteur de recherche

Mario BOURGAULT, membre

DÉDICACE

À mes parents, pour votre soutien indéfectible...

REMERCIEMENTS

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de recherche, le professeur Robert Pellerin. Merci pour votre confiance dans ce projet d'envergure.

Merci à mon co-directeur, le professeur Pierre-Majorique Léger de HEC Montréal. Pour vos commentaires, votre temps et la motivation que vous transmettez à vos troupes. Merci aussi à toute votre équipe du Tech3lab, en particulier à David Briegne et Emma Rucco qui m'ont assisté pour préparer ma collecte de données et à Carl St-Pierre pour sa patience et sa précieuse collaboration pour procéder aux analyses de ces données.

Madame Nathalie Perrier, pour ces moments dans votre bureau, votre porte étant toujours ouverte, je vous remercie du fond du cœur. Nos discussions permettaient de faire le point et de vérifier que j'étais bien lancé.

Toute ma gratitude à tous les participants de mes deux études. Sans vous, ce mémoire n'existerait pas.

À tous les membres de la Chaire Jarislowsky/SNC-Lavalin en gestion de projets internationaux, merci et bonne chance dans la suite de vos projets.

Mes remerciements à Monsieur Jarislowsky pour son soutien financier tout au long de mon projet de recherche.

Merci aux membres du jury, les professeurs Jean-Marc Robert et Mario Bourgault, pour le temps qu'ils ont passé à lire ce mémoire et pour leurs commentaires. Ceux-ci étaient très pertinents et ont amélioré ce travail.

Une pensée particulière aux étudiants de deuxième et troisième année du baccalauréat en génie industriel pour lesquels j'ai été chargé de laboratoire. Vos séances de laboratoire étaient pour moi une pause hebdomadaire bienvenue dans mes travaux de recherche. Merci d'avoir été si participatifs. Et mes remerciements aux professeurs Pellerin et Agard de m'avoir fait confiance pour partager ces moments avec leurs groupes au cours de ces trois années.

Finalement, un grand merci à mes parents pour leur soutien et leur confiance. Merci de m'encourager dans toutes mes aventures et de m'aider à aller droit devant. Vous savez sans doute combien cela peut être précieux.

RÉSUMÉ

La gestion par projets est devenue omniprésente dans les environnements de travail. Qu'il s'agisse de travaux d'ingénierie civile ou d'informatisation des processus d'affaires, il est question de projets. La gestion de projets est partie intégrante du travail de l'ingénieur et divers outils et méthodologies peuvent aider le gestionnaire de projet à prendre une bonne décision.

De récentes études ont procédé à l'inventaire de ces outils de gestion de projet et en ont recensé une centaine. Par contre, aucune classification n'existe afin de déterminer si un outil offre un meilleur soutien qu'un autre pour la prise de décision. Le présent projet de recherche se concentre sur les outils visuels d'aide à la décision.

L'objectif de ce projet est de caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel du planificateur de projet. Cette influence peut se manifester sur la qualité de la décision, sur le temps nécessaire au planificateur pour analyser le projet représenté, sur le niveau de confiance en sa décision ou sur la charge mentale induite par l'outil visuel. Parmi les huit outils visuels d'aide à la décision recensés, deux ont été sélectionnés pour fins de comparaison dans le présent projet de recherche. Il s'agit de la courbe en S issue de la méthodologie de la valeur acquise et d'*Activity Gazer*, une représentation issue de récents travaux de recherche d'une équipe américaine.

Pour répondre à cet objectif, deux études sont élaborées dans le but de mesurer l'influence des deux outils visuels d'aide à la décision sélectionnés. La première est une enquête statistique auprès d'étudiants aux cycles supérieurs en gestion de projet d'une faculté de génie québécoise. Cette étude permet de mesurer l'influence possible sur la qualité de la décision, le temps d'analyse et le niveau de confiance du planificateur. Au cours de la seconde étude, l'oculométrie est utilisée afin de mesurer la charge mentale induite. Cette fois, huit étudiants aux cycles supérieurs et neuf professionnels en gestion de projet ont été approchés pour participer à cette étude en laboratoire.

Le stimulus expérimental utilisé représente le projet à l'aide de son diagramme de Gantt, d'*Activity Gazer* et/ou de la courbe en S, de l'indice de performance d'échéancier du projet et de renseignements sur les ressources du projet. Lors de l'élaboration des stimuli expérimentaux, certains problèmes de représentation sont apparus en utilisant *Activity Gazer*. Pour y remédier, certaines améliorations au cadre conceptuel d'*Activity Gazer* ont été proposées.

L'analyse des résultats des deux études suggère que les deux outils permettent une prise de

décision équivalente. Par contre, la courbe en S permet une analyse plus rapide de la part du gestionnaire de projet. Aussi, une influence positive de la courbe en S sur le niveau de confiance observée lors de la première étude n'a pas pu être confirmée lors de la deuxième expérimentation. Finalement, la charge mentale induite par l'état d'un projet où *Activity Gazer* n'est pas présent semble être plus élevée. Ces résultats suggèrent que la courbe en S est un outil agrégé qui nécessite des améliorations et qu'*Activity Gazer* est un outil à considérer par le gestionnaire de projet pour l'assister dans son travail quotidien.

ABSTRACT

Project management is now omnipresent in current work environment. They are called projects, whether it's about civil engineering or process computerization. Project management is a constitutive part of the engineering tasks and a multitude of methods and tools could help the project manager making a good decision.

Recent studies proceeded to the inventory of these project management tools and counted about a hundred of them. However, no classification exists to determine if a tool offers a better support than another to make a decision. This research project concentrates on visual decision support tools.

The project's objective is to characterize the influence of visual decision support tools in project control on the decision process of a project planner. This influence could be on the quality of the decision, on the analysis time, the confidence level of the planner about his decision or the cognitive load induced by the visual tool. Between the eight visual decision support tools counted, two have been selected for comparison purpose in this research project. It is the S-Curve from the earned value methodology and *Activity Gazer*, tool recently created by an American research team.

To meet this objective, two studies are elaborated to measure the influence of the two visual decision support tools selected. The first study is a statistical survey given to graduated students in project management from an engineering faculty of Quebec. This study gives the opportunity to measure the possible influence on the decision's quality, the analysis time and the confidence level of the planner. To measure the induced cognitive load, eye tracking is selected and used for the second study. This time, eight graduated students and nine project management professionals took part in the in-lab study.

Experimental stimulus used to represent the state of the projects integrates the Gantt chart, *Activity Gazer* and/or the S-Curve, the schedule performance index of the project and information about the resources used. During the conception of the stimuli, some problems occurred using *Activity Gazer*. To fix these, some ameliorations to the conceptual framework of *Activity Gazer* are proposed.

Results suggest that the two tools enable the project planner to make an equivalent decision. However, the S-Curve allows taking a quicker decision. Also, a positive influence of the S-Curve on the confidence level has been observed in the first study. This influence hasn't been confirmed in the second experiment. Finally, the induced cognitive load of a project where

Activity Gazer is not present seems to be higher. Those results suggest that the S-Curve is an aggregated tool which needs ameliorations and that *Activity Gazer* is a tool to consider by the project planner to assist himself in his daily work.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	iii
REMERCIEMENTS	iv
RÉSUMÉ	v
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xii
LISTE DES FIGURES	xiv
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xv
LISTE DES ANNEXES	xvi
CHAPITRE 1 INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE	3
2.1 Contrôle de projet	3
2.2 Outils de contrôle	4
2.2.1 Diagrammes de Gantt	5
2.2.2 Mosaïque temporelle	6
2.2.3 Représentation graphique des contraintes	8
2.2.4 Représentation des réseaux d'activités	9
2.2.5 Échéanciers alternatifs	9
2.2.6 Courbe en S	10
2.2.7 Indice <i>Forecast budgeted cost for work scheduled</i>	11
2.2.8 <i>Activity Gazer</i>	12
2.3 Critique de la littérature	13
2.4 Conclusion	14
CHAPITRE 3 DÉMARCHE GÉNÉRALE	15
3.1 Objectifs de recherche	15

3.2	Méthodologie	16
3.3	Conclusion	17

CHAPITRE 4 RAPPORT TECHNIQUE : EXTENSION D'ACTIVITY GAZER EN TANT QU'OUTIL DE SUIVI DE PROJET

4.1	Introduction	19
4.2	<i>Activity Gazer</i>	21
4.3	Améliorations proposées à <i>Activity Gazer</i>	24
4.3.1	Durée du projet	24
4.3.2	Départ hâtif d'une activité	26
4.3.3	Fin tardive d'une activité	28
4.3.4	Modifications aux dates de début et de fin calculées d'une activité après une mise à jour de l'état du projet	28
4.3.5	Taille des étoiles une fois l'activité terminée	29
4.4	Conclusion	30
4.5	Remerciements	30

CHAPITRE 5 ARTICLE 1 - L'ÉTAT D'UN PROJET : UNE IMAGE POUR UN DIAGNOSTIC

5.1	Introduction	31
5.2	Revue de littérature	32
5.3	Méthodologie	34
5.3.1	Conception du stimulus	34
5.3.2	Participants	37
5.3.3	Déroulement de l'enquête	37
5.3.4	Opérationnalisation des mesures	38
5.3.5	Stratégie d'analyse	38
5.4	Résultats	38
5.4.1	Statistiques descriptives	38
5.4.2	Corrélations	39
5.4.3	Ordre des visualisations	40
5.4.4	Régressions linéaires	41
5.4.5	Diagnostic efficace	42
5.5	Discussion	44
5.5.1	Corrélations	44
5.5.2	Diagnostic efficace	45
5.6	Conclusion	46

5.7	Remerciements	46
CHAPITRE 6 ARTICLE 2 - IMPACT OF A VISUAL DECISION SUPPORT TOOL IN PROJECT CONTROL: A COMPARATIVE STUDY USING EYE TRACKING		47
6.1	Introduction	47
6.2	Background	48
6.3	Methodology	50
6.3.1	Experimental stimuli	50
6.3.2	Participants	51
6.3.3	Experimental protocol	52
6.3.4	Apparatus and calibration	53
6.3.5	Measures	53
6.3.6	Analysis strategy	54
6.4	Results	55
6.4.1	Quality of the decision	55
6.4.2	Response time	56
6.4.3	Perceived cognitive and work load	57
6.4.4	Induced cognitive load	57
6.5	Discussion	61
6.6	Conclusion	63
6.7	Acknowledgements	64
CHAPITRE 7 DISCUSSION GÉNÉRALE		65
7.1	Synthèse des travaux	65
7.1.1	Qualité de la décision	65
7.1.2	Temps d'analyse	66
7.1.3	Niveau de confiance	66
7.1.4	Charge mentale induite	67
7.1.5	Retour sur l'objectif général	67
7.2	Difficulté rencontrée	67
7.3	Limites de recherche	68
7.4	Conclusion	69
CHAPITRE 8 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS		71
RÉFÉRENCES		73
ANNEXES		77

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5.1	Statistiques descriptives	39
Tableau 5.2	Fréquence des scores	40
Tableau 5.3	Fréquence des niveaux de confiance	40
Tableau 5.4	Moyennes des variables	41
Tableau 5.5	Caractéristiques des paramètres de la régression sur le logarithme naturel du temps	42
Tableau 5.6	Caractéristiques des paramètres de la régression sur le score	43
Tableau 5.7	Caractéristiques des paramètres de la régression sur le niveau de confiance	43
Tableau 5.8	Nombre de diagnostics efficaces et inefficaces par représentation et point de contrôle	43
Table 6.1	Significant parameters of the linear regression for the natural logarithm of the response time	56
Table 6.2	Significant parameters of the linear regression of the Frustration	57
Table 6.3	Correlations for the fixation count	58
Table 6.4	Significant parameters of the regression of the fixation count	59
Table 6.5	Correlations for the average fixation duration	59
Table 6.6	Correlations coefficients for the average pupil diameter	61
Table 6.7	Significant parameters of the regression of the average pupil diameter	62
Table B.1	Descriptive statistics for the discrete variables	82
Table B.2	Descriptive statistics for the Entry Time in AOI (ms)	83
Table B.3	Descriptive statistics for the fixation count	84
Table B.4	Descriptive statistics for the average fixation duration (ms)	84
Table B.5	Descriptive statistics for the dwell time (ms)	84
Table B.6	Descriptive statistics for the glances count	84
Table B.7	Descriptive statistics for the average dwell time (ms)	85
Table B.8	Descriptive statistics for pupillometry data	86
Table C.1	Correlations for the discrete variables - Part 1	87
Table C.2	Correlations for the discrete variables - Part 2	88
Table C.3	Correlations for the Entry Time in AOI	88
Table C.4	Correlations for the fixation count	88
Table C.5	Correlations for the average fixation duration	89
Table C.6	Correlations for AOI glances and dwell time	90
Table C.7	Correlations for AOI average glance time	91

Table C.8	Correlations for the pupillometry data - Part 1	92
Table C.9	Correlations for the pupillometry data - Part 2	93
Table D.1	Regressions for the discrete variables	94
Table D.2	Regressions for the Entry Time in AOI	95
Table D.3	Regressions for the fixation count	96
Table D.4	Regressions for the average fixation duration	96
Table D.5	Regressions about the score and lAnswerTime with AOI consultation by the participant - Part 1	97
Table D.6	Regressions about the score and lAnswerTime with AOI consultation by the participant - Part 2	98
Table D.7	Regression for the pupillometry data	99
Table D.8	Regression for the fixation duration and fixation count	100

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Représentation d'un projet à l'aide d'un diagramme de Gantt et d'une mosaïque temporelle	7
Figure 2.2	Courbe en S	11
Figure 2.3	Un projet illustré à l'aide d' <i>Activity Gazer</i>	13
Figure 3.1	Objectifs de recherche	16
Figure 3.2	Démarche générale	18
Figure 4.1	Courbe en S	21
Figure 4.2	<i>Activity Gazer</i>	23
Figure 4.3	Changement de la durée d'un projet	25
Figure 4.4	Représentation d'un départ tardif d'une activité	27
Figure 4.5	Représentation d'un départ hâtif d'une activité	27
Figure 4.6	Représentation d'une date de fin calculée après la date de fin planifiée	29
Figure 5.1	Représentation de l'état d'un projet à l'aide d' <i>Activity Gazer</i>	35
Figure 5.2	Représentation C utilisée lors de l'enquête	36
Figure 6.1	Example of a project illustrated with the representation C	52

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AACE	Association for the Advancement of Cost Engineering
ACWP	Actual cost of work performed
AOI	Area of interest
BCWP	Budgeted cost of work performed
BCWS	Budgeted cost of work scheduled
CIRRELT	Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport
CPI	Cost performance index
CRTE	Coût réellement déboursé pour le travail effectué
EVM	Méthodologie de la valeur acquise, earned value methodology
FBCWS	Forecast budgeted cost for work scheduled
IPC	Indice de performance de coûts
IPÉ	Indice de performance d'échéancier
PMBok	Corpus des connaissances en management de projet, Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
SPI	Schedule performance index
TASM	Tool for advanced schedule management
VA	Valeur acquise
VP	Valeur planifiée

LISTE DES ANNEXES

Annexe A	Approbation éthique de la recherche	77
Annexe B	Descriptive statistics	82
Annexe C	Correlation tables	87
Annexe D	Regression tables	94

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Les entreprises d'aujourd'hui ont adopté en grande partie l'approche par projets pour implanter des changements d'envergure. Il suffit de regarder les offres d'emplois pour trouver les termes « chargé de projet », « directeur de projet », « gestionnaire de projet » ou « coordonnateur de projet ». L'importance de la gestion de projet sur le contrôle des coûts et des échéanciers n'est plus à démontrer et on sait que cette importance est quantifiable et modélisable [1].

La gestion de projet peut se diviser en deux grandes activités. La première est la planification du projet ; la deuxième, le contrôle ou le suivi de projet. Au cours de la planification du projet, le plan de référence du projet est élaboré, composé entre autres de l'objectif, de l'échéancier et du budget [2–4]. Ce plan de référence servira pour fins de comparaison au cours de l'exécution du projet afin d'en assurer le suivi. Le contrôle de projet, résumé à sa plus simple expression, consiste à s'assurer que l'exécution du projet est conforme au plan de référence. Il faut, pour ce faire, récupérer différentes informations sur les tâches effectuées, les coûts engagés et utiliser ces informations à l'intérieur des différents outils de contrôle de projet. Ces outils permettent au planificateur d'établir si des divergences entre le réalisé et le planifié existent. Dans ce cas, le planificateur doit déterminer les actions correctives à mettre en place et voir à les implanter [5].

Différentes méthodologies de gestion de projet existent afin d'assister le planificateur de projet dans ses tâches de contrôle. Celles-ci ont été élaborées soit par des associations de pratiques telles le Project Management Institute (PMI) ou l'Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE), soit par des organismes gouvernementaux. Ces méthodologies générales définissent les différents processus et tâches associés à la gestion de projet et indiquent plusieurs outils offerts au planificateur pour réaliser ces tâches. Déjà en 2014, Montes-Guerra *et al.* [6] ont recensé une centaine de ces outils. La diversité des outils et des logiciels pouvant être utilisés [7] amène le praticien devant une multitude de possibilités, sans aide rationnelle pour choisir les outils appropriés pour sa tâche à effectuer. Lorsque plusieurs outils existent pour effectuer la même tâche, c'est au planificateur de projet de déterminer lequel il doit utiliser en conformité avec les exigences de son employeur. Le présent mémoire s'inscrit dans ce contexte et est sous-tendu par l'objectif ultime de la Chaire de recherche Jarislowsky/SNC-Lavalin en gestion de projets internationaux de développer des outils de contrôle de projet adaptés facilitant le travail des gestionnaires de projet.

Pour évaluer une situation et prendre une décision, il est reconnu qu'il est plus aisé de le

faire à l'aide de données agrégées qu'à l'aide de données brutes [8]. Dans cette optique, des indicateurs de performance et des outils visuels d'aide à la décision sont privilégiés. Un outil devient un outil visuel lorsqu'un ou des éléments graphiques sont inclus, que ce soit de la couleur, un graphique ou une figure. Par opposition, un outil *non* visuel serait une donnée brute, un tableau ou fichier de type *Excel* ou un rapport présenté en texte suivi.

Ces indicateurs et outils permettent à tous les intervenants du projet, de l'exécutant au client en passant par le planificateur de projet, de se renseigner, d'un coup d'œil, sur différents éléments du projet. Mais, il faut savoir choisir les bons outils pour représenter la bonne information.

Afin d'aider les planificateurs à choisir les outils appropriés aux tâches de contrôle de projet, l'objectif de ce mémoire est de *caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel du planificateur de projet*. Concrètement, il s'agit de mesurer cet impact et de déterminer si certains outils visuels d'aide à la décision peuvent amener le planificateur, lors de leur utilisation, à prendre une décision plus éclairée ou plus efficace que lorsqu'elle est prise à l'aide d'autres outils. L'apport de ce mémoire consiste à caractériser cet impact.

Ce mémoire est un mémoire par article. Premièrement, une revue critique de la littérature est présentée au prochain chapitre. Cette revue définit plus en détail le contrôle de projet et recense les différents outils visuels d'aide à la décision actuellement utilisés ou issus de travaux de recherche précédents. Le chapitre 3 explique la démarche scientifique utilisée au cours de la réalisation de ce projet de recherche et le découpage de ses résultats dans les publications effectuées. Certaines améliorations ont été proposées à un des outils existants. Ces propositions ont fait l'objet d'un rapport technique au Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT) qui est reproduit au chapitre 4. Le chapitre 5 détaille la première phase de ce projet de recherche telle que soumise et acceptée par le comité scientifique du Congrès international de génie industriel de 2019. La deuxième phase expérimentale a fait l'objet d'un article soumis à la revue *Automation in Construction* et est présentée au chapitre 6. Une discussion générale suit où les résultats des deux études sont synthétisés et certaines limites méthodologiques détaillées. Finalement, le chapitre 8 présente une conclusion à ce mémoire.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Engineers were the only members of the community "who understand the needs of the nation, desires of the workmen, and the power of the productive forces".

Henry Laurence Gantt, 1919

Afin de pouvoir atteindre l'objectif de ce mémoire qui consiste à caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur la décision du planificateur, il est nécessaire de définir ce qu'est le contrôle de projet (section 2.1) et d'effectuer un inventaire des outils visuels d'aide à la décision auxquels le planificateur de projet a accès (section 2.2). Finalement, la section 2.3 présente une critique de la littérature en fonction de l'objectif de recherche. Cette revue de littérature est complémentaire à celle que l'on retrouve dans les articles présentés aux chapitres 5 et 6. L'objectif est ici de positionner la contribution scientifique de l'ensemble de ce mémoire par rapport à la littérature existante. Les deux articles traitent pour leur part des contributions scientifiques plus spécifiques à chacun des volets expérimentaux.

2.1 Contrôle de projet

La gestion de projet est souvent vue comme comportant deux principaux groupes de tâches : la planification du projet et le contrôle de projet, aussi appelé suivi de projet. La planification détaille le déroulement du projet, les affectations de ressources aux différentes tâches et le budget pour chacune des activités. Un plan de référence à partir duquel sont effectuées les comparaisons pour assurer le contrôle du projet est alors défini [4].

Le contrôle de projet permet de s'assurer de respecter les objectifs du projet. Il est basé sur l'observation, la mesure de la performance et l'adoption de mesures correctives et préventives. C'est aussi à l'intérieur du contrôle de projet qu'est considérée la gestion des changements du projet [6].

L'Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) définit le contrôle de projet en six éléments [9] :

1. savoir ce qui devait être fait ;
2. savoir ce qui a été fait ;
3. se comparer au plan de référence ;
4. savoir ce qui reste à faire ;

5. identifier et mettre en place les actions correctives appropriées et
6. analyser les résultats des actions correctives.

Les différents livrables issus de la planification du projet et qui interviennent dans le contrôle de projet sont présentés par l'AACE sous la forme Planifier, Faire, Vérifier, Corriger. Il s'agit d'un processus itératif où le plan de projet n'est pas un élément fixe dans le temps. Il peut être amené à être modifié. C'est ce que l'on appelle la replanification.

Le contrôle de projet peut se diviser en trois types d'activités. Le premier compare la réalisation du projet à son échéancier et à son budget. L'exécutant du projet s'est engagé à respecter ces éléments et le contrôle du projet permet de vérifier l'évolution de celui-ci. Pour ce faire, les différentes données sur les coûts engagés, les heures effectuées et l'avancement des tâches associées au projet sont rassemblées. Différents indicateurs associés à la méthodologie de la valeur acquise (earned value methodology, EVM) tels que l'indice de performance de coûts (IPC) et l'indice de performance d'échéancier (IPÉ) sont calculés et différents seuils d'alerte leur sont associés [2, 4]. En fonction de ces indicateurs, des actions correctives peuvent être mises en place dans le but de livrer le projet dans les temps et à l'intérieur du budget.

Le deuxième type d'activités associées au contrôle de projet vise la gestion des risques. En effet, différents événements peuvent survenir et avoir un impact sur le déroulement du projet : grèves, conditions météorologiques, etc. Le planificateur de projet doit évaluer la probabilité d'occurrence de ces risques et définir les mitigations possibles pour minimiser les impacts sur le déroulement du projet [4].

Finalement, le troisième type d'activités associées au contrôle de projet consiste en l'actualisation du plan de projet en fonction des événements s'étant produits depuis le début du projet [4]. L'expérience du planificateur doit alors être prise en compte pour déterminer l'impact de cette information sur le reste du projet. Par exemple, la durée prévue d'un type de tâches peut être révisée à la hausse ou à la baisse en fonction des performances du début du projet afin de tenir compte des résultats de l'équipe associée à ce type de tâches.

2.2 Outils de contrôle

Pour chaque outil présenté dans cette section, une description de celui-ci est d'abord faite, suivie de la méthode de validation utilisée par leurs chercheurs respectifs et le but de cette validation. Une revue de la littérature a permis d'inventorier huit outils visuels d'aide à la décision en partant des diagrammes définis par Gantt en 1919 jusqu'au cadre conceptuel d'*Activity Gazer* par Lee et Rojas en 2014. Les cinq prochaines sous-sections présentent les diagrammes de Gantt et leurs dérivés. À partir de la sous-section 2.2.6, les outils dérivés de

la courbe en S et de l'EVM sont décrits.

2.2.1 Diagrammes de Gantt

Les diagrammes de Gantt sont omniprésents dans les différents domaines de la gestion de projet. Pour les besoins du présent projet de recherche, il est nécessaire de présenter la définition originelle de ces diagrammes, soit celle de 1919. Gantt [10] a développé, pour assurer le contrôle de la production de l'aciérie où il travaillait, trois diagrammes à bandes :

- le diagramme d'enregistrement machine (*machine record chart*) ;
- le diagramme de progrès (*progress chart*) et
- le diagramme d'enregistrement humain (*man record chart*).

Ces diagrammes ont pour but d'illustrer, pour chaque personne qui est concernée, les besoins de l'atelier sur le plan de la matière première et de la main-d'œuvre, le travail effectué en comparaison de ce qui est planifié et les causes de ces différences [10].

Le diagramme d'enregistrement machine correspond au temps réel où la machine est en utilisation. Différentes lettres viennent interrompre les bandes afin de représenter les causes de l'arrêt d'une machine, que ce soit dû à un manque de matériel, un bris, un manque de personnel qualifié, etc.

Le diagramme de progrès illustre, pour chaque famille de produits, la quantité livrée par les différents sous-traitants ou équipes de travail, ou l'avancement des ordres de production selon les numéros de bons de commande associés. C'est le graphe qui a évolué au sein de la gestion de projet pour devenir le diagramme de Gantt qui est utilisé aujourd'hui pour illustrer l'avancement d'activités ou de tâches.

Le diagramme d'enregistrement humain permet de comparer, dans un contexte manufacturier ou de service, la production d'un employé à celle attendue pour celui-ci. Gantt avertit le lecteur que la production attendue devrait être validée par le contremaître, étant la personne connaissant autant le travail à faire que la capacité de ses hommes à le réaliser.

Au cours des 100 dernières années, ces diagrammes ont été utilisés dans différentes sphères d'activités, que ce soit dans le domaine manufacturier comme défini par Gantt ou de nos jours en gestion de projet. Ces diagrammes ont été éprouvés par la pratique et leur notoriété n'est plus à établir.

2.2.2 Mosaïque temporelle

Une des modifications apportées au diagramme de progrès de Gantt a été faite par Luz et Masoodian en 2011 [11]. Comme les diagrammes de Gantt ont été prévus pour une utilisation sur papier, il peut devenir difficile, une fois informatisé, d'agglomérer les informations sur un même écran sans avoir recours aux outils de zoom, de barres de défilement et d'onglets.

Un diagramme de Gantt occupe très peu d'espace pour une même activité, laissant beaucoup d'espace inutilisé à l'écran. L'outil développé par Luz et Masoodian consiste en une mosaïque temporelle où chaque activité est représentée par une couleur et l'ensemble des activités du moment se répartissent la hauteur du diagramme sur une largeur représentant sa durée en jours.

Si on prend un des diagrammes de Gantt utilisés dans une des études de ce projet de recherche (figure 2.1a), on peut obtenir la mosaïque temporelle de la figure 2.1b. Ainsi, chaque activité se voit attribuer une couleur propre. L'entièreté de la hauteur du diagramme est colorée de manière à représenter rapidement les activités en cours au jour j .

Luz et Masoodian ont procédé à une étude intrasujet auprès d'étudiants universitaires et de professionnels pour évaluer si, pour un projet donné, l'utilisateur peut interpréter l'information qui lui est présentée, soit sous la forme d'un diagramme de Gantt traditionnel, soit sous la forme d'une mosaïque temporelle. Pour chacune des dix questions à choix multiple de leur étude, une des deux représentations était fournie.

Ces dix questions se recoupent en cinq catégories définies par les chercheurs : exclusion ; durée ; inactivité ; concurrence des ressources et séquençage des activités. En plus de leur réponse, les participants devaient noter la difficulté de la question sur une échelle de Lickert à sept niveaux. Leurs résultats démontrent une performance similaire entre les deux outils visuels pour ce qui est du temps de réponse et de l'interprétation de l'information.

2.2.3 Représentation graphique des contraintes

Tory *et al.* ont proposé en 2013 trois techniques visuelles relevant de la construction d'échéanciers [12]. Ces trois outils font chacun l'objet d'une sous-section distincte.

Le premier outil présenté est la représentation graphique des contraintes entre activités. La représentation graphique actuelle sur les diagrammes de Gantt utilise uniquement les liens temporels d'antériorité. En se basant sur des travaux précédents où les contraintes spécifiques au domaine de la construction ont été inventoriées et décrites de manière textuelle [13, 14], Tory *et al.* ont établi un code couleur et un système d'icônes pour représenter les contraintes sur un diagramme de Gantt à l'aide de lignes pleines ou pointillées selon la flexibilité de la contrainte.

Tory *et al.* ont programmé un banc de test permettant de réaliser un diagramme de Gantt où les contraintes peuvent être représentées graphiquement. Ce banc de test se nomme *Tool for advanced schedule management* (TASM). Afin de vérifier la possibilité logicielle d'illustrer les contraintes, ils ont encodé un projet issu de [14] et illustré les contraintes décrites entre les activités à l'aide des symboles proposés. Afin de s'assurer du bon fonctionnement du logiciel, la technique de la tâche abstraite [15] a été employée.

Les résultats de cette analyse montrent qu'il est généralement facile de déterminer la relation entre deux activités à l'aide de la représentation graphique des contraintes dans TASM. Deux problèmes mineurs d'interfaçage peuvent toutefois apparaître. Premièrement, lorsqu'une contrainte n'est pas mise en évidence dans un réseau d'activité (voir sous-section suivante), il peut y avoir confusion à cause de la taille des éléments illustrés. Le problème n'est pas trop important puisque seulement deux couleurs sont utilisées pour les contraintes génériques et que la bulle d'information apparaissant au survol de la contrainte par le pointeur permet de détailler l'information illustrée. Le deuxième problème apparaît lorsque l'utilisateur zoome sur une partie du projet. Les connexions des contraintes peuvent alors pointer vers des activités en dehors de l'écran. L'intégration d'un aperçu du projet dans son ensemble en mortaise de l'écran permettrait de régler ce problème.

Les chercheurs déterminent que leur outil permet un meilleur support que celui offert par *Microsoft Project*, un des progiciels de gestion de projet les plus répandus [7]. L'inclusion des contraintes relatives au domaine de la construction, alors que ce progiciel n'inclut que les relations logiques de type début-début, fin-début, début-fin ou fin-fin, est une amélioration pour le planificateur de projet.

2.2.4 Représentation des réseaux d'activités

Le deuxième outil proposé par Tory *et al.* [12] est une représentation des réseaux d'activités. Par réseaux d'activités s'entend l'ensemble des activités qui précèdent et succèdent à une activité donnée. Tory *et al.* établissent qu'il peut être difficile, dans les logiciels actuels, pour des projets complexes, de déterminer l'impact de la modification d'une activité sur les suivantes, surtout si elles sont grandement séparées graphiquement sur le diagramme de Gantt. Le problème de l'utilisation de l'espace à l'écran d'un diagramme de Gantt a aussi été souligné par [11].

Afin de remédier à ce problème, dans le logiciel TASM, un surlignage interactif a été programmé. Lorsque l'utilisateur sélectionne une activité, son réseau est mis en évidence par une saturation plus élevée de ses couleurs.

Les chercheurs ont validé cette représentation à l'aide de la même technique de la tâche abstraite décrite à la sous-section précédente. Ils établissent que cette technique offre un meilleur support que le logiciel de Microsoft puisque celui-ci ne permet que de mettre en évidence le chemin critique du projet, un seul des différents réseaux d'activités d'un projet.

2.2.5 Échéanciers alternatifs

Lorsque vient le temps de comparer différents échéanciers, chaque planificateur de projet développe sa propre technique, qui lui est propre. Tory *et al.* [12] ont développé trois techniques afin de comparer deux variantes d'échéanciers ou plus.

Pour comparer deux échéanciers différents, le planificateur peut comparer uniquement les dates de début et de fin des activités ou il peut imprimer les diagrammes de Gantt et les superposer pour chercher les différences [12]. Tory *et al.* [12] ont implémenté cette technique dans TASM, proposée à la base en 2000 par Liston *et al.* [16]. Dans cette représentation, le deuxième échéancier est représenté en pointillés par-dessus l'échéancier de base.

Une deuxième technique de représentation de deux échéanciers est de les présenter côte à côte. Par contre, déterminer les différences peut alors être difficile. Pour remédier à ce problème, les chercheurs ont développé une barre de visualisation verticale où les activités différant entre les deux échéanciers comparés sont illustrées avec un code couleur et des symboles permettant de différencier dans quel échéancier chaque activité finit plus tôt ou plus tard.

Finalement, pour comparer plus de deux variantes d'un échéancier, Tory *et al.* [12] ont développé un outil nommé *TbarView*. Celui-ci consiste en une fenêtre du logiciel TASM où une des variantes de l'échéancier est définie comme la base de comparaison. Au milieu de la fenêtre, une « colonne vertébrale » est représentée. C'est l'échéancier de base. Chacune

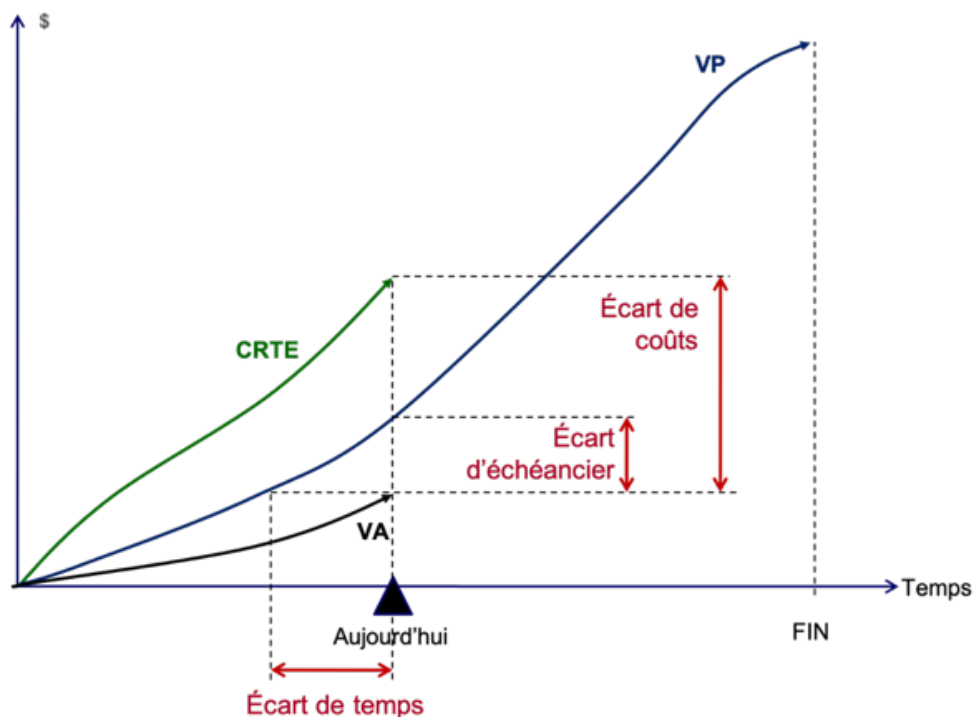
des vertèbres de cette colonne vertébrale représente une des activités du projet. Si, entre les différentes variantes de l'échéancier évalué, une activité est absente ou ajoutée, la « vertèbre » correspondante est indiquée d'une certaine couleur en fonction de la variante mise en cause. De même, pour illustrer les variations sur les dates de début et de fin des activités, les « vertèbres » où la durée diffère ont des excroissances si les dates de début sont devancées ou si les dates de fin sont retardées. L'excroissance en question est ici indiquée dans la couleur associée à la variante mise en cause.

La validation de ces trois techniques de visualisation d'échéanciers alternatifs s'est réalisée en deux étapes. Une première étape s'est déroulée au cours de la même analyse de la tâche abstraite que pour les outils présentés en 2.2.3 et en 2.2.4. Les chercheurs ont pu déterminer que, par rapport au progiciel de Microsoft, leurs techniques présentent un meilleur support pour comparer les différences entre des échéanciers du point de vue global du projet ainsi qu'au niveau des activités.

Une deuxième étape de validation a impliqué une étude avec utilisateurs [17]. Cette étude a été réalisée auprès de 12 étudiants du baccalauréat et des cycles supérieurs d'une faculté de génie et de sciences. Ils ont cherché à déterminer les bénéfices et les limites de ces nouveaux outils pour ce qui est de la tâche d'élaboration d'échéanciers de projet. Leurs conclusions sont que leurs outils permettent une identification des différences plus rapidement qu'avec le diagramme de Gantt traditionnel. Par contre, ces utilisateurs ont souligné plusieurs éléments d'interfaçage pouvant améliorer les outils, par exemple que la petite taille des éléments présentés apportait un élément de difficulté d'interprétation.

2.2.6 Courbe en S

La courbe en S est issue de l'EVM. Cette méthodologie a été développée initialement en 1967 par le Département de la Défense des États-Unis d'Amérique pour évaluer les contrats d'approvisionnement et de construction passés avec des partenaires privés [18]. L'EVM vise à comparer le travail réellement effectué sur un projet (la valeur acquise (VA)), les coûts réellement déboursés pour le travail effectué (CRTE) et le budget de référence du projet (la valeur planifiée (VP)). Ces trois éléments peuvent être tracés sous la forme d'un graphe en fonction du temps, comme l'illustre la figure 2.2. C'est la forme particulière de ces courbes qui a donné son nom au graphe. L'EVM a été répandue en Amérique du Nord par le Project Management Institute (PMI) à l'intérieur du Corpus des connaissances en management de projet (PMBok) [2]. De récentes revues de littérature [4, 19] ont montré que l'EVM demeure une des méthodologies les plus répandues parmi les planificateurs de projet pour la phase de contrôle de projet.

Figure 2.2 Courbe en S¹

2.2.7 Indice *Forecast budgeted cost for work scheduled*

Afin d'augmenter l'efficacité du contrôle des coûts dans un projet de construction, Liu et Su [20] ont développé un nouvel indice de performance pouvant être tracé sur la courbe en S : le *Forecast budgeted cost for work scheduled* (FBCWS). Il s'agit d'un indicateur calculé à intervalles réguliers au cours du projet avant que les coûts soient engendrés réellement, donc avant d'avoir une incidence sur la courbe des CRTE. L'indice permet une évaluation tenant compte des conditions de marché actuel et non uniquement de l'estimation faite lors de l'élaboration du plan de référence du projet. Une prévision des coûts avant leur occurrence permet d'anticiper un écart important entre la VP du projet et ses coûts réels.

Liu et Su [20] ont proposé le cadre théorique de l'indice FBCWS. Bien que l'article parle du contrôle des coûts dans le domaine de la construction de rails pour trains légers, aucune application pratique n'est faite mention dans l'article. De plus, il n'y a aucune mention d'application de cet indice dans des articles subséquents. Il n'y a pas d'évidence que cet indice ait été utilisé en pratique.

1. CRTE : coût réellement déboursé pour le travail effectué

VA : valeur acquise

VP : valeur planifiée

2.2.8 *Activity Gazer*

Lee et Rojas ont développé le cadre théorique d'une nouvelle représentation visuelle de l'état d'un projet : *Activity Gazer* [21]. Cette représentation a pour objectif d'améliorer l'efficacité et l'efficience des planificateurs de projet à diagnostiquer un problème au cours de la réalisation d'un projet de construction de grande envergure.

Cette représentation se présente sous une forme circulaire où les activités sont illustrées par des « étoiles ». 360° représentent la durée totale du projet où le temps s'écoule dans le sens horaire. Chaque activité se déplace sur une orbite représentant l'échelle budgétaire associée à l'activité. Les activités évoluent sur des traces que l'on peut voir comme les barres du diagramme de Gantt tordues pour être représentées sous forme circulaire. Chaque activité prend la couleur de l'indicateur sélectionné, que ce soit l'IPC, l'IPÉ, le niveau de qualité ou de risque du projet. Plus d'argent est dépensé sur une activité, plus son « étoile » s'atrophie. Un petit cercle représente une activité dont les fonds prévus pour celle-ci ont presque tous été dépensés. Un exemple de projet illustré à l'aide d'*Activity Gazer* est donné à la figure 2.3.

Sur cette figure, les activités 4 et 6 sont presque terminées puisque leur cercle est relativement petit. De plus, puisqu'elles sont en rouge, ces activités ont un indicateur en dessous du seuil paramétré. Ici, il s'agit de l'IPÉ de l'activité qui est inférieur à 0,95.

Le cadre théorique décrivant *Activity Gazer* a été validé en deux étapes. Suite à une première idéation du concept, une série de questions sur un projet illustré à l'aide d'*Activity Gazer* posées à des experts en gestion de projet a constitué une première étude pour déterminer l'utilité et la réceptivité des utilisateurs. En général, le concept a été reconnu apte à transmettre les informations au vu des résultats aux questions et a reçu de bonnes critiques de la part des experts. Ces critiques ont permis de développer le prototype final.

Ce prototype a été présenté à un second panel d'experts [21] composé d'étudiants aux cycles supérieurs ayant un minimum de trois années d'expérience en gestion de la construction. Les deux questions posées à ce groupe de discussion permettaient d'obtenir l'impression générale des participants envers l'outil et s'il y avait une valeur ajoutée à développer de tels outils pour le domaine de la gestion de la construction. Les discussions ont porté sur l'avantage du format « Polaraoid » de l'état du projet. Les membres du panel ont aussi souligné l'intérêt de la simplicité du design, du code couleur facilitant l'interprétation et de la représentation de toute l'information utile sur un seul outil. Dans la conclusion, Lee et Rojas mentionnent qu'une étude comparative entre leur outil et les outils traditionnels est nécessaire pour valider son efficacité.

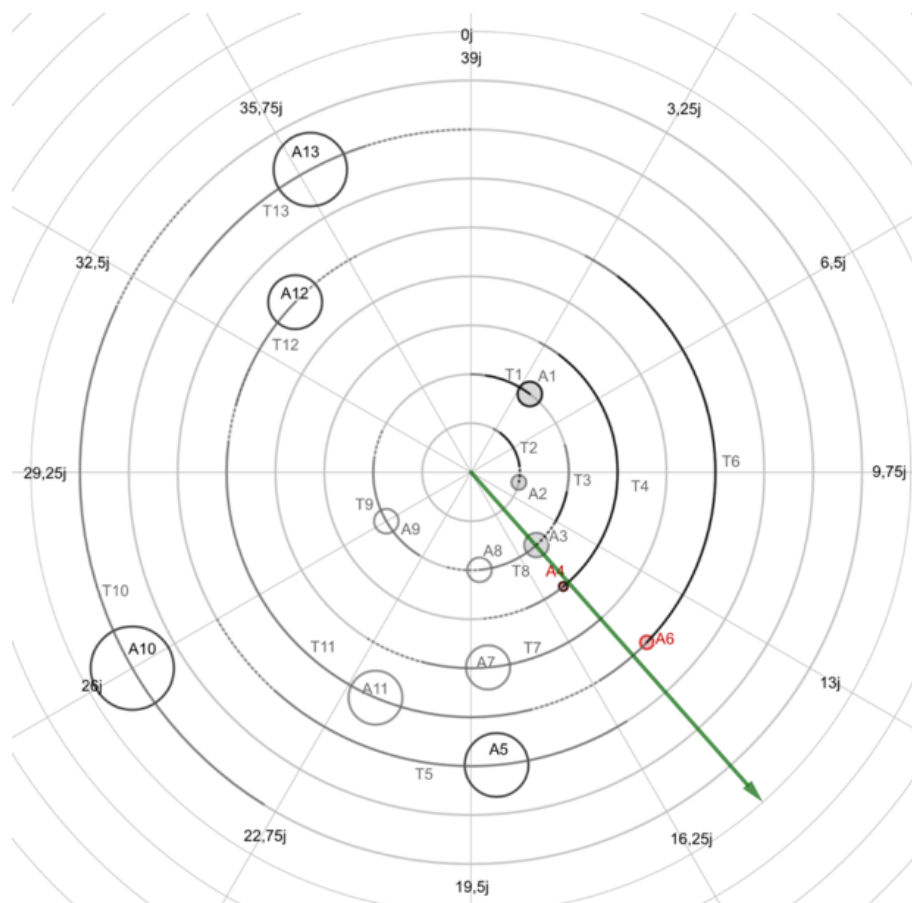


Figure 2.3 Un projet illustré à l'aide d'*Activity Gazer*

2.3 Critique de la littérature

Pour effectuer les différentes activités associées au contrôle de projet, le planificateur de projet a accès à une multitude de méthodologies, techniques et outils. Par contre, aucune étude comparative de l'impact ou de la performance des outils visuels d'aide à la décision en contexte de contrôle de projet et des tâches y étant associées n'a pu être trouvée.

Les outils présentés peuvent intervenir à différentes étapes lors des activités de contrôle de projet. En effet, les diagrammes de Gantt et ses améliorations constituent une représentation graphique de la structure du projet et permettent d'exprimer visuellement l'état d'avancement des travaux. On peut s'en servir lors de la collecte des données nécessaires au suivi du projet et pour examiner ces données afin de poser un diagnostic sur l'état du projet. La courbe en S, quant à elle, permet d'évaluer le contrôle des coûts et de l'échéancier en comparant les courbes de la VA avec celles de la VP et des CRTE. Les diagrammes de Gantt et la courbe

en S sont d'ailleurs les deux outils de base recommandés par le PMBoK et l'AACE pour se faire une opinion sur l'état d'un projet [2, 5, 22].

Tous les outils présentés à la section 2.2 ont été validés par leurs auteurs respectifs, à l'exception de l'indice FBCWS (sous-section 2.2.7). Ces validations ont permis d'établir que les nouveaux outils permettent l'interprétation des données d'un projet de manière équivalente à l'outil initial, soit le diagramme de Gantt ou la courbe en S. Par contre, aucun test n'a été effectué dans un contexte de diagnostic de l'état d'un projet, à savoir, déterminer quelle action corrective est la plus appropriée pour respecter les échéances d'un projet ou s'il nécessite une replanification. L'impact et l'apport de ces outils sur le travail ou les décisions des planificateurs de projet n'ont pas été étudiés jusqu'à présent. L'objectif de ce mémoire étant de caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel du planificateur, il est nécessaire de procéder à une telle évaluation.

2.4 Conclusion

La présente revue de littérature a permis de définir le processus de contrôle de projet et différents outils visuels d'aide à la décision. Il a été montré que plusieurs outils visuels d'aide à la décision existent. Par contre, aucune classification basée sur des critères d'évaluation ne permet de déterminer si un outil permet une meilleure prise de décision de la part du planificateur. Le prochain chapitre, connaissant maintenant les limitations de la recherche actuelle, vise à préciser les objectifs de recherche, propose la démarche générale du projet de recherche et détaille les études menées dont les résultats sont présentés aux chapitres 5 et 6.

CHAPITRE 3 DÉMARCHE GÉNÉRALE

L'objectif général de ce mémoire est de caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel du planificateur. Pour y parvenir, le chapitre précédent a défini le contrôle de projet et inventorié les différents outils visuels d'aide à la décision actuellement utilisés ou issus de la recherche. Il est nécessaire maintenant de définir les influences possibles des outils d'aide à la décision et, par le fait même, de spécifier les objectifs de recherche de ce mémoire. C'est l'objet de la première section de ce chapitre. Par la suite, la méthodologie générale du projet de recherche est présentée.

3.1 Objectifs de recherche

Les influences des outils d'aide à la décision sont multiples. Premièrement, les outils visuels de contrôle peuvent avoir un impact direct sur la résultante finale du processus décisionnel, soit la décision prise par le planificateur après avoir consulté les informations produites par les outils de contrôle de projet. Cet impact peut alors se mesurer en ce qui concerne la qualité de la décision prise, du temps pour y arriver et du niveau de confiance envers la décision retenue. Par ailleurs, la nature même de la représentation visuelle de chaque outil peut influencer le processus mental menant à la prise de décision. De façon plus détaillée, ce mémoire cherche à atteindre les quatre sous-objectifs suivants, comme l'illustre la figure 3.1 :

- S1 - Sous-objectif 1 :** Déterminer l'impact des outils visuels de contrôle de projet sur la qualité de la décision prise lors d'une activité de suivi de projet.
- S2 - Sous-objectif 2 :** Déterminer l'impact des outils visuels de contrôle de projet sur le temps de prise de décision lors d'une activité de suivi de projet.
- S3 - Sous-objectif 3 :** Déterminer l'impact des outils visuels de contrôle de projet sur le niveau de confiance perçu par le planificateur suite à une prise de décision lors d'une activité de suivi de projet.
- S4 - Sous-objectif 4 :** Caractériser la charge mentale induite par les outils visuels de contrôle de projet.

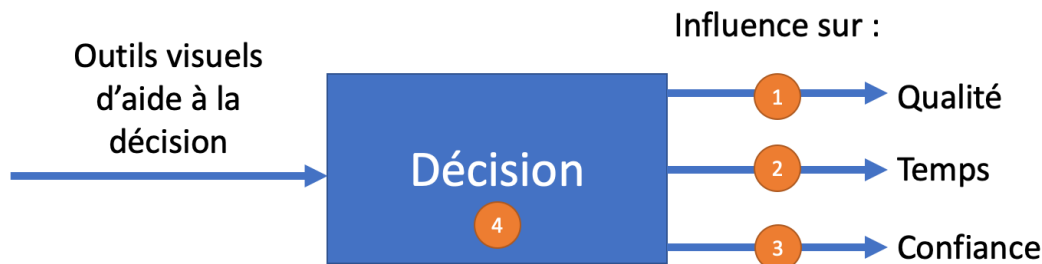


Figure 3.1 Objectifs de recherche

3.2 Méthodologie

Comme le nombre d'outils de contrôle de projets est très important, cette recherche se limite à deux outils de contrôle de projet, soit la courbe en S qui est largement répandue [4] et *Activity Gazer*, qui est nouvellement issu de la recherche [21].

Afin de répondre à ces objectifs, deux phases expérimentales sont envisagées. La première, une étude à l'aide de questionnaires auprès d'étudiants aux cycles supérieurs en gestion de projets permet d'atteindre les sous-objectifs 1 à 3. Par contre, une étude sur questionnaire ne permet pas de caractériser la charge mentale induite. Pour atteindre le quatrième sous-objectif, une autre technique est nécessaire. L'oculométrie, ou *eye tracking*, est une des techniques permettant d'analyser le comportement d'un individu sur une tâche de manière passive au lieu de demander au participant de « réfléchir à haute voix » [23]. Il est alors possible d'enregistrer les endroits où les participants posent leur regard et les différentes aires d'intérêt (areas of interest (AOIs)) de l'interface consultée. Ces éléments permettent différentes interprétations selon la longueur et le nombre des fixations, leur position à l'écran et l'information consultée [24], permettant de mieux cerner le processus décisionnel du planificateur de projet.

Deux études distinctes sont réalisées : la première afin d'évaluer l'impact de l'outil d'aide à la décision sur le temps d'analyse, la performance du planificateur et son niveau de confiance ; la deuxième, pour mieux comprendre le processus décisionnel. Cette deuxième étude s'ajoute à la première puisque les mêmes informations sur le temps de réponse, la performance et la confiance sont aussi collectées en plus des données oculomotrices.

Le premier protocole expérimental est développé pour comparer deux outils visuels d'aide à la décision : la courbe en S issue de la méthodologie de la valeur acquise (earned value methodology, EVM) [2] et *Activity Gazer*, un outil visuel développé par Lee et Rojas [21]. La courbe en S a été sélectionnée à cause de son utilisation très répandue dans le domaine du

contrôle de projet [4]. *Activity Gazer* a quant à lui été sélectionné, comme décrit au chapitre 2, de par sa nouveauté en tant qu'outil visuel d'aide à la décision destiné au contrôle de projet et du besoin de comparaison exprimé par ses auteurs.

Ce protocole expérimental demande aux participants de l'étude de sélectionner l'action corrective la plus efficace afin de ramener dans les temps le projet présenté au moindre coût. Cette phase expérimentale et ses résultats ont été soumis sous la forme d'un article de conférence accepté par le comité scientifique du Congrès international de génie industriel 2019.

Lors de l'élaboration des stimuli nécessaires à la première étude, il appert que certaines lacunes sont présentes dans le cadre conceptuel d'*Activity Gazer*. Ces lacunes induites par la mise à jour des projets sont inventoriées et des solutions proposées dans un rapport technique déposé au Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT). Ce rapport est présenté avant les articles présentant les résultats des deux études pour aider la compréhension du lecteur bien que sa réalisation ait été simultanée à celle de l'article décrivant la première phase expérimentale.

Afin de comprendre le processus décisionnel du planificateur de projet, un deuxième protocole expérimental est développé, cette fois où un plus grand nombre de cas d'étude est présenté aux participants et où leur regard à l'écran est capté à l'aide d'un oculomètre. Cette deuxième phase expérimentale fait l'objet d'un article scientifique soumis à la revue *Automation in Construction*.

Cette démarche générale est illustrée à la figure 3.2.

3.3 Conclusion

Les prochains chapitres présentent les publications issues de ce projet de recherche. Les deux phases expérimentales ont fait l'objet de publications scientifiques pour présenter leurs méthodologies respectives ainsi que leurs résultats. Ces articles sont présentés aux chapitres 5 et 6. Ils sont précédés par les améliorations proposées à *Activity Gazer* suite aux problèmes rencontrés lors de la conception des stimuli expérimentaux.

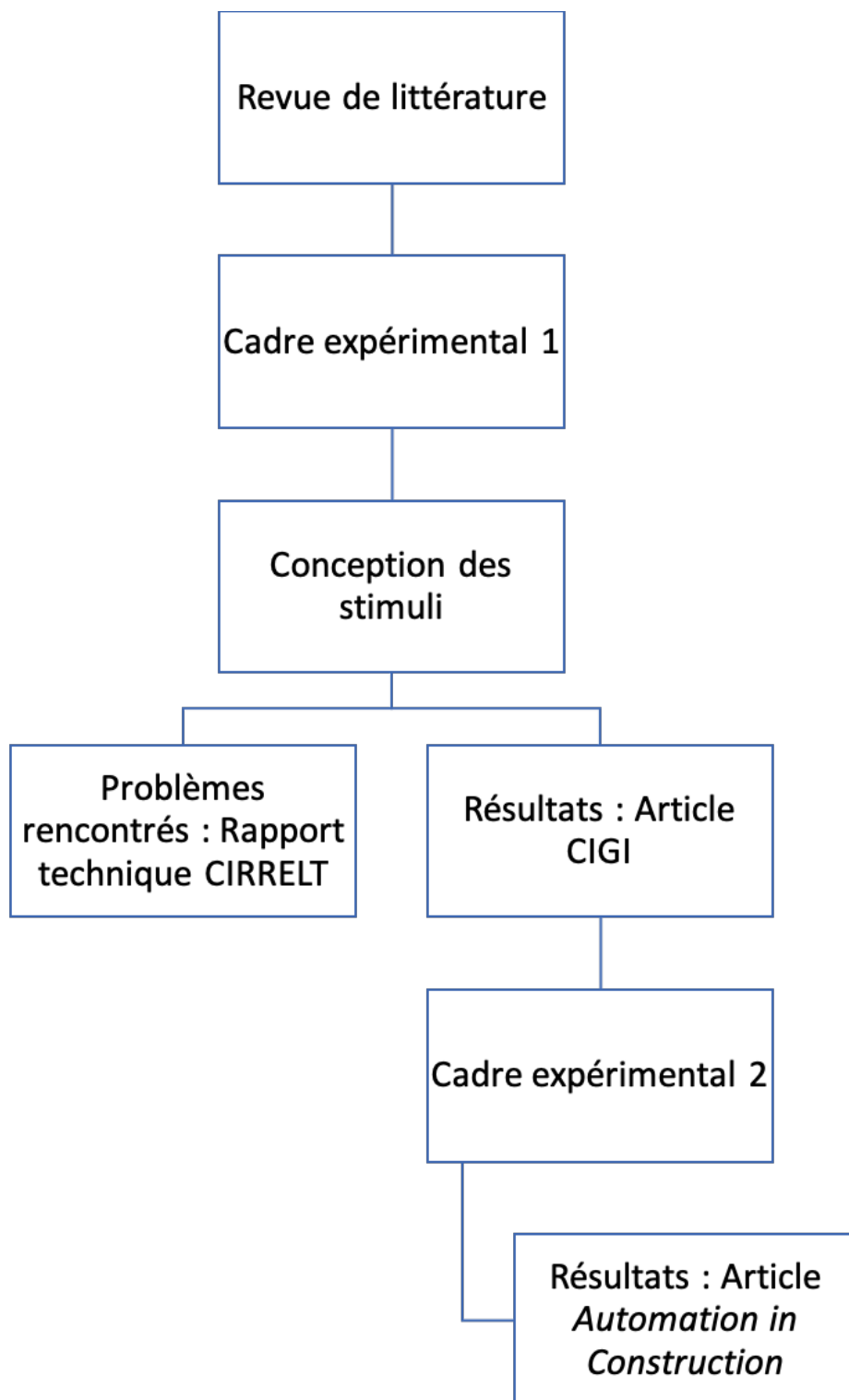


Figure 3.2 Démarche générale

CHAPITRE 4 RAPPORT TECHNIQUE : EXTENSION D’*ACTIVITY GAZER* EN TANT QU’OUTIL DE SUIVI DE PROJET

Ce chapitre a fait l’objet d’un rapport technique déposé au Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d’entreprise, la logistique et le transport (CIRRELT) sous le numéro CIRRELT-2018-53.

Auteurs Jérôme Isac, Gabriel Yan, Nathalie Perrier, Robert Pellerin, Pierre-Majorique Léger

Résumé Le présent rapport a pour objectif de présenter des améliorations à la représentation visuelle de l’état d’un projet nommée *Activity Gazer* telle que présentée par Lee et Rojas [21]. Cette représentation transpose le diagramme de Gantt sous un format circulaire où les activités évoluent selon une analogie avec notre système solaire. Les améliorations proposées portent principalement sur l’amélioration des traces sur lesquelles évoluent les activités, les traces étant la transposition directe des barres de Gantt dans la représentation *Activity Gazer*.

Mots-clés Gestion de projets, contrôle, suivi, *Activity Gazer*, représentation visuelle.

4.1 Introduction

La plus longue phase d’un projet est généralement sa phase d’exécution. Au cours de celle-ci, le contrôleur de projet doit collecter des données à propos de l’avancement des activités composant le projet pour en assurer le suivi. Montes-Guerra *et al.* [6] ont procédé à un inventaire des techniques, méthodologies et outils que les contrôleurs de projet ont à leur disposition pour procéder au contrôle de projet. Ils en ont compté près d’une centaine. Bien que les principaux référentiels de gestion de projet, comme celui du PMBOK [2], décrivent les outils et les tâches devant être réalisées par le contrôleur au cours du processus de maîtrise de projet, ils ne prescrivent pas spécifiquement les outils à utiliser.

Pellerin et Perrier [4] ont toutefois démontré dans leur revue de littérature portant sur les outils, techniques et méthodes de planification et de contrôle de projet développés au cours de la dernière décennie que l’analyse de la valeur acquise [2, 18] demeure encore aujourd’hui l’outil de contrôle de projet le plus répandu. L’Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE) a publié des guides pratiques définissant l’usage de la méthodologie de la

valeur acquise. Cette méthodologie s’articule sur deux concepts clés : un progrès mesurable et un accent sur la planification, afin d’établir un point de comparaison pour la performance [26]. Ce point de comparaison est le plan de référence du projet. Celui-ci devrait inclure, entre autres, l’étendue du projet, la définition des tâches et leur séquence, ainsi qu’un budget de projet [4, 27].

La méthodologie de la valeur acquise a ainsi pour but de faciliter l’analyse de la variance entre le projet réalisé et le plan prévu. Le contrôleur de projet doit alors chercher les causes de cette variance et déterminer les actions correctives à mettre en place [26]. Cette analyse se fait principalement à l’aide de la courbe en S dont un exemple est fourni à la figure 4.1. La courbe en S est une technique graphique pour communiquer rapidement les tendances et le statut d’un projet [22]. Sur un même graphique, le budget du projet est tracé en fonction du temps. Il s’agit de la valeur planifiée (VP) du projet. La courbe des coûts réellement déboursés pour le travail effectué (CRTE) et la valeur acquise (VA) du projet sont également ajoutées en fonction du temps. La variation entre ces deux dernières courbes et la variation entre les courbes de VA et VP permettent d’évaluer respectivement la performance du projet sur ses coûts et son échéancier. Les données du projet doivent être mises à jour régulièrement. L’AACE recommande cette mise à jour et l’analyse de la valeur acquise au minimum à tous les mois du projet [26]. L’intervalle de temps doit être déterminé au début du projet entre tous les acteurs clés [5].

Pour leur part, Liu et Su [20] ont proposé une nouvelle courbe à intégrer sur la courbe en S. Il s’agit de la prévision des coûts budgétés du travail planifié. Cette courbe est une révision de la courbe du budget, tenant compte des facteurs extérieurs au projet dans le cadre d’un contrôle en temps réel. À l’exception de la représentation proposée par Lee et Rojas [21], il s’agit de la seule nouvelle représentation visuelle recensée dans les revues de littérature récentes sur le contrôle de projet faites par Pellerin et Perrier [4] et Willems et Vanhoucke [19]. De leur côté, Lee et Rojas [21] ont développé une nouvelle méthode de représentation de l’état d’un projet au cours de son exécution. Leur intention était de créer un outil visuel destiné à améliorer l’efficacité et l’efficience de l’analyse des projets de construction à grande échelle.

Le présent rapport recense les difficultés rencontrées lors de l’utilisation de cette nouvelle représentation au cours de l’élaboration de cas ayant servi à une première phase expérimentale d’une étude visant à comparer la courbe en S [2, 22] et *Activity Gazer* [21]. Le présent rapport présentera la représentation *Activity Gazer*. Par la suite, les difficultés rencontrées et les solutions proposées seront présentées.

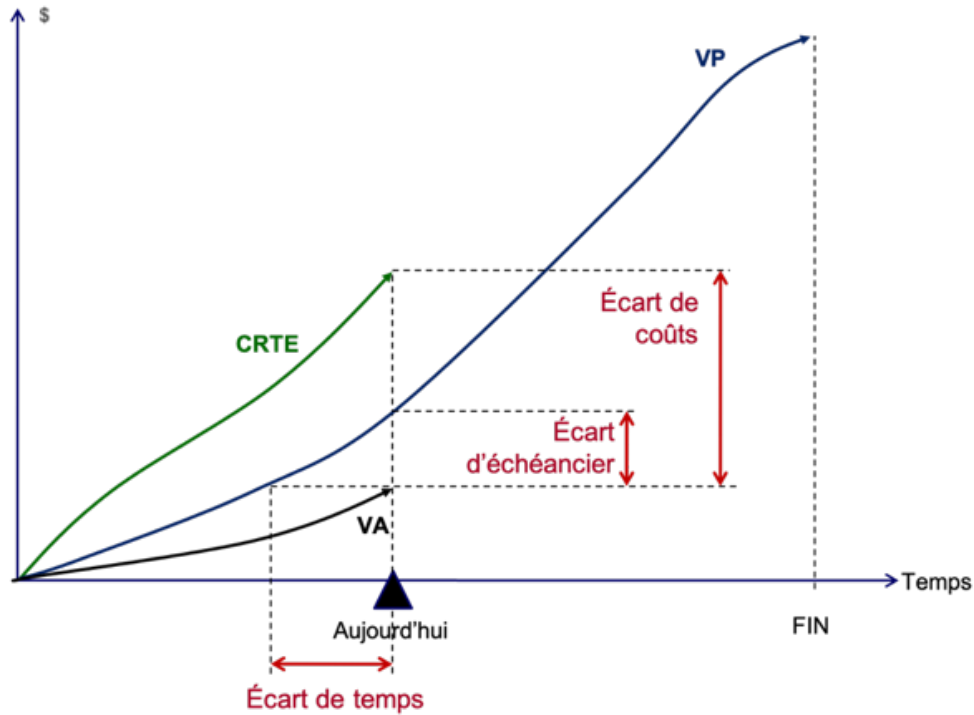


Figure 4.1 Courbe en S

4.2 Activity Gazer

Lee et Rojas [21] proposent une représentation de l'état d'un projet sous une forme innovante. Il s'agit d'une combinaison des éléments de présentation d'un système stellaire et d'un radar de détection aérien. Les activités sont représentées sous la forme d'étoiles orbitant dans le sens des aiguilles d'une montre.

La figure 4.2 présente l'état d'un projet comprenant 13 activités en utilisant la représentation *Activity Gazer*. Le projet est représenté sous la forme d'un radar. Les données temporelles du projet sont transformées en coordonnées polaires, un tour complet (360°) représentant la durée totale du projet.

Chaque activité, représentée par un cercle, évolue sur une orbite. Ces orbites représentent les différentes échelles budgétaires du projet. Par exemple, une activité ayant un budget de 2 000 \$ n'évoluera pas sur la même orbite qu'une activité ayant un budget de 10 000 \$. Plus l'activité est près du centre de la représentation, plus son budget est petit. La taille du cercle représentant l'activité est aussi déterminée par le budget associé à cette activité. Plus d'argent est dépensé sur cette activité, plus son cercle rétrécit, à l'image d'une étoile se consumant. Une petite étoile sur une orbite extérieure du radar représente donc une activité

dont le budget était élevé qui a dépensé presque tous les fonds planifiés.

La couleur de la bordure d'une étoile a aussi une signification. Une bordure noire représente une activité sur le chemin critique du projet, comme c'est le cas de l'activité 5 (A5) sur la figure 4.2. Une bordure grise représente une activité non critique. L'activité 7 (A7) de la figure 4.2 est une activité non critique.

La couleur de l'étoile dépend de l'indicateur sélectionné. Les activités en blanc (ex. : A5) n'ont pas commencé; les grises (ex. : A1) sont terminées. Selon le niveau de l'indicateur sélectionné et les paramètres de l'utilisateur, les activités peuvent prendre les couleurs rouge, jaune ou verte. Plusieurs indicateurs peuvent être représentés à l'aide d'*Activity Gazer* :

- l'indice de performance d'échéancier (IPÉ) ou schedule performance index (SPI) ;
- l'indice de performance de coûts (IPC) ou cost performance index (CPI) ;
- la qualité ;
- le risque ;
- etc.

Par exemple, dans la figure 4.2, l'IPÉ est sélectionné comme l'indicateur devant être affiché. Deux activités sont illustrées en rouge, A4 et A6, car leurs IPÉs respectifs sont inférieurs à 0,95.

Chaque activité, sur son orbite respective, évolue sur une trace. Cette trace est analogue à la barre représentant la durée d'une activité dans un diagramme de Gantt. La couleur grise ou noire de cette trace représente respectivement les durées planifiées et réelles des activités. Les traits gris pleins représentent les dates issues du plan de référence du projet ; les traits pointillés, la réalité en fonction des données à jour. Il est nécessaire de spécifier que les traces représentées à la figure 4.2 ne correspondent pas à la définition originale de la représentation par Lee et Rojas [21]. Elles tiennent compte des recommandations proposées à la prochaine section du présent rapport.

Finalement, la date d'état du projet est illustrée par un trait vert plein. Cette ligne vient du parallèle que l'on peut faire entre la représentation et les radars de détections aériens.

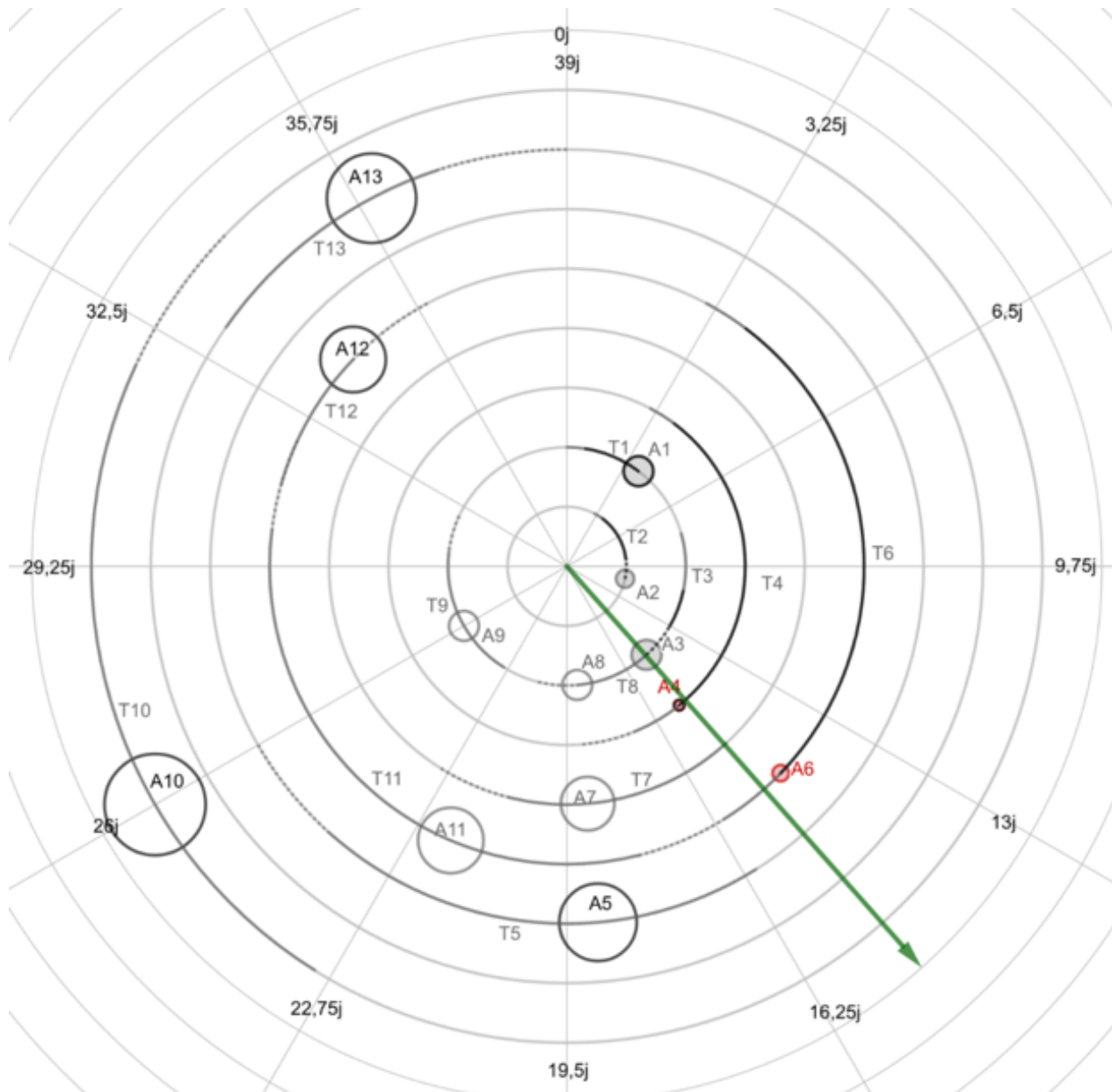


Figure 4.2 *Activity Gazer*

4.3 Améliorations proposées à *Activity Gazer*

Cette section présente les observations et problèmes rencontrés en utilisant *Activity Gazer* pour représenter l'état de projets fictifs dans le cadre d'une expérimentation. Ces problèmes sont apparus en créant plusieurs dates d'état lors de la mise à jour de projets fictifs. En intégrant les données dans la représentation, des lacunes, des imprécisions ou des impossibilités de représentation à l'aide de la définition originale sont survenues. Pour chaque observation, une solution est proposée pour y remédier.

4.3.1 Durée du projet

Au fur et à mesure des mises à jour de l'état d'un projet, il est fréquent que la durée de celui-ci soit modifiée en comparaison du plan de référence. Lee et Rojas [21] ont défini que la représentation, basée sur un cercle, illustre la durée totale du projet en 360° .

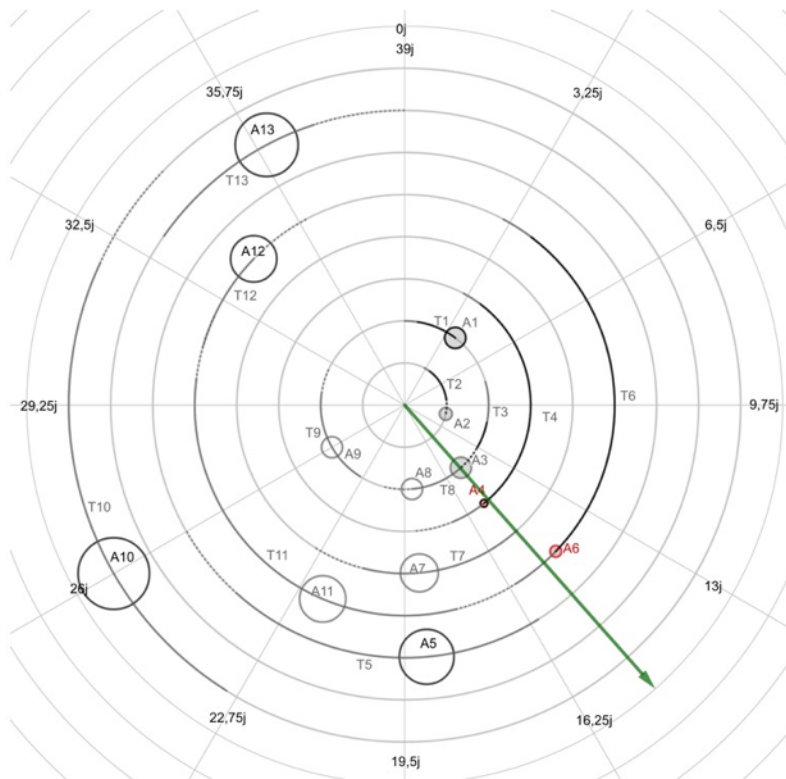
Observation

Le problème suivant a été rencontré : sur un projet prenant du retard, au fur et à mesure des mises à jour du projet, la date de fin de projet est recalculée en fonction des données à disposition et de la méthodologie du chemin critique [2]. La date de fin de projet est alors supérieure à la date de fin initialement calculée. Toutefois, il n'est pas possible, par la définition originale d'*Activity Gazer*, d'illustrer ce cas de figure.

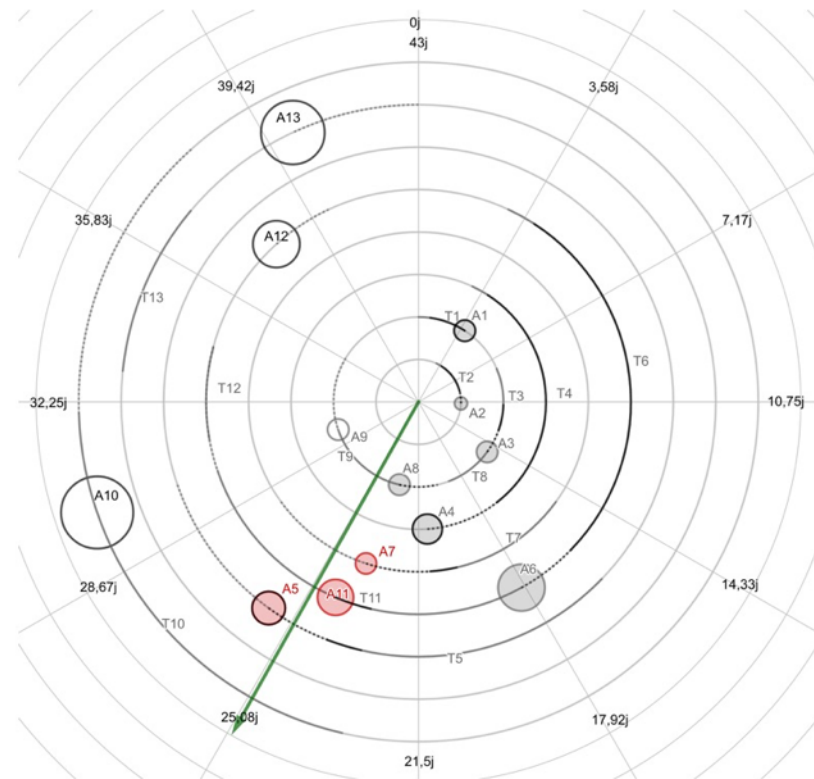
Solution proposée

Après une révision de la date de fin de projet en fonction des données acquises, l'échelle de représentation temporelle doit elle aussi être mise à jour. Si le projet prend du retard, l'échelle devrait être réduite afin de représenter la durée estimée du projet. Les traces de toutes les activités nécessitent alors une révision pour refléter ce changement d'échelle.

La figure 4.3 représente la modification suggérée. La représentation de gauche illustre un projet d'une durée de 39 jours et celle de droite, le même projet ayant pris du retard, maintenant d'une durée estimée de 43 jours. On y observe que A4 et A6 ont pris du retard (traits pointillés à la fin de leurs traces respectives), provoquant un retard de l'ensemble du projet.



a) Projet planifié sur 39 jours après 15 jours d'exécution



b) Même projet après 25 jours d'exécution planifié maintenant sur 43 jours à cause des retards

Figure 4.3 Changement de la durée d'un projet

4.3.2 Départ hâtif d'une activité

La définition originale d'*Activity Gazer* présente le cas où une activité débute après sa date planifiée, mais à l'intérieur de sa plage d'exécution prévue au plan de projet. Ce cas est illustré à la figure 4.4.

Comme décrit à la section 4.2, la durée planifiée des activités est représentée à l'aide de traces grises sur les différentes orbites de la représentation. Elles sont analogues aux barres du diagramme de Gantt, mais avec une échelle modifiée et des barres courbées pour être placées sur la représentation circulaire (voir figure 7 de [21]).

Observation

La définition originale d'*Activity Gazer* propose une façon de représenter une activité qui débute avant la date de début planifiée au plan de projet, mais cette représentation amène une perte d'information. La définition indique qu'une activité commençant avant la date prévue au plan de projet est représentée par une trace noire en trait plein dès sa date de début réelle. Cette représentation ne permet pas la comparaison du réel avec le plan de projet, car cela cache le début de la trace grise qui représente la date de début planifiée (voir figure 9a de [21]).

Solution

Inspiré par la définition originale d'une activité commençant après sa date de fin planifiée, il est proposé qu'une activité ayant commencé avant sa date de début planifiée soit représentée à l'aide d'un trait noir pointillé de sa date de début réelle à sa date de début planifiée. La représentation proposée est présentée à la figure 4.5.

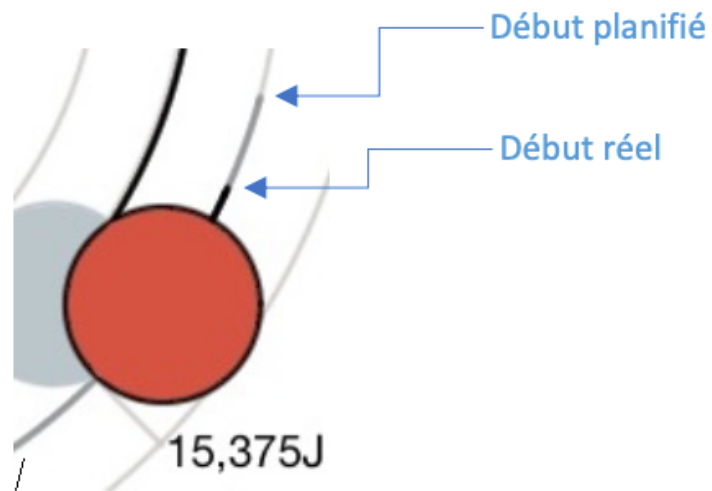


Figure 4.4 Représentation d'un départ tardif d'une activité

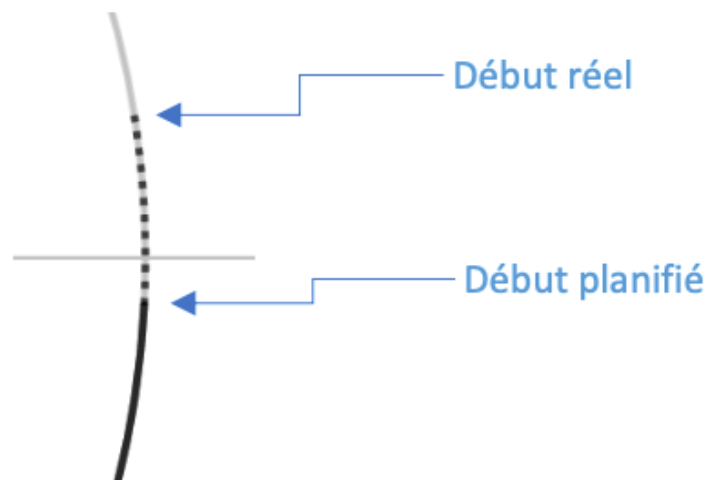


Figure 4.5 Représentation d'un départ hâtif d'une activité

4.3.3 Fin tardive d'une activité

Au cours de la réalisation d'un projet, une activité spécifique peut prendre du retard. Le contrôleur évalue donc que l'activité se termine après sa date initialement prévue au plan de référence.

Observation

Lee et Rojas [21] ont proposé une façon d'illustrer un retard exécuté sur une activité. Ils le représentent par un trait pointillé noir placé après la trace de l'activité concernée. C'est le cas de A2 sur la figure 4.2. Par contre, la représentation originale ne spécifie pas comment illustrer un retard calculé pour des activités en cours ou à venir. Un retard peut être pris sur un projet sans qu'une replanification ou la définition d'un nouveau plan de référence ait lieu.

Solution

Cette solution est une extension de la section 4.3.2. Un trait pointillé après la date de fin planifiée peut être utilisé pour représenter une différence entre les dates de fin planifiées et calculées suite à une mise à jour. Ce trait pointillé peut être gris pour représenter une date de fin recalculée à l'aide de la méthode du chemin critique. Une représentation de cette proposition est donnée à la figure 4.6. A12 et A13 telles qu'illustrées vont se terminer après leurs dates de fin planifiées au plan de projet.

4.3.4 Modifications aux dates de début et de fin calculées d'une activité après une mise à jour de l'état du projet

Au cours de la phase d'exécution du projet, au fil des mises à jour, une date de début, de fin ou les deux peuvent être recalculées à l'aide de la méthode du chemin critique. Ces modifications en tant que telles ne nécessitent pas obligatoirement une replanification [3]. Certaines modifications au projet ne nécessitent pas de définir un nouveau plan de référence du projet. Ces modifications peuvent relever de l'ajout ou de la réaffectation de ressources ou d'autorisation d'heures supplémentaires.

Observation

Les dates recalculées à l'aide de la méthode du chemin critique ne coïncident pas avec les dates du plan de référence. Un certain décalage apparaît alors entre le plan de référence et les

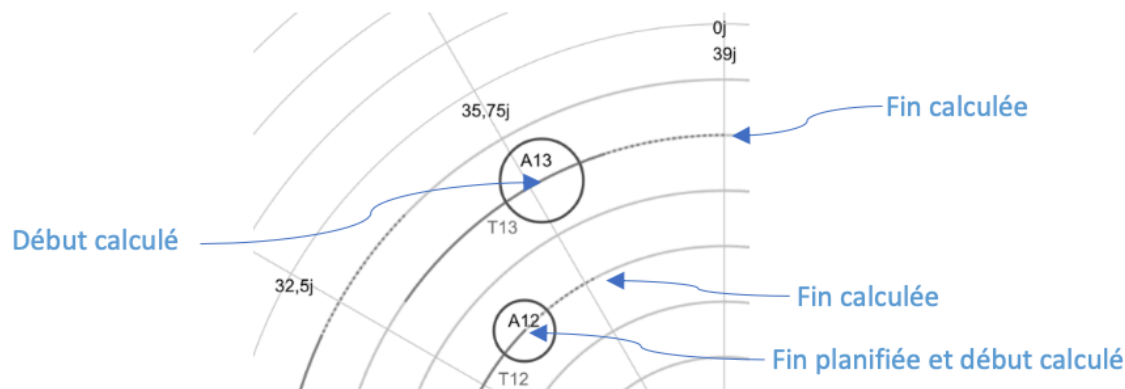


Figure 4.6 Représentation d'une date de fin calculée après la date de fin planifiée

dates de début et de fin recalculées des activités en cours ou à venir. Comment représenter ce décalage à l'aide d'*Activity Gazer* ?

Solution

Une modification de la date calculée de départ peut survenir suite à une mise à jour de l'état d'un projet. La date de début calculée alors peut se retrouver dans l'intervalle de temps initialement prévu pour le déroulement de l'activité. L'activité devrait alors être déplacée aux coordonnées polaires correspondant à la date de début calculée, comme c'est le cas de A13 présentée à la figure 4.6.

Cette activité qui n'est pas encore commencée (cercle blanc) est liée à A12 dont la date de fin a été révisée, comme le montre sa trace grise pointillée. La date de début de A13 a été recalculée. Comme elle correspond à la date de fin de l'activité précédente, A13 a été déplacée aux bonnes coordonnées polaires. La date de début de la dernière activité est donc placée au 36^e jour du projet au lieu de la 33^e journée initialement prévue.

4.3.5 Taille des étoiles une fois l'activité terminée

Plus une activité consomme de son budget alloué, plus le cercle qui la représente rétrécit. D'où l'analogie avec l'étoile qui se consume.

Observation

La logique voudrait que, lorsqu’une activité a consommé tout son budget, elle ne soit plus représentée ou uniquement par un point. Dans l’article de Lee et Rojas [21], les activités terminées sont représentées par un cercle gris. Par contre, il n’est pas fait mention de la taille que doit reprendre l’activité une fois terminée.

Solution

Vu la représentation originellement proposée, l’étoile représentant une activité devrait reprendre sa taille d’origine lorsque cette activité est terminée. Cette proposition vient de l’observation des représentations de la définition. Des activités sur des orbites différentes n’ont pas la même taille lorsqu’elles sont terminées. Donc, les activités terminées ne reprennent pas toutes une taille fixe. La règle la plus simple à éditer est alors de reprendre la taille originale de l’étoile.

4.4 Conclusion

Le but du présent rapport est de présenter les problèmes rencontrés lors de l’utilisation de la représentation *Activity Gazer* [21] et de proposer des solutions pour y remédier. Ces problèmes sont survenus en utilisant la représentation sur des états de projet fictifs, dans le cadre d’une étude expérimentale visant à mettre en évidence le lien entre la représentation visuelle de l’état d’un projet et le processus décisionnel du contrôleur.

L’étude se concentre sur l’indicateur de performance d’échéancier. Toutefois, *Activity Gazer* pourrait aussi être utilisé pour représenter l’indicateur de performance de coût. Des solutions méritent donc d’être étudiées pour faire face à d’autres problèmes ou imprécision qui pourraient alors apparaître. Par exemple, comment représenter un dépassement de budget d’une activité?

4.5 Remerciements

Ce projet de recherche est financé par le CRSNG sous l’octroi CRSNG RGPIN 06010-2014 et la Chaire de recherche Jarislowsky/SNC-Lavalin en gestion de projets internationaux.

CHAPITRE 5 ARTICLE 1 - L'ÉTAT D'UN PROJET : UNE IMAGE POUR UN DIAGNOSTIC

Cet article a été soumis et accepté par le comité scientifique du Congrès international de génie industriel 2019.

Auteurs Jérôme Isac, Robert Pellerin, Pierre-Majorique Léger

Résumé Les recherches récentes en gestion de projet portent principalement sur la phase de planification d'un projet. Les recherches portant sur les phases d'exécution, pourtant plus importantes en terme de durée, sont rares et portent principalement sur des méthodes d'estimation des coûts et de la durée en fin de projet. Peu de recherches portent sur la représentation visuelle de l'état de projet en tant qu'outil d'aide à la décision. Le présent papier vise ainsi à présenter l'effet de la représentation sur le processus décisionnel du planificateur. Une enquête menée auprès de 29 futurs professionnels en gestion de projet a permis de tester deux représentations visuelles différentes : la courbe en S et *Activity Gazer*. Des tendances sont observables entre les représentations soumises aux participants et le temps d'analyse, la qualité de la décision prise et le niveau de confiance. Ces tendances ne sont toutefois pas présentes à chaque point de contrôle, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions fermes.

5.1 Introduction

Une gestion efficace des projets permet une atteinte des objectifs fixés par les diverses parties prenantes. Ces objectifs peuvent être financiers, temporels ou portés sur la qualité du produit. Pour pouvoir respecter ces objectifs, différents indicateurs sont disponibles pour suivre la progression d'un projet. Ces indicateurs sont soit quantitatifs ou qualitatifs et peuvent être présentés de façon isolée ou sous une forme agrégée de manière visuelle [8].

Le but du contrôle de projet est de comparer la performance d'un projet aux plans de référence dans le but de mettre en place les actions correctives nécessaires le plus rapidement possible pour atteindre les objectifs du projet [29]. Bien qu'il existe de nombreux indicateurs de performance dédiés au contrôle de projet, les chercheurs se sont peu attardés à l'impact de leur représentation sur le processus de prise de décision en cours de projet.

Plus spécifiquement, nous cherchons ici à déterminer l'influence de la représentation visuelle de l'état d'un projet sur le processus décisionnel du planificateur de projet. Comme point

de départ, deux types de représentations visuelles sont utilisées : la courbe en S [2, 22] et Activity Gazer [21]. Les hypothèses de recherche sont les suivantes :

1. La représentation utilisée a une influence sur la qualité de la décision prise par le planificateur.
2. La représentation utilisée a une influence sur le temps d'analyse requis par le planificateur pour prendre une décision.
3. La représentation utilisée a une influence sur la confiance qu'a le planificateur en sa décision.

La suite de cet article est la suivante. Une revue de littérature présentant les indicateurs de performance dans le contexte de la gestion de projet et l'usage des représentations visuelles qui en découlent est présentée. Par la suite, la méthodologie expérimentale de l'équipe de recherche est décrite. Les résultats de cette enquête sont décrits et analysés. Une discussion suit et une conclusion est présentée.

5.2 Revue de littérature

Un indicateur de performance est une mesure d'une activité qui est critique au succès d'une organisation [30]. Le but premier des indicateurs de performance est de transmettre une information, une évaluation d'un facteur de réussite ou d'échec d'une entreprise. Les indicateurs de performance permettent ainsi d'assurer un contrôle de la performance d'une organisation, de se comparer aux autres entreprises du domaine et de communiquer avec les différents acteurs de l'entreprise autant à propos des aspects financiers que de l'amélioration continue [31]. Ces indicateurs clés incluent des objectifs stratégiques de l'entreprise aux yeux des différents intervenants, principalement les actionnaires de l'entreprise. Les indicateurs doivent pouvoir permettre de confronter les activités opérationnelles de l'entreprise avec ses objectifs stratégiques ou politiques [32, 33]. Ils montrent, décrivent et communiquent les résultats pertinents pour évaluer les objectifs de l'entreprise.

Il est possible, selon [31], de classer les indicateurs de performance dans le domaine de la construction selon trois catégories :

1. Indicateur Clé de Performance : indicateur à fonction prédictive ;
2. Résultat Clé de Performance : indicateur de performance d'une activité terminée et
3. Mesure perceptive : indicateur de performance perceptif, ex. : satisfaction client.

Les indicateurs de performance les plus utilisés en gestion de projet sont ceux de la méthodologie de la valeur acquise [4]. Cette méthodologie, développée par le U.S. Department

of Defense [18] et répandue en Amérique du Nord par le Project Management Institute (PMI) [2], utilise deux principaux indicateurs, l'indicateur de performance d'échéancier et l'indicateur de performance de coûts, que l'on peut classer dans la deuxième catégorie d'indicateurs énoncée plus haut. Ces deux indicateurs sont utilisés en combinaison avec d'autres outils de gestion et de contrôle de projet.

Il existe toutefois de nombreuses variances de ces deux indicateurs comme le montrent Montes-Guerra *et al.* [6] qui ont procédé à un inventaire des méthodologies, techniques et outils de contrôle de projet. Ils ont pu établir une liste d'une centaine d'outils que les planificateurs de projet utilisent quotidiennement. Par contre, pour la plupart de ces outils, c'est au planificateur de déterminer lequel parmi tous ceux à sa disposition, est le plus approprié pour la tâche qu'il doit effectuer.

L'*Association for the Advancement of Cost Engineering* met à la disposition de ses membres diverses recommandations de pratiques. Ainsi, pour effectuer le diagnostic de l'état d'un projet, la recommandation 53-R06 [5] définit l'usage de la méthodologie de la valeur acquise pour le contrôle de projet. Cette méthodologie s'articule sur deux concepts clés : un progrès mesurable et un accent sur la planification, afin d'établir un point de comparaison pour la performance, lui-même défini à l'aide d'une recommandation de pratique [27].

L'analyse de la variance entre le planifié et le réalisé d'un projet s'effectue avec les indicateurs mentionnés précédemment et une courbe dont la forme caractéristique lui a donné son nom : la courbe en S. Autant l'AACE International [22] que le PMI [2] recommandent le recours à l'analyse de la courbe en S. On y représente trois courbes, le budget du projet en fonction du temps, le coût réel du projet en fonction du temps ainsi que la valeur acquise du projet en fonction du temps.

Liu et Su [20] ont proposé d'ajouter sur ce graphique une nouvelle courbe. Il s'agit de la prévision des coûts budgétés du travail planifié. Elle consiste en une révision du budget tenant compte des changements survenus, mais n'ayant pas entraîné une révision du plan de référence du projet. Il s'agit, à l'exception de la représentation visuelle proposée par [21], de la seule nouvelle représentation visuelle présente dénotée dans les revues de littérature récentes de Pellerin et Perrier [4] et Willems et Vanhoucke [19].

Lee et Rojas [21] ont pour leur part proposé une nouvelle représentation visuelle de l'état d'un projet sous une forme innovante. On peut la décrire comme une fusion de la représentation d'un système solaire et d'un radar de contrôle aérien. Isac *et al.* [25] ayant rencontré quelques difficultés lors de l'utilisation de cette représentation, ils ont proposé des améliorations. Celles-ci touchent la représentation des traces, à la taille des activités et au changement de la durée du projet pour faire suite à une mise à jour de l'état d'un projet. Un exemple d'un projet

représenté à l'aide d'*Activity Gazer* est donné à la figure 5.1.

5.3 Méthodologie

L'enquête a consisté à présenter à des futurs professionnels en gestion de projet trois points de contrôle d'un même projet. Pour chacun de ces points de contrôle, le participant devait choisir l'action corrective à mettre en place parmi celles proposées. Ce choix devait permettre de respecter le plus possible l'échéancier du projet au moindre coût possible. Chaque participant a pris le temps de lire les instructions apparaissant dans le Formulaire de consentement avant le début de l'enquête. Ce formulaire indiquait au participant l'ensemble des données collectées.

5.3.1 Conception du stimulus

Un petit projet comprenant huit activités a été développé avec un plan de référence de projet incluant un échéancier, l'assignation de ressources et un budget de réalisation. Trois points de contrôle ont été définis pour ce projet. Pour chacun de ces trois points, trois représentations de l'état du projet ont été réalisées :

- A. Diagramme de Gantt, Activity Gazer et données sur les ressources ;
- B. Diagramme de Gantt, courbe en S et données sur les ressources ;
- C. Diagramme de Gantt, Activity Gazer, courbe en S et données sur les ressources (un exemple est donné à la figure 5.2).

Les représentations en chartes de Gantt et courbes en S ont suivi les recommandations émises par le Project Management Institute [2] et l'AACE International [22]. Les représentations d'*Activity Gazer* ont été développées à l'aide de la définition de [21] et des améliorations proposées par [25].

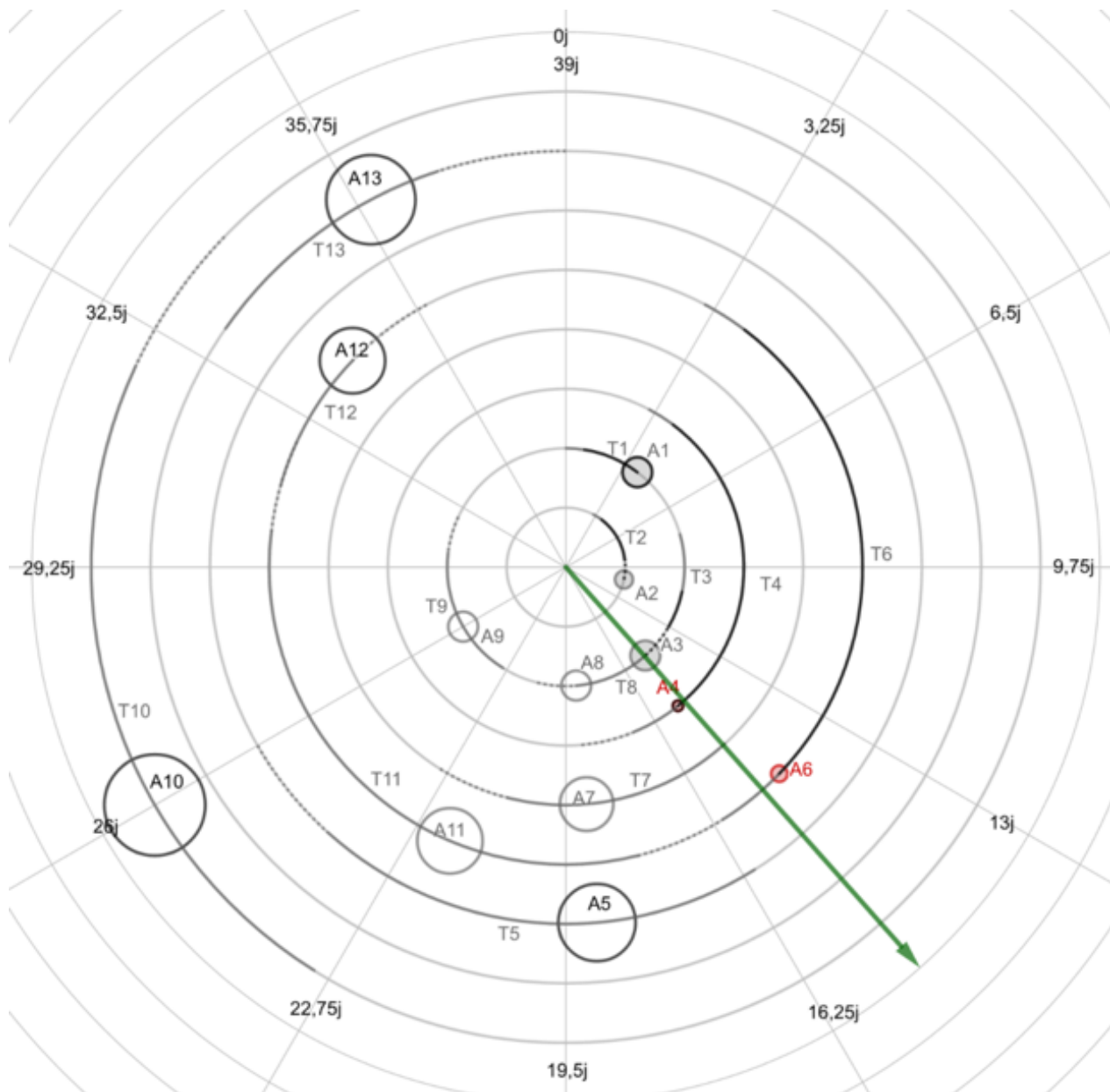


Figure 5.1 Représentation de l'état d'un projet à l'aide d'*Activity Gazer*



SPI : 0,533

Ressources disponibles :
 A : 3, 35\$/h, 70\$/h suppl.
 B : 2, 32\$/h, 50\$/h suppl.
 C : 1, 30\$/h, 45\$/h suppl.

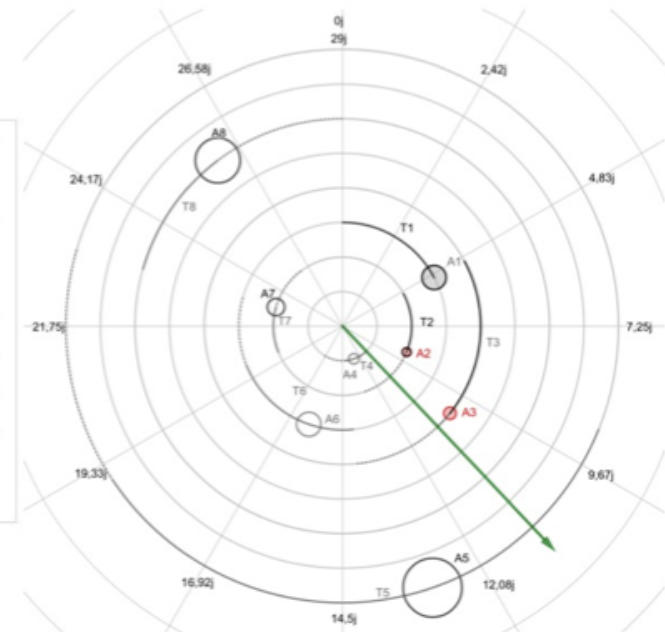
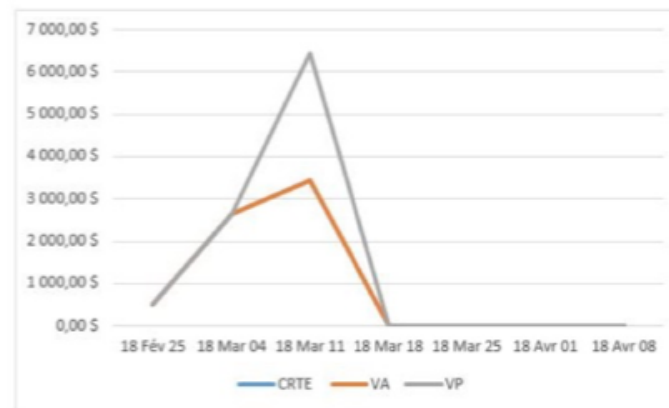


Figure 5.2 Représentation C utilisée lors de l'enquête

5.3.2 Participants

29 participants ont été recrutés pour cette étude, soit 24 hommes et 5 femmes. Ils n'étaient pas rémunérés pour cette étude. Ils devaient compléter cette étude à l'ordinateur via une adresse web qui leur était fournie. Le logiciel *Qualtrics* a été utilisé pour collecter les données.

Les participants peuvent être séparés en deux groupes : le premier correspond aux étudiants inscrits dans un cours de gestion de projet donné aux grades supérieurs d'une faculté de génie canadienne ; le reste des participants peut être regroupé dans le second. Les deux groupes diffèrent sur le temps de présentation de la théorie sur le contrôle de projet.

Les chercheurs ont dû utiliser plusieurs séances de collecte dans le but d'obtenir un échantillon plus représentatif. Effectuer une collecte auprès d'un groupe classe a permis d'obtenir un grand nombre de participants en un laps de temps assez court. Par contre, la population du groupe était assez homogène sur l'expérience et sur le type d'études en cours. Les participants du deuxième groupe présentent un profil de recherche avec une faible expérience antérieure en gestion de projets (0-3 ans). Par contre, trois collectes ont été nécessaires pour que les six participants de ce deuxième groupe effectuent cette enquête.

5.3.3 Déroulement de l'enquête

Le groupe classe a reçu un cours théorique de deux heures sur le contrôle de projet. Par la suite, des explications sur l'étude en elle-même leur ont été fournies.

Les autres participants ont reçu le même matériel théorique, mais, comme le maximum de participants simultanés était de quatre, le rappel théorique pouvait être présenté en 30 minutes au lieu de deux heures. Les explications sur l'expérimentation leur étaient alors fournies. L'enquête en soi durait environ 30 minutes, et ce pour les deux groupes.

Le questionnaire consiste à déterminer, pour chaque point de contrôle, la meilleure action corrective pour ramener le projet dans les temps au moindre coût possible. Pour chaque point de contrôle, trois ou quatre actions correctives étaient proposées. Il y avait toujours une action idéale, une action à efficacité moyenne, une action impossible à mettre en place et « ne rien faire ». Le participant était invité à sélectionner l'action corrective de son choix et indiquer, sur une échelle de Likert à cinq niveaux, son niveau de confiance en sa décision.

Les participants étaient confrontés aux trois représentations discutées plus haut dans un ordre contrebalancé. À chaque point de contrôle, un tiers des participants utilisait chaque représentation. Finalement, après les trois points de contrôle, des questions sociodémographiques étaient posées.

5.3.4 Opérationnalisation des mesures

Les données collectées consistent en l'action corrective choisie, le temps d'analyse et le niveau de confiance du participant pour chaque point de contrôle. Aussi, l'outil d'enquête web calculait le temps de consultation que chaque participant passait sur chaque page web. Comme un seul point de contrôle était présenté par page, ce temps est considéré par les chercheurs comme le temps de lecture, d'analyse et de décision du participant.

5.3.5 Stratégie d'analyse

Afin de vérifier les hypothèses de recherche, une analyse des corrélations entre les différentes variables dépendantes recueillies et les variables de contrôle sera effectuée. Par la suite, le test non-paramétrique de Mann-Withney permettra de vérifier si les résultats diffèrent selon la représentation utilisée. L'analyse par régression linéaire permettra d'évaluer la signifiante des différentes données recueillies sur le temps de réponse, la performance des participants et leur niveau de confiance.

Finalement, les analyses de corrélation et de régression linéaires seront effectuées en séparant les réponses obtenues en fonction de l'efficacité du diagnostic posé par les participants.

5.4 Résultats

La présente section décrit les résultats obtenus à l'aide de l'enquête décrite à la précédente section. Premièrement, une analyse descriptive des résultats est faite. Par la suite, les corrélations présentes entre les différentes variables seront analysées ainsi que les régressions linéaires pouvant expliquer les données obtenues. Finalement, une analyse plus poussée est effectuée en différenciant les choix efficaces des réponses inefficaces.

5.4.1 Statistiques descriptives

Le tableau 5.1 montre quelques statistiques descriptives pour les variables recueillies. Le score est attribué à l'action corrective choisie par le participant. L'action corrective la plus efficace se voit attribuer un score de 1, l'action corrective à efficacité moyenne, un score de 0,5 et les autres options, un score de 0. La confiance du participant en son choix est notée sur une échelle de Likert à 5 niveaux. Le temps y est noté en secondes. On peut remarquer dans le tableau 5.1 que le score moyen se situe, pour les trois points de contrôle, entre 0,276 (point de contrôle 2) et 0,534 (point de contrôle 1). C'est-à-dire que la moyenne des résultats correspond à la réponse qui donnait une solution à efficacité moyenne. Pour les trois points de contrôle,

la réponse à efficacité maximale ainsi que les réponses inefficaces ont été sélectionnées.

Les fréquences d'observation des scores et des niveaux de confiance sont présentées aux tableaux 5.2 et 5.3 respectivement. Le nombre de bonnes et de moyennes réponses représente la moitié ou plus des répondants à l'exception du deuxième point de contrôle.

Pour le niveau de confiance, le niveau moyen est similaire pour les trois points de contrôle. De plus, la médiane y est identique. Comme on peut l'observer au tableau 5.3, l'option 4, « Bien », est toujours la plus fréquente. La majorité des répondants ont dit avoir un niveau de confiance supérieur ou égal à 4 pour les trois points de contrôle.

Pour ce qui est des temps de réponse, les moyennes aux trois points de contrôle vont en diminuant. Les médianes et les écarts-types des temps de réponse suivent la même tendance.

La diminution des temps de réponse peut être la manifestation d'un phénomène d'apprentissage au fur et à mesure de l'avancement de l'expérimentation. Un coup d'œil à l'évolution des minimas des temps de réponse aux trois points de contrôle pourrait aussi apporter l'hypothèse d'un phénomène de désengagement des participants.

Une analyse des données du tableau 5.1 montre que le temps au point de contrôle 1 n'est pas réparti selon une distribution normale. En effet, le coefficient d'asymétrie et le kurtosis de cette variable sont trop éloignés des valeurs d'une distribution normale. Le logarithme naturel des données de temps de réponse au point de contrôle 1 sera donc utilisé pour la suite des analyses statistiques de cette section.

5.4.2 Corrélations

Pour la suite de l'analyse, les représentations seront notées comme suit :

- A. Diagramme de Gantt, Activity Gazer et données sur les ressources ;
- B. Diagramme de Gantt, courbe en S et données sur les ressources ;

Tableau 5.1 Statistiques descriptives

	Contrôle 1			Contrôle 2			Contrôle 3		
	Score	Conf.	Temps	Score	Conf.	Temps	Score	Conf.	Temps
Moyenne	0,534	3,410	320,827	0,276	3,410	243,515	0,362	3,480	110,860
Médiane	0,500	4,000	244,651	0,000	4,000	215,588	0,500	4,000	85,386
Écart-type	0,422	0,907	296,032	0,435	0,983	154,804	0,376	1,056	90,367
Asymétrie	-0,141	-0,650	3,588	1,055	-0,470	1,255	0,514	-0,733	1,314
Kurtosis	-1,748	0,601	15,861	-0,845	0,002	1,086	-1,001	0,497	1,779
Maximum	1,000	5,000	1669,368	1,000	5,000	640,368	1,000	5,000	375,550
Minimum	0,000	1,000	40,841	0,000	1,000	40,017	0,000	1,000	4,790

Tableau 5.2 Fréquence des scores

Score	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
0	10	20	13
0,5	7	2	11
1	12	7	5

Tableau 5.3 Fréquence des niveaux de confiance

Confiance	Contrôle 1	Contrôle 2	Contrôle 3
1	1	1	2
2	3	4	2
3	10	9	9
4	13	12	12
5	2	3	4

C. Diagramme de Gantt, Activity Gazer, courbe en S et données sur les ressources.

Au point de contrôle 1, les hommes ont pris moins de temps pour analyser les données qui leur sont présentées que les femmes ($p < 0,05$). Les participants inscrits aux premiers et deuxièmes cycles semblent avoir une meilleure confiance en leur décision ($p < 0,05$).

Au point de contrôle 2, les hommes prennent aussi moins de temps pour analyser les données que les femmes ($p < 0,01$). Les participants ayant une certaine expérience en gestion de projet ont une meilleure confiance en leur décision que leurs collègues pour lesquels le suivi de projet est une nouveauté ($p < 0,05$).

Au point de contrôle 3, plus les participants ont pris de temps pour répondre, plus leur score est élevé ($p < 0,05$). La représentation A donne moins confiance aux participants envers leur décision ($p < 0,05$). Les étudiants des premiers et deuxièmes cycles semblent ici aussi avoir plus confiance en leur réponse que leurs collègues du troisième cycle ($p < 0,05$). Finalement, les participants manifestant une certaine expérience en contrôle de projet semblent avoir mieux performé au troisième point de contrôle ($p < 0,005$).

5.4.3 Ordre des visualisations

Le groupe de participants a été séparé en trois, chacun des sous-groupes s'étant vu attribuer une version différente du questionnaire. Celui-ci variait dans l'ordre des représentations visuelles utilisées. Les données illustrées et les actions correctives proposées restant les mêmes. L'ordre des représentations utilisé était donc le suivant :

1. Représentations A, B et C ;
2. Représentations B, C et A ;
3. Représentations C, A et B

Le tableau 5.4 présente les moyennes des différentes variables recueillies ainsi que le résultat du test de Mann-Whitney permettant de déterminer si les moyennes de deux groupes sont significativement différentes. On peut y voir que seule la confiance au point de contrôle 3 entre les versions 2 et 3 est significativement différente. La représentation B a donné une meilleure confiance aux participants que la représentation A. Pour toutes les autres moyennes, la différence est non significative. Le T-Test permet d'obtenir les mêmes résultats que le test de Mann-Whitney.

5.4.4 Régressions linéaires

L'analyse par régression linéaire permet de voir l'influence prédictive des différentes variables indépendantes sur le score, le temps de réponse ou le niveau de confiance des participants. Afin d'obtenir des régressions significatives, les réponses dont le score est nul ont été exclues de l'analyse par régression linéaire.

En posant une régression linéaire pour expliquer le logarithme naturel du temps de réponse, la forme de cette régression est de type R^2 . Le premier facteur expliquant cette variable est le point de contrôle répondu. Le coefficient β_1 étant négatif, plus le participant avance dans la réalisation de l'expérience, plus le logarithme naturel du temps de réponse a tendance à diminuer. Il est donc possible de dire que les participants ont pris moins de temps à répondre plus ils avançaient dans le questionnaire. Cela vient appuyer les résultats obtenus par les statistiques descriptives (section 5.4.1) et les hypothèses qui y sont formulées.

Tableau 5.4 Moyennes des variables

		Moyennes				Mann-Whitney pour version		
		Général	Version 1	Version 2	Version 3	1,2	1,3	2,3
Score	Contrôle 1	0,534	0,444	0,600	0,550	NS	NS	NS
	Contrôle 2	0,276	0,389	0,100	0,350	NS	NS	NS
	Contrôle 3	0,362	0,500	0,300	0,300	NS	NS	NS
Confiance	Contrôle 1	3,41	3,33	3,20	3,70	NS	NS	NS
	Contrôle 2	3,41	3,11	3,30	3,80	NS	NS	NS
	Contrôle 3	3,48	3,56	2,90	4,00	NS	NS	$p \leq 0,05$
Temps	Contrôle 1	320,827	309,219	259,383	392,718	NS	NS	NS
	Contrôle 2	143,515	242,423	183,519	304,494	NS	NS	NS
	Contrôle 3	110,861	124,892	96,659	112,434	NS	NS	NS

Le fait d'être un homme est aussi significatif dans la régression. Le coefficient β_2 étant lui aussi négatif, les hommes ont tendance à prendre moins de temps que les femmes à répondre au questionnaire. Cela vient appuyer les corrélations observées entre la variable indépendante dMale et le temps aux points de contrôle 1 et 2. L'influence de la représentation utilisée au point de contrôle est non significative. La régression prend donc la forme suivante :

$$\ln(Temps) = \beta_1 * PdC + \beta_2 * dMale + \beta_0 \quad (5.1)$$

Les paramètres de cette équation sont donnés au tableau 5.5.

Au niveau du score, la régression linéaire est aussi de forme R^2 . Le fait d'être étudiant au premier cycle ou deuxième cycle apporte le seul paramètre significatif pour expliquer le score, donnant l'équation :

$$Score = \beta_1 * dDECBacc + \beta_0 \quad (5.2)$$

Les paramètres de cette équation sont donnés au tableau 5.6.

Le niveau de confiance peut être représenté lui aussi par une régression linéaire de type R^2 . La variable indépendante étant facteur de cette régression est le fait d'être un participant inscrit au premier ou deuxième cycle. La forme de l'équation est donc la suivante :

$$Confiance = \beta_1 * dDECBacc + \beta_0 \quad (5.3)$$

Les paramètres de la régression linéaire sur le niveau de confiances des participants sont fournis au tableau 5.7.

5.4.5 Diagnostic efficace

Pour chacun des trois points de contrôle, une ou deux options n'étaient pas applicables, soit par manque de ressource ou s'appliquaient sur des activités n'ayant aucun impact sur le

Tableau 5.5 Caractéristiques des paramètres de la régression sur le logarithme naturel du temps

Paramètres	β_1 Point de contrôle	β_2 dMale	β_0
Coefficient	-0,450	-0,611	6,243
Écart-type	0,111	0,287	0,360
p-value	0,000	0,044	0,000

Tableau 5.6 Caractéristiques des paramètres de la régression sur le score

Paramètres	β_1 dDECBacc	β_0
Coefficient	0,199	0,822
Écart-type	0,076	0,139
p-value	0,015	0,000

Tableau 5.7 Caractéristiques des paramètres de la régression sur le niveau de confiance

Paramètres	β_1 dDECBacc	β_0
Coefficient	0,647	2,418
Écart-type	0,301	0,297
p-value	0,043	0,000

chemin critique du projet. Ces réponses se voyaient attribuer un score de 0. Deux groupes peuvent alors être analysés : le groupe ayant posé un diagnostic efficace (score > 0) et le groupe ayant posé un diagnostic inefficace (score $= 0$). La distribution des réponses par point de contrôle et par représentation est donnée au tableau 5.8.

Lorsque les réponses inefficaces sont exclues des analyses, les corrélations suivantes sont présentes : au premier point de contrôle, les hommes semblent prendre moins de temps pour poser un diagnostic ($p < 0,05$). Aucune corrélation n'est présente au deuxième point de contrôle.

Au troisième point de contrôle, il y a une corrélation significative entre le temps d'analyse et le score ($p < 0,05$). Aussi, les participants exposés à la représentation C ont tendance à mieux performer ($p < 0,005$) alors que ceux soumis à la représentation B performaient moins bien

Tableau 5.8 Nombre de diagnostics efficaces et inefficaces par représentation et point de contrôle

Représentation	Efficace			Non efficace		
	Point de contrôle			Point de contrôle		
	1	2	3	1	2	3
A	5	4	5	4	5	4
B	7	1	5	3	9	5
C	7	4	6	3	6	4

($p < 0,05$). Finalement, les participants possédant une expérience antérieure en contrôle de projet ont tendance à mieux performer que leurs collègues novices en la matière ($p < 0,05$).

À l’opposé, si on analyse uniquement les réponses inefficaces, les corrélations suivantes apparaissent : au premier point de contrôle, les participants des premiers et deuxièmes cycles avaient plus confiance en leur réponse alors qu’ils ont eu un score nul ($p < 0,05$) ; les mêmes participants ont plus été exposés à la représentation A ($p < 0,05$) qu’à la représentation B ($p < 0,01$).

Au deuxième point de contrôle, les participants ayant choisi une action corrective non efficace à l’aide de la représentation B ont pris moins de temps pour prendre leur décision ($p < 0,05$) alors que leurs collègues exposés à la représentation C ont pris plus de temps ($p < 0,05$). Les hommes ayant choisi une action corrective non efficace ont pris moins de temps pour prendre leur décision à ce point de contrôle ($p < 0,05$).

Au troisième point de contrôle, les participants ayant choisi une action corrective non efficace exposés à la représentation A avaient moins confiance en leurs réponses ($p < 0,01$). Ceux soumis à la représentation B avaient plus confiance ($p < 0,05$). Les hommes prennent moins de temps à prendre leur décision ($p < 0,05$). Les étudiants des premiers et deuxièmes cycles ont eu plus confiance en leur réponse ($p < 0,05$) et n’ont pas été exposés à la représentation A ($p = 0$). Finalement, les participants au profil recherche prennent plus de temps pour effectuer leur analyse ($p < 0,05$), et ce, même si elle est erronée.

5.5 Discussion

5.5.1 Corrélations

Aucune corrélation n’est présente aux trois points de contrôle. Par contre, la relation entre les hommes et le temps d’analyse ainsi que les étudiants de premier et deuxième cycle et la confiance sont deux corrélations qui sont présentes à deux des trois points de contrôle. Les conclusions quant aux liens pouvant exister entre les variables sont donc assez limitées. Il est par contre possible de dire que les hommes semblent prendre moins de temps à analyser les données qui leur sont présentées et que les étudiants de premier et deuxième cycle ont plus confiance en leurs capacités d’analyse. Cette deuxième affirmation ne signifie pas pour autant que ces étudiants ont de meilleurs scores que leurs collègues du troisième cycle. En effet, la corrélation du cycle d’études et du score n’est pas significative, et ce, pour aucun des points de contrôle.

5.5.2 Diagnostic efficace

Ici encore, aucune corrélation sur les groupes ayant posé un diagnostic efficace ou non n'est présente aux trois points de contrôle. Par contre, certaines corrélations sont nouvelles par rapport à une analyse de toutes les données. Au troisième point de contrôle, les participants ayant posé un diagnostic efficace et exposés à la représentation C ont obtenu un meilleur score que ceux exposés à la représentation B. Une hypothèse possible serait donc que la représentation C (diagramme de Gantt, Activity Gazer, courbe en S et données sur les ressources) permet d'obtenir un meilleur score que la représentation B (sans Activity Gazer), conformément à la première hypothèse de recherche. Par contre, comme cette corrélation n'est pas présente à tous les points de contrôle, une autre enquête serait nécessaire afin d'obtenir plus de données.

Pour les participants ayant choisi des actions correctives inefficaces, au premier point de contrôle, on remarque que les étudiants aux premiers et deuxièmes cycles ont plus été exposés à la représentation A et qu'ils n'ont pas été exposés à la représentation B. Ici aussi, il s'agit d'observations pouvant rejoindre la première hypothèse de recherche, mais, au troisième point de contrôle les étudiants des premiers et deuxièmes cycles ayant choisi une réponse inefficace n'ont pas été exposés à la représentation A. Cette contradiction ne permet donc pas d'obtenir de conclusions.

Au deuxième point de contrôle, les participants ayant choisi une réponse inefficace ont pris moins de temps pour prendre leur décision à l'aide de la représentation B et avaient plus tendance à prendre de temps à l'aide de la représentation C. Cette observation vient rejoindre la deuxième hypothèse de recherche, mais, comme elle ne concerne que le deuxième point de contrôle, aucune conclusion ne peut être tirée.

Finalement, au troisième point de contrôle, la représentation B donne plus confiance, et ce, même si elle mène à une décision erronée, rejoignant la troisième hypothèse de recherche, mais n'étant pas sur une quantité suffisante de données pour pouvoir tirer des conclusions.

En bref, l'analyse des données en effectuant une ségrégation basée sur l'efficacité de l'action corrective choisie par le participant à permettre au projet de respecter son échéancier au moindre coût a permis de faire ressortir certaines tendances. Par contre, ces tendances ne sont pas présentes sur les trois points de contrôle du projet présenté aux participants. Il n'est donc pas possible, à l'aide des données recueillies, d'établir des conclusions confirmant les hypothèses de recherche initialement posées. Une enquête comprenant un plus grand nombre de cas présentés aux participants permettrait d'obtenir un échantillon statistique plus important et de tirer des conclusions plus nettes.

5.6 Conclusion

Le présent article visait à présenter les résultats de la première phase expérimentale d'une étude visant à démontrer les liens entre la représentation visuelle de l'état d'un projet et le processus décisionnel du planificateur.

Les résultats de cette première phase expérimentale ne permettent pas d'obtenir de conclusions formelles par rapport à l'objectif de cet article. En effet, les résultats obtenus ne sont pas présents pour les trois projets présentés aux participants. Par contre, certaines tendances en lien avec la question de recherche sont observables. Une des représentations, utilisant le diagramme de Gantt, la courbe en S et Activity Gazer, permet d'obtenir un meilleur score lorsqu'on analyse uniquement les réponses efficaces à réorienter le projet vers le respect de l'échéancier pour un des points de contrôle du projet. Lorsqu'on analyse les réponses inefficaces, on peut voir une différence sur le temps d'analyse à un des points de contrôle entre la représentation complète et celle où Activity Gazer est absente. À un autre des points de contrôle, pour le même groupe de données, on peut voir une différence sur la confiance du répondant selon la représentation exposée.

Ne pouvant tirer de conclusions à l'aide des données obtenues lors de cette première collecte, une deuxième enquête est nécessaire. Celle-ci devra présenter plusieurs cas aux participants afin d'obtenir un échantillon statistique plus grand.

5.7 Remerciements

Cette étude est financée par la Chaire Jarislowsky/SNC-Lavalin en gestion de projets internationaux et par le CRSNG sous la subvention CRSNG RGPIN 06010-2014. Nous les remercions de leur support.

CHAPITRE 6 ARTICLE 2 - IMPACT OF A VISUAL DECISION SUPPORT TOOL IN PROJECT CONTROL: A COMPARATIVE STUDY USING EYE TRACKING

Cet article a été soumis à la revue *Automation in Construction*. Les annexes de cet article sont reproduites aux annexes B à D de ce mémoire.

Auteurs Jérôme Isac, Robert Pellerin, Pierre-Majorique Léger

Abstract This paper presents the results of a comparative study where two decision support tools in project control have been selected: the S-Curve and *Activity Gazer*. The objective of the research is to determine if the visual decision tool in project control has an impact on the project planner's decision. Using eye tracking, a within-subject experiment was conducted with 17 participants where they were asked to make a diagnostic on a project portfolio. Results show that, despite the fact that a representation using the S-Curve helps to reduce the time of diagnostics, both tools seem to have the same effect on the quality of the diagnostic by the participant. Also, we find that a representation where *Activity Gazer* is present is less mentally demanding than a representation where the S-Curve is present. These results suggest that the S-Curve could be improved to reduce the mental charge needed to analyse it and that new visualization tools could help project planners in their daily work.

Keywords project control; visualisation; eye tracking; *Activity Gazer*; project management; decision support

6.1 Introduction

The project planner has plenty of tools that can be used in his daily work. Montes-Guerra *et al.* [6] counted and critiqued 99 of them. Currently, it is the role of the planner to choose the correct tool, technique or methodology for the task he is working on. When you consider project control, there are only few visual tools to help the planner in the diagnosis of a project [4,19]. The tools mostly used in North America are the Gantt chart and the S-Curve, as described by the PMBOK [2]. These tools help the planner to conduct the performance analysis of their projects, focusing on the cost and schedule control.

These two tools have been used by project planners for many years. For example, the S-Curve, part of the earned value methodology (EVM), was developed by the U.S. Department

of Defense in 1967 [18]. In recent years, the research aims mainly on the improvement of forecasting the final cost or duration calculated by the EVM, as reflected in literature reviews [4,19]. For examples, see the following works: [35–37].

On the visual side of improvements proposed, Tory *et al.* has addressed the problem of comparing different schedule options for the scheduling or rescheduling task [12]. But before rescheduling a project, one has to determine if it is necessary or not to do so. Recent research has developed a new visualization tool for supporting the project planners in their diagnostic work of an active project: *Activity Gazer* [21]. The objective of Lee and Rojas was to create, in an intuitive visual environment, a visualization tool to help project managers "*to quickly identify areas of concern during project monitoring and control and thereby enhances their efficiency and optimizes their performance*" [21].

The advent of this conceptual framework has led the following question: does the visual decision tool used in project control have an impact on the decision of the project planner? To measure the impact of a visual decision support tool in project control, four objectives could be defined:

- O1 - Determine the impact of a visual decision support tool in project control on the quality of the decision;
- O2 - Investigate the impact of a visual decision support tool in project control on the decision time;
- O3 - Study the impact of a visual decision support tool in project control on the perceived cognitive load of the project planner;
- O4 - Qualify the cognitive load induced on the project planner by the visual decision support tools.

In the next section, this paper presents the necessary background about visual decision support tools in project control and their validation studies. Then, the methodology used is presented in Section 6.3 followed by the results in Section 6.4. Section 6.5 will present a discussion showing the implications of the results. The paper will conclude in Section 6.6.

6.2 Background

In terms of visual tools in project control, the Gantt chart and the S-Curve should come immediately to mind. The Gantt charts were developed in 1919 as a group of charts to illustrate the performance of a manufacturer by representing the usage of machinery, employees and the production progress on a timeline [10]. Since then, this tool has become omnipresent for project control in many fields with very little or no adaptation at all [38].

One of the tools derived from the Gantt chart has been developed by Luz and Masoodian [11]. It consists of a temporal mosaic for a better use of space, especially on the screen, as the Gantt chart was originally developed for a paper medium [11]. They performed a study to validate their proposition where participants were presented a Gantt chart or a temporal mosaic and were asked to interpret some data from the charts as "*No more than 3 tasks should be scheduled for the same day. Is this a problem with the current plan?*." The answers were noted on accuracy, time to answer and perceived difficulty to answer.

Other visual tools were developed by Tory *et al.* [12]. These tools could be divided in three categories:

- graphical representation of constraint types;
- representation of network chains and
- comparison of alternatives for schedules.

They tested their propositions with visual inspection technique [15] and a user-based study [17]. This user-based study was aimed to compare different schedules using traditional techniques or newly developed ones. The tasks performed by participants are comparable to those of [11]. The answers were noted on accuracy and time to answer.

Since 1967, the S-Curve has been used to assure the cost and schedule control of projects, as the Gantt chart and the techniques of the EVM, [2]. A majority of research of the S-Curve aims toward a better evaluation of the final cost, or duration of the project [4, 19]. For the visual representation, Demachkieh and Abdul-Malak [39] made a review of the literature where they show that most of the studies where graphical representation is discussed containing three attributes of the EVM: actual cost of work performed (ACWP), budgeted cost of work scheduled (BCWS) and budgeted cost of work performed (BCWP). A graphical outcome made its appearance in 2010 with a new index: the forecast budgeted cost for work scheduled (FBCWS) [20]. Liu and Su present the index, but no application of it or case study where the FBCWS curve is used were found.

Activity Gazer is a new conceptual framework allying elements of the Gantt chart and indexes of the EVM [21]. In this model, a project can be represented like a solar system where activities orbit on different levels. Their size is correlated with the remaining budget of the activity and their colour depends on the selected index and the thresholds fixed by the user. Their framework was presented to a panel of experts during the development stage to receive their comments and upgrade the framework. On a later user-based study, another group of experts were asked to perform basic tasks of project monitoring and identify discrepancies between the planned and effective progress. They were also asked to suggest corrective actions to bring back the project the closest possible to its baseline. The data collected was aimed

to assess the usefulness of *Activity Gazer* and receptiveness of the potential users towards the new tool.

All these visual tools could be considered as help for the project planner for decision support. Their respective authors have tested that their tool enables the user to perform the classical task it was built for, and if it performs better than the original tool. But the control stage of a project includes a diagnostic stage, where the planner has to examine the state of the project and decide whether a corrective action should be engaged, such as rescheduling, where tools developed by Tory *et al.* or Luz and Masoodian could intervene.

Other project control tools have not been tested yet to measure how they influence the planner's decision process. This study aims to fill part of this gap as it is designed to compare the influence of the S-Curve and *Activity Gazer* on the decision of a project planner performing a performance review.

6.3 Methodology

To answer the research question, a within-subject experimentation was conducted with 17 participants in a usability laboratory. Participants were asked to analyze a project portfolio and decide, for each project, whether or not a rescheduling is necessary to respect the project's deadline. The experiment was approved by the ethic committee of the institution.

6.3.1 Experimental stimuli

The stimulus conception for this study refers to two main visualizations in project control. The first one is the S-Curve developed by the U.S. Department of Defense [18] and described by the PMBOK [2] as a tool of the EVM. The second one is called *Activity Gazer* and was developed by Lee and Rojas [21]. During a preceding phase of this study [28], some problems occurred using this representation. To fix these problems, some modifications were made to the framework of *Activity Gazer* [25]. The augmented visualization is employed in the current study.

Three different kinds of stimuli are used in this study. Those stimuli include respectively these elements:

- Rep. A. Gantt chart, *Activity Gazer*, schedule performance index (SPI) and information about resources;
- Rep. B. Gantt chart, S-Curve, SPI and information about resources;
- Rep. C. Gantt chart, *Activity Gazer*, S-Curve, SPI and information about resources (e.g. at

Figure 6.1).

Further references to the representations in this paper will use the letters here presented, e.g. *Rep. A* or *representation A* refers to the first stimulus described.

For the study, 25 fictive projects were developed. For each one, several project updates were made to obtain a project which is in its execution phase. Each project includes eight to thirteen activities. Projects were updated to be in time, in advance or late when compared with their baseline. The example given at Figure 6.1 is a project that is late compared to his baseline.

Randomly, projects were separated in five groups of five projects. The first three groups presented each five projects of one type of representation. The last two groups included mixed representation. This separation enable the association of questionnaires of the first three groups to a specific type of representation. In total, the 25 projects used:

- 8 representations A;
- 8 representations B and
- 9 representations C.

Within each group, the order of presentations of the project was randomized. The first three groups were counterbalanced for the order of the representation used. For each of these projects, the participant was asked if a rescheduling is necessary to respect the planned end date of the project.

The stimulus was pretested with four participants to assure the duration of the task and the clarity of instructions. The number of stimuli presented was then fixed and some minor wording adjustments were made before the full study.

6.3.2 Participants

Two groups of participants took part in this study. The first one is composed of nine professionals in project management. They were recruited by publicizing the study with the local branch of the Project Management Institute (PMI). Professional participants received a \$40 Amazon gift card for their contribution to the study.

The second group is composed of students involved in a graduate program in project management in a major North American engineering school. They had to be a member of a project management research chair or to have followed or be enrolled in a specific graduate-level project management course. The eight participants of this group received a \$40 gift card of the school's bookstore.

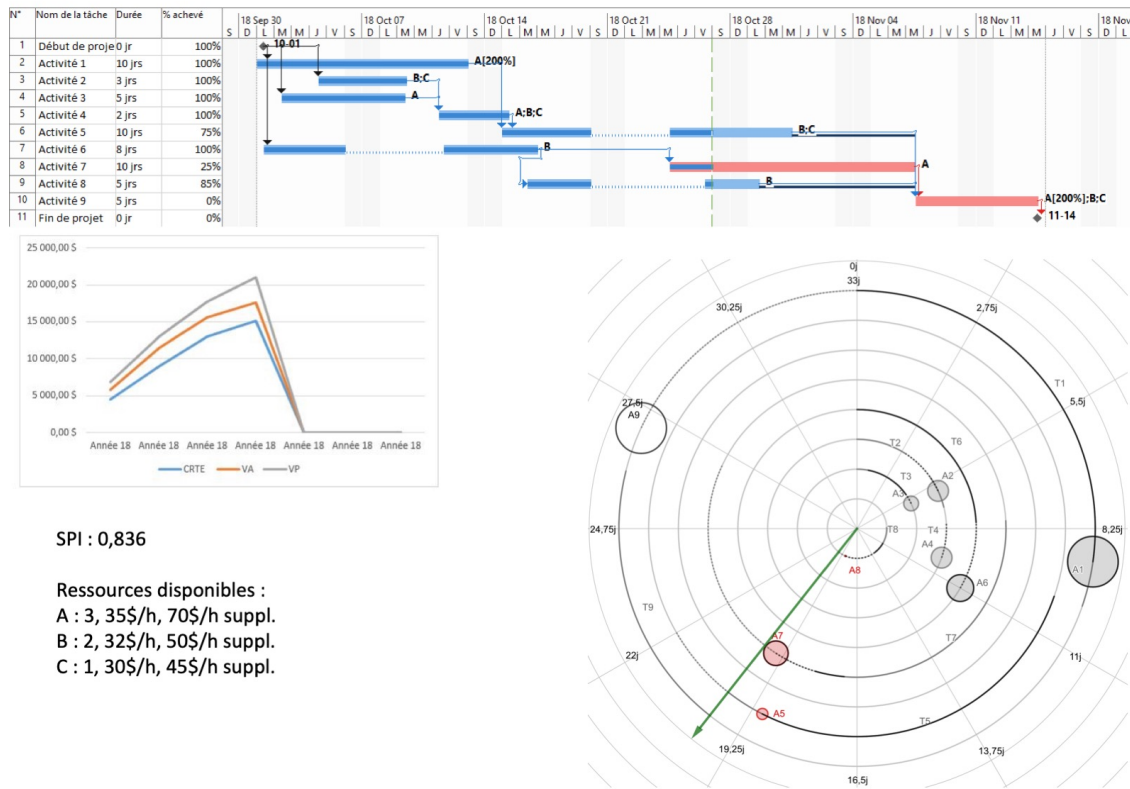


Figure 6.1 Example of a project illustrated with the representation C

6.3.3 Experimental protocol

The study is composed of five parts. First, the participant completes a sociodemographical survey. The second part is composed of two short videos on the project management tools used in the study. In a first video, the Gantt chart, the S-curve and the SPI are presented to assure all participants used the same vocabulary during the study. The second video is a presentation of *Activity Gazer* as defined in [21] and ameliorated in [25].

In the third phase of the study, participant has to complete a test on the notions presented in the two videos. This test is used to confirm the comprehension of participants of the presented videos. As it is also used as a training task, wrong answers are explained to the participant.

The fourth part of the study is the main task and uses the stimulus described in section 6.3.1. It is presented as a project portfolio composed of 25 projects. For each of them, the participant has to answer if, yes or no, the project needs a rescheduling to respect the planned end date of the project.

After each group of five projects of this portfolio, participants are asked to evaluate their perceived cognitive state. The NASA Raw-TLX [40] test was used to do so.

6.3.4 Apparatus and calibration

The eye movement was captured using SMI RED 250 eye-tracker (Red 250, SensoMotoric Instruments GmbH, Teltow, Germany). The sampling frequency was fixed to 60 Hz and a fixation duration threshold of 200 ms [24]. For each participant, a calibration was made at the beginning of the study. This calibration used a 5-point predefined calibration grid. A gaze-position deviation of 0.5° or less was accepted.

6.3.5 Measures

Measures obtained in this study involve different types. For the main task, there was the behavioural response of the participant in each case as if the project presented needs a rescheduling or not. The behavioural response was then compared to the expected response. The expected response for each stimulus was determined by two experts in project control. The quality of the behavioural response could then be stated as 1 if the response coincides with the expected one, and 0 if not. This response also includes the response time which the decision was given.

This study included questionnaires to meet the third objective. The NASA Raw-TLX [40] is commonly used to evaluate the perceived cognitive/work load. This test evaluates six components:

1. mental exigence of the task;
2. physical exigence of the task;
3. temporal exigence of the task;
4. self-perceived performance of the participant in the task;
5. effort for the participant to do the task and
6. perceived frustration of the participant during the task.

These six components are noted on a 0 – 100 scale where 0 represents a low level of the component and 100 a high level.

To characterize the cognitive load induced and the visual attention, a different technique is necessary. Eye tracking was selected. During the evaluation of the project portfolio, eye tracking was used to collect the gaze of participants on the screen. The eye tracking was selected to measure the performance of the participant as it enables the collection of more

precise data than only the reaction time, the accuracy or verbal reports. By its perceptual aspect, eye movements are a way to express the expertise to domain-related patterns or knowledge. The review of Reingold and Sheridan presents these elements applied to chess and radiology [41]. Eye-tracking is also an unconscious way to capture the decision taking process that is not possible to measure with other tools. It is an unobtrusive way to capture data as the participant naturally uses a computer [42]. This technique was used to meet the fourth objective described at the end of the Section 6.1.

As the stimulus and task presented to the participants have some similitudes to the analysis of a chess board or a radiology, the use of eye tracking and expertise theory is appropriated to collect more relevant information. Effectively, each stimulus is a static image. Each case contains a certain amount of information and could be associated to an error detection task.

The eye-tracking software permits the definition of several areas of interest (AOIs). For each case, depending of the representation type, these AOIs are defined:

1. *Activity Gazer*(Rep. A and C);
2. Gantt chart (Rep. A, B and C);
3. S-Curve (Rep. B and C) and
4. SPI (Rep. A, B and C).

For each of those AOIs, the entry time in the area, the first fixation duration, the fixation count and the average fixation duration were collected. Also, for each fixation on a stimulus, the fixation duration, position and pupil diameter were collected. The position of the fixation is defined by the AOI where the fixation is made on the stimulus.

A pupillometry analysis permits the evaluation of the cognitive charge of the task [24]. Holmqvist *et al.* warn about the variation of the luminosity of the room and stimulus that could infer to the diameter of the pupil. The distance between the eye and the eye tracker could also modify the diameter measured. In the present study, the luminosity of the room was controlled and all stimulus were of similar colour and luminosity. The participant was not in a fixed position. Head movements could then infer on the measure. Participants were asked during the study to return in the initial position if they moved from it. The analysis of the pupillometry data keep this possible inference in mind.

6.3.6 Analysis strategy

A correlation analysis combined with regression analysis is made. The first part of the analysis tried to confirm the same hypothesis as the first part of this study [28]: the influence of the visual representation used on the time of analysis of the participant; the performance of the

participant and his confidence on his decision. The confidence level is the fourth parameter evaluated by the NASA Raw-TLX [40]. The analysis was conducted on the six parameters to determine if there is an influence on another parameter than only the confidence level.

A second part of the analysis used the eye tracking data. The fixation count, the average fixation time and the entry time in each AOI were analyzed to determine the significative coefficients.

Finally, the work load of the task was questioned to determine if certain zones or information in the task are more demanding for the participant. The evaluation of the workload was compared the results of the parameters evaluated by the NASA Raw-TLX and the variation of the pupil diameter between the fixations made on each case and the baseline at the beginning of the study.

To assure the normality of the data, when needed, the natural logarithm of a variable was used. The square root or the inverse of the variable may be used if the normality of the variable is not reached with the natural logarithm.

For comparative necessity, as the representation B is the more spread in practice [4], this representation was used as the reference group when appropriate.

6.4 Results¹

6.4.1 Quality of the decision

Each case presented to the participant has a decision associated. The quality of this decision is evaluated and is noted as 1 if it's the expected decision and 0 if not.

A first analysis of the data collected shows that a correlation exists between the order of presentation of the different cases and the quality achieved by the participants (0.219, p-value ≤ 0.001).

A logistic regression, including the order of presentation, is of the form:

$$\begin{aligned} Quality = & \beta_1 \times Order + \\ & \beta_2 \times dPro + \beta_3 \times dRepA + \\ & \beta_4 \times dRepC + \beta_0 \end{aligned} \tag{6.1}$$

For the quality, the influence of the type of representation or being a professional is not

1. The analysis of this section was made using *Stata* software. All statistics are presented in appendix. To ease the reading, only significant results will be presented in the body of the paper.

significant. The influence of the order of presentation is significant with a coefficient of 0.069, $p\text{-value} \leq 0.001$.

6.4.2 Response time

The response time is evaluated as the moment, in milliseconds, when the participant makes his decision as whether the project needs a replanification.

A negative correlation appears between the natural logarithm of the response time and the representation B (-0.145, $p\text{-value} \leq 0.001$), the order of presentation (-0.310, $p\text{-value} \leq 0.001$) and the quality of the decision (-0.088, $p\text{-value} \leq 0.1$).

A linear regression analysis for the response time is of the following form:

$$\begin{aligned} \ln(\text{ResponseTime}) = & \beta_1 \times \text{Order} + \\ & \beta_2 \times dPro + \beta_3 \times dRepA + \\ & \beta_4 \times dRepC + \beta_5 \times \text{Quality} + \beta_0 \end{aligned} \quad (6.2)$$

The significant parameters of this equation are shown in Table 6.1. It should be noted that the coefficients of β_3 (0.254, $p\text{-value} \leq 0.01$) and β_4 (0.279, $p\text{-value} \leq 0.01$) are positive and seems to be of similar values.

As mentioned, there is a correlation between the natural logarithm of the response time and the quality achieved by the participant. But the quality is not a significant factor of the regression 6.2. Neither is the fact of being a professional in project management.

Table 6.1 Significant parameters of the linear regression for the natural logarithm of the response time (Equation 6.2)

Parameter	β_1 Order	β_3 Rep. A	β_4 Rep. C	β_0
Coefficient	-0.036	0.254	0.279	10.614
p-value ^a	****	***	***	****

^a For the p-values: * : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ;
*** : ≤ 0.01 ; **** : ≤ 0.001

6.4.3 Perceived cognitive and work load

The perceived cognitive and work load is evaluated with the NASA Raw-TLX. The questionnaire evaluates six components, as mentioned in Subsection 6.3.5.

For the linear regression analysis of the components of the Raw-TLX, the general equation is of the following form:

$$\begin{aligned}
 TLX = & \beta_1 \times Order + \\
 & \beta_2 \times dPro + \beta_3 \times dRepA + \\
 & \beta_4 \times dRepC + \beta_0
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

Five of the six components of the NASA Raw-TLX are not correlated with a representation. The regression of Frustration as evaluated by the NASA Raw-TLX is the only regression that includes one of the representations. The significant parameters of this regression are presented in Table 6.2.

It is important to observe that the representation A induced a reduced perceived frustration to the participant than the representation B. This perceived frustration is then reduced by more than 5%, with a p-value ≤ 0.05 .

6.4.4 Induced cognitive load

The induced cognitive load could be evaluated with several indicators measured during an eye-tracking study. Those factors are the count of fixations in a designed AOI, the average fixation duration on an AOI, the entry time in an AOI, the dwell time and glances count in an AOI. Another factor is the variation of the diameter of the pupil of the participant during the fixations.

Table 6.2 Significant parameters of the linear regression of the Frustration

Parameter	β_1 Order	β_3 Rep. A	β_0
Coefficient	-0.769	-5.383	40.435
p-value ^a	***	**	****

^a For the p-values:

* : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ;

* ** : ≤ 0.01 ; * * * * : ≤ 0.001

Fixation count

There is a correlation between being a professional and the natural logarithm of the fixation count made on the four AOIs considered. Those correlations are presented in Table 6.3.

For each of the AOI presented in Section 6.3.5, a regression analysis, based on the general form of the Equation 6.4, is done for the fixation count. For the four AOIs evaluated, no significant factor is part of the regression.

$$Y = \beta_1 \times Order + \beta_2 \times Quality + \beta_3 \times dPro + \beta_0 \quad (6.4)$$

When you consider the data for all fixations made on each stimulus, another regression analysis could be done. It's of the following form :

$$\begin{aligned} Z = & \beta_1 \times Score + \\ & \beta_2 \times Order + \beta_3 \times dRepA + \\ & \beta_4 \times dRepC + \beta_5 \times dPro + \\ & \beta_6 \times AG + \beta_7 \times Gantt + \\ & \beta_8 \times S - Curve + \beta_9 \times SPI + \beta_0 \end{aligned} \quad (6.5)$$

This regression analysis shows that the AOI has an impact on the fixation count for the AOIs listed in the Table 6.4. The impact of a good diagnostic, the expertise or the representation type is not significant for the fixation count on a stimulus.

Fixation duration

For each fixation in an AOI, the duration is evaluated. There is a correlation between being a professional and the natural logarithm of the average fixation duration in the considered

Table 6.3 Correlations for the fixation count

	<i>Activity Gazer</i>	Gantt	S-Curve	SPI
dPro	-0.209	-0.110	-0.226	-0.197
p-value ^a	****	**	****	****

^a For the p-values: * : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ;

*** : ≤ 0.01 ; **** : ≤ 0.001

Table 6.4 Significant parameters of the regression of the fixation count

	β_2 Order	β_6 <i>Activity Gazer</i>	β_7 Gantt chart	β_9 SPI	β_0
Coefficient	-0.364	-9.298	-4.864	-11.700	19.542
p-value ^a	****	****	****	****	****

^a For the p-values: * : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ; *** : ≤ 0.01 ; **** : ≤ 0.001

AOIs. Those correlations are presented in Table 6.5.

It should be noted that all the significative correlations are negative and are linked to the fact of being a professional in project management. Also, it should be observed that the average fixation duration on the AOI of the Gantt chart is not correlated with being a professional.

The significant factors in the regressions of the general form of the Equation 6.4 explaining the average fixation duration in the AOI, except the order of presentation, are, for the following AOIs:

- *Activity Gazer*: Score, -0.206, p-value ≤ 0.1 .
- S-Curve: dPro, -0.684, p-value ≤ 0.1 .

When considering all fixations made on a stimulus, regression analysis of the general form of Equation 6.5 on the natural logarithm of the average fixation duration shows that the AOI fixed has an impact for the following AOIs:

- Gantt chart, -0.127, p-value ≤ 0.01 and
- SPI, 0.146, p-value ≤ 0.01 .

Entry time in AOI

The entry time is noted as the moment where the gaze of the participant enter a specified AOI. There is a correlation between being a professional and the natural logarithm of the

Table 6.5 Correlations for the average fixation duration

	<i>Activity Gazer</i>	S-Curve	SPI
dPro	-0.101	-0.212	-0.162
p-value ^a	*	****	****

^a For the p-values: * : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ;
* * * : ≤ 0.01 ; * * * * : ≤ 0.001

entry time in the AOI of *Activity Gazer* (0.124, p-value ≤ 0.05). There is also a link between the score and the natural logarithm of the entry time in the AOI of the Gantt chart (-0.253, p-value ≤ 0.001).

For each AOI, there is no significant factor in the regressions explaining the entry time in the AOIs with the exception of the constant of the equation and the order of presentation of the cases for the AOI of the S-Curve.

Dwell time in AOI and glances count

The dwell time is defined as the time elapsed between an entry and an exit of a specific AOI. The glances count is the number of times the gaze of the participant has entered and exited a specific AOI [24].

For the dwell time in AOIs, there is a direct positive correlation (p-value ≤ 0.001) with the natural logarithm of the response time. A similar correlation (p-value ≤ 0.001) could be observed between the glances count and the natural logarithm of the response time. Simply, longer and more frequent a participant look at an AOI, it would take more time to take his decision.

For the regressions, except for the order of presentation or the constant β_0 , there is no significant factors for regressions of the form of the Equation 6.6 explaining the quality achieved by the participant except the average dwell time in the S-Curve's AOI with a coefficient of 0.129, p-value ≤ 0.01 .

$$\begin{aligned} Z = & \beta_1 \times Order + \\ & \beta_2 \times AG + \beta_3 \times Gantt + \\ & \beta_4 \times S - Curve + \beta_5 \times SPI + \beta_0 \end{aligned} \tag{6.6}$$

Pupillometry

The pupillometry data here considered consists of the difference of the pupil diameter during the fixation and the diameter during the baseline made at the beginning of the study for each fixation made by the participant.

A correlation analysis made on the average pupil diameter shows a link to the quality of the decision of the participant, the effect of being a professional, the representation C, and three of the AOIs. The significative correlation coefficients are presented in Table 6.6. It should

be observed that all the coefficients are negative except for the professionals and the AOI of the Gantt chart.

A regression analysis made on the difference of the pupil diameter between a fixation on a case and a baseline of the form of the Equation 6.5 have some significant parameters presented in Table 6.7. It should be noted that all the parameters are negative except for the AOI of the Gantt chart. In the regression analysis for the minimum, the maximum and the standard deviation of the pupil diameter, the same elements are significative at the exception of:

- the representation A, which is not significant for the maximum and the natural logarithm of the standard deviation;
- the S-Curve's AOI which is not significant for these analyses;
- the *Activity Gazer*'s AOI which is not significant for the minimum regression and
- the Gantt chart's AOI which is not significant for the maximum and the natural logarithm of the standard deviation.

6.5 Discussion

As it can be observed, the project representation type used has an impact on the response time of the participant. There is a negative correlation of the response time with representation B and positive regression coefficients with representations A and C. This is an expected result. The more usual tool, the S-Curve [4], gives a more efficient diagnosis than *Activity Gazer*, which was just explained to the participant.

The type of representation has an influence on the frustration perceived by the participant. Representation A, where *Activity Gazer* is present, is less frustrating for the participant than representation B, using only classical tools.

The variation of the pupil diameter observed on the *Activity Gazer*'s AOI could signify that the analysis of a case where *Activity Gazer* is not present could be more demanding mentally [24]. Effectively, the positive correlation of the pupil diameter and the representation

Table 6.6 Correlations coefficients for the average pupil diameter

	Score	dPro	Rep. B	Rep. C	AG	Gantt	S-Curve
Avg Pupil Diameter	-0.089	0.235	0.078	-0.046	-0.089	0.054	-0.034
p-value ^a	****	****	****	***	****	***	*

^a For the p-values: * : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ; *** : ≤ 0.01 ; **** : ≤ 0.001

Table 6.7 Significant parameters of the regression of the average pupil diameter

	β_2 Order	β_3 Rep. A	β_6 <i>Activity Gazer</i>	β_7 Gantt chart	β_8 S-Curve	β_0
Coefficient	-0.006	-0.038	-0.078	0.034	-0.032	-0.317
p-value ^a	****	*	****	***	**	****

^a For the p-values: * : ≤ 0.1 ; ** : ≤ 0.05 ; *** : ≤ 0.01 ; **** : ≤ 0.001

B (p-value ≤ 0.001) and the negative regression parameter of the representation A for the average pupil diameter would tend to substantiate this interpretation.

The fixation count varies for the AOI observed. If we classify the parameters of the fixation count's regression by increasing order, we would obtain:

- SPI, -11.700, p-value ≤ 0.001 ;
- *Activity Gazer*, -9.298, p-value ≤ 0.001 ;
- Gantt chart, -4.846, p-value ≤ 0.001 .

The fixation count on an AOI could be interpreted that a high number of fixations show that the information presented in this AOI is important or that the information contained in this AOI is difficult to interpret [24]. Given that the variation on pupil diameter shows a less demanding effort to analyse data presented in *Activity Gazer* and needs less fixations than the Gantt chart, the first interpretation should be excluded.

Finally, the performance of the participant is positively influenced by the average dwell duration in the AOI of the S-Curve. Three conclusions could be made, following [24]:

1. the information given by the S-Curve is important and it made the interest of the participant grow for this AOI;
2. the information given by the S-Curve is poor and brings uncertainty to the participant;
3. the information included in the S-Curve is difficult to extract or interpret.

Given the results, the first assumption could be excluded and, as the participant performs better, the third explanation should be retained.

The main application of these results for practitioners is the validation of *Activity Gazer* as a project control tool. Indeed, results show that there is an advantage for the planner to use *Activity Gazer* to represent the state of his projects as it is less mentally asking for the interpretation of the data.

Also, the data presented to the participant (see Figure 6.1) is not available, on commercial project control software as *Microsoft Project*, on a unique screen. Results show that, to

determine if a project needs a rescheduling to respect the planned end date, all information presented (Gantt chart, S-Curve, SPI) is necessary to make the decision. We could then assume that, to consult all the information, including *Activity Gazer* if it is one day implemented on a commercial software, a project planner should consult different reports and screens to make his decision. It should be useful to the planner to create a custom report where all the information is gathered together as a dashboard to help in the decision making process about the analyzed project.

6.6 Conclusion

The objective of this paper was to determine if the visual decision support tool chosen by the project planner has an impact on his decision. A user-base study was conceived to compare the influence of the S-Curve, one of the most usual tools in project control, and *Activity Gazer*, a new conceptual framework to illustrate the state of a project using the earned value methodology indexes. Professionals and students in project management were asked to perform a diagnostic of a project portfolio of 25 projects.

Results show that the diagnostic time is shorter for the S-Curve, at no significant difference on accuracy. Eye tracking analysis on significant areas of interest reveal that the interpretation of the state of the project is facilitated with *Activity Gazer*. The variation of the pupil diameter of participants and the reduced fixation count and duration are evidence that this representation is less demanding mentally to interpret the data than the S-Curve.

Two limits could be mentioned for this study. The first one is about the size of the projects presented to participants. They were composed of 8 to 13 activities. These are relatively small projects. A study where projects of a more comparable size to real-life projects should be conducted to confirm the results here obtained. A second limit is that only two visual decision support tools were used. This study was intended to be a first step to classify visual decision support tools in project control. Further studies should compare the other tools presented in Section 6.2 to obtain a classification of the most beneficial visual decision support tool in project control.

The current study compared *Activity Gazer* and S-Curve after a short tutorial on both tools. All participants were new to the conceptual framework of *Activity Gazer*. Because of this introduction of *Activity Gazer*, future studies should be conducted to confirm the efficacy of *Activity Gazer* in daily work. Then, the effect of novelty could be extracted from the study and maybe a performance impact could be observed.

6.7 Acknowledgements

This research project is funded by the NSERC and the Jarislowsky/SNC-Lavalin Research chair in the Management of International Project.

CHAPITRE 7 DISCUSSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce mémoire par article était de caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel d'un planificateur de projet. Ce projet de recherche s'est concentré sur la comparaison de deux outils sans chercher à analyser tous les modes de représentations offerts par les nombreux logiciels de planification de projet ou inventoriés au chapitre 2. Afin de sélectionner les outils visuels d'aide à la décision à étudier, ce projet de recherche s'est basé sur l'énoncé de Lee et Rojas spécifiant qu'*Activity Gazer* devrait être comparé aux outils traditionnels de contrôle de projet [21]. Les outils traditionnels les plus répandus, la méthodologie de la valeur acquise (earned value methodology, EVM) et les diagrammes de Gantt [4], ont donc été mis en comparaison dans ce projet. Les chapitres 4 à 6 présentent le rapport technique et les articles découlant des deux études réalisées dans le cadre de ce projet de recherche. Le présent chapitre synthétise les travaux de recherche menés (section 7.1), présente une difficulté rencontrée (section 7.2) et énonce certaines limites de recherche qui n'ont pas été mentionnées dans les articles.

7.1 Synthèse des travaux

Quatre sous-objectifs ont été définis au chapitre 3 afin de répondre à l'objectif principal. Il s'agissait de déterminer l'impact des outils d'aide à la décision sur la qualité de la décision prise par le planificateur, sur le temps d'analyse nécessaire à la prise de décision, sur le niveau de confiance du planificateur ainsi que sur la charge mentale induite par l'outil. La présente section résume les résultats pour chacun des quatre sous-objectifs de ce projet de recherche. Pour fins de rappel, les trois types de représentations utilisées pour les deux études comprenaient les éléments suivants :

- Rep. A** Diagramme de Gantt, *Activity Gazer*, indice de performance d'échéancier (IPÉ) et données sur les ressources ;
- Rep. B** Diagramme de Gantt, courbe en S, IPÉ et données sur les ressources ;
- Rep. C** Diagramme de Gantt, *Activity Gazer*, courbe en S, IPÉ et données sur les ressources.

7.1.1 Qualité de la décision

Certaines tendances ont été observées au cours de la première étude comme quoi, lors d'un diagnostic efficace avec la représentation C lors du troisième projet analysé, la qualité des

décisions pour l'ensemble du portefeuille de projet augmentait par rapport à une analyse faite avec la représentation B. De plus, lors d'une mauvaise décision prise à l'aide de la représentation A, la qualité pour l'ensemble du portefeuille diminuait.

Ces tendances n'ont pas été observées lors de la deuxième étude. Par contre, l'analyse oculométrique a permis d'établir que plus un planificateur de projets prend de temps pour consulter la courbe en S, meilleure est la qualité de son diagnostic. La conclusion retenue est que l'information présentée sur la courbe en S est difficile à extraire. En effet, à cause de sa nature agrégée [4] et graphique, il peut être difficile d'extraire des éléments précis d'une courbe en S.

7.1.2 Temps d'analyse

Au cours de la première étude, une influence sur le temps d'analyse a été observée pour les mauvais diagnostics. Les planificateurs exposés à la représentation B prenaient moins de temps pour prendre leur décision et ceux exposés à la représentation C, plus de temps.

Dans la deuxième étude, la corrélation négative entre la représentation B et le temps de réponse semble confirmer cette influence. Il est intéressant de noter que, dans cette étude, un temps d'analyse plus faible est corrélé avec un mauvais diagnostic. Cette corrélation est cohérente avec les résultats observés à la première phase expérimentale. L'analyse par régression montre aussi que les représentations où *Activity Gazer* est présent prennent plus de temps que l'analyse avec la représentation B.

Il est par contre nécessaire de rappeler que, pour les deux études, les participants n'étaient pas familiers avec l'outil *Activity Gazer*. Une utilisation courante d'*Activity Gazer* dans la pratique suivie d'une étude similaire pourrait venir modifier les résultats obtenus.

7.1.3 Niveau de confiance

Au cours de la première étude, le niveau de confiance en la décision du planificateur était demandé après chaque décision. Une tendance apparaissait où la représentation B permettait d'augmenter le niveau de confiance en la décision. Il faut par contre souligner que cette tendance n'est pas appuyée par une incidence sur la qualité de la décision.

Au cours de la deuxième étude, le questionnaire NASA Raw-TLX [40] a été utilisé pour évaluer différents facteurs, dont le niveau de confiance perçu par le planificateur. Le niveau de confiance est un des six paramètres évalués par ce questionnaire. Aucune influence du type de représentation n'a été relevée sur le niveau de confiance. Par contre, la frustration perçue par les participants était diminuée lorsqu'ils étaient exposés à la représentation A.

7.1.4 Charge mentale induite

La charge mentale induite par les outils visuels d'aide à la décision a été évaluée à l'aide des données oculométriques de la deuxième étude. La variation du diamètre de la pupille est un des indicateurs de variation de la charge mentale. Il existe une corrélation négative entre la représentation C et le diamètre de la pupille ainsi qu'une corrélation positive entre la représentation B et le diamètre. Du plus, l'analyse de régression montre que la représentation A amène un diamètre de la pupille des participants inférieur à celui associé aux représentations B. Ainsi, analyser un projet où l'outil *Activity Gazer* n'est pas présent semble nécessiter une plus grande charge mentale. Cette conclusion est appuyée par le fait que le nombre de fixations nécessaire pour analyser les données présentées par *Activity Gazer* est inférieur à celui du diagramme de Gantt.

7.1.5 Retour sur l'objectif général

En se basant sur les résultats obtenus, il est possible de commencer une caractérisation de l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel du planificateur de projet. En effet, pour les quatre sous-objectifs établis et les outils visuels analysés, la courbe en S et *Activity Gazer*, une influence a pu être observée. À qualité de décision égale, une variation a pu être observée sur le temps d'analyse, le niveau de confiance et de frustration perçue ainsi que sur la charge mentale induite.

7.2 Difficulté rencontrée

Un obstacle à la conception des protocoles expérimentaux a été rencontré lors de la sélection d'*Activity Gazer* en tant qu'un des outils utilisés dans ce projet de recherche. Les chercheurs à la base de cet outil, Lee et Rojas, l'ont validé dans un environnement de simulation, *Virtual Coach* [21]. Après être entré en contact avec les auteurs, il a été impossible d'obtenir un accès à cette plateforme. La représentation des projets à l'aide d'*Activity Gazer* s'est donc heurtée à un problème de concrétisation.

Pour la première étude, une application de dessin sur iPad, *Concepts*, a été utilisée. Ce mode de représentation implique un traçage manuel de la représentation ayant mené à différentes erreurs et une réédition des cas afin de les corriger.

Une application de dessin graphique à base d'équations mathématiques, *GeoGebra*, a été utilisée lors de la deuxième expérimentation pour représenter l'état de projets à l'aide d'*Activity Gazer*. Ayant développé un classeur *Excel* permettant de déterminer la position des diff-

rents éléments graphiques se rapportant à un projet, il devenait alors beaucoup plus facile d'illustrer l'état d'un projet à l'aide de ce logiciel qu'avec la première méthode. De plus, transformer les éléments graphiques d'*Activity Gazer* sous forme d'équations quadratiques de type $a^2 + b^2 = c^2$ pour illustrer les activités permettrait une intégration future aisée dans des logiciels de gestion de projets.

Ces deux techniques de dessin ont eu par contre pour impact sur *Activity Gazer* le retrait d'une caractéristique du cadre conceptuel, soit, lorsque l'utilisateur passe sa souris au-dessus d'une activité, l'apparition d'une bulle d'information sur l'activité. Ces informations auraient pu aider les participants dans leur diagnostic, mais n'ont pas été jugées par le chercheur comme un manque important par rapport au cadre théorique défini par Lee et Rojas [21] vu les autres informations présentées pour chaque cas.

7.3 Limites de recherche

Les cas présentés aux participants dans les deux cadres expérimentaux comptent un nombre limité d'activités. Les projets du premier cadre expérimental comprennent huit activités et ceux du deuxième cadre, entre huit et treize activités. Ce choix a été fait afin de réduire le temps d'analyse nécessaire aux participants pour comprendre le projet présenté. Comme il s'agit de projets abstraits sans thématique associée aux activités, un nombre réduit permet une compréhension plus rapide et une représentation sur diagramme de Gantt plus compacte.

Au sujet du premier cadre expérimental (chapitre 5), deux limites méthodologiques peuvent être formulées. Premièrement, les participants sélectionnés sont tous des étudiants aux grades supérieurs d'une faculté de génie. Aucun professionnel de la gestion de projet n'a été impliqué dans l'étude à l'exception des prétests où un professionnel est intervenu afin de valider les actions correctives les plus appropriées pour chaque cas présenté. Une deuxième limite relève du faible nombre de cas présentés à chaque participant. En effet, ils ne devaient se prononcer que sur trois cas, pour un total, en incluant les 29 participants, de 87 décisions distinctes.

La sélection du bassin de participant pour cette première étude s'est faite en prenant en compte le temps disponible pour la collecte de données et la facilité de recruter des participants. Ayant déjà à l'esprit la deuxième étude où la participation de professionnels du domaine était souhaitée, il a été décidé de n'impliquer que des étudiants lors de la première phase expérimentale. Il était ainsi plus facile de rejoindre un grand nombre de participants étudiants au moment où l'étude a été conduite (fin mai), vu la population inscrite au cours ciblé comme bassin de participants potentiel.

La durée de l'étude a aussi été décisive sur le nombre de cas présentés. En se basant sur

la durée du prétest avec un professionnel en gestion de projet, l'analyse des cas a permis de déterminer que, pour une durée d'environ une heure, trois cas seulement pouvaient être traités convenablement. Un compromis entre le nombre de données et la durée de l'étude a donc dû être fait.

Ces deux limites ont été prises en compte lors de l'élaboration du deuxième cadre expérimental (chapitre 6). En effet, la population d'où sont issus les participants comprend autant des étudiants que des professionnels de la gestion de projet. Ceci a permis de comparer les résultats des deux groupes. N'ayant pas obtenu de résultats différenciant significativement les deux groupes sur les trois premiers sous-objectifs de recherche, il est possible de dire que, en contrôle de projet, il est possible de tester de nouvelles interfaces visuelles autant avec des étudiants que des professionnels à l'aide d'études que l'on pourrait qualifier de « classiques », comme celle réalisée au chapitre 5. Par contre, pour étudier le processus décisionnel d'un planificateur de projet, les éléments relevés à l'aide des techniques d'oculométrie diffèrent entre les professionnels et les étudiants. Pour ce genre d'étude, il est donc recommandé soit d'utiliser un panel mixte de participants, comme pour l'étude décrite au chapitre 6, soit d'utiliser uniquement des professionnels pour refléter l'utilisation dans la pratique courante.

Au sujet du nombre de cas présenté, la question posée aux participants a été modifiée entre les deux cadres expérimentaux. Dans le premier cadre expérimental, les participants se voient proposer des actions correctives pouvant être mises en place pour le projet présenté. Ils doivent prendre leur décision pour ramener le projet dans les temps au moindre coût. Dans le deuxième cadre expérimental, les participants se font demander si, pour respecter la date de fin initialement prévue, le projet nécessite une re planification, oui ou non. Comme la question du deuxième cadre ne nécessite pas d'évaluer l'impact de différents choix, le temps d'analyse requis par le participant est plus court. Donc, pour une même durée d'étude, un plus grand nombre de cas a pu être présenté aux participants.

7.4 Conclusion

Il est intéressant de noter qu'à la fin de leur participation de la deuxième étude, les participants professionnels ont souvent eu des commentaires positifs sur la représentation *Activity Gazer* sans qu'ils soient formellement invités à le faire. Il est donc possible de trouver des participants volontaires d'utiliser *Activity Gazer* sur une base quotidienne pour répondre à la recommandation faite dans le chapitre 6 dans le but de retirer l'effet de nouveauté de la représentation sur l'étude.

Ce projet de recherche représente une première étape afin de mieux comprendre l'influence

des outils visuels d'aide à la décision sur le processus décisionnel du planificateur de projet. Éventuellement, les conclusions de cette recherche pourront influencer le développement de nouveaux outils ou établir une classification de ceux-ci afin d'aider les planificateurs dans leurs tâches quotidiennes.

CHAPITRE 8 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'objectif principal de ce mémoire par articles était de caractériser l'impact des outils visuels d'aide à la décision en contrôle de projet sur le processus décisionnel du planificateur. Quatre aspects ont été définis pour mesurer l'impact de ces outils : la qualité de la décision ; le temps d'analyse ; le niveau de confiance perçue et la charge mentale.

Ainsi, deux études ont été menées pour comparer l'impact de deux outils visuels : la courbe en S et *Activity Gazer*. La première étude a été conduite auprès d'étudiants inscrits aux grades supérieurs d'une faculté de génie nord-américaine et la deuxième, auprès de professionnels en gestion de projet et d'étudiants aux cycles supérieurs. Les résultats démontrent que, à qualité d'analyse égale, les outils donnent lieu à une variation sur le temps d'analyse requis, le niveau de confiance, la frustration perçue par le participant et la charge mentale induite par les outils.

Une diminution du temps d'analyse a été observée lorsque les participants étaient exposés à la courbe en S. Pour ce qui est de l'influence sur le niveau de confiance, les tendances observées lors de la première étude n'ont pas pu être confirmées dans la deuxième. Par contre, une diminution de la frustration ressentie par le participant lorsqu'il travaillait avec *Activity Gazer* a pu être observée. Finalement, une influence des outils visuels d'aide à la décision sur la charge mentale induite a pu être décelée. Cette charge mentale semble être réduite pour analyser l'état d'un projet à l'aide de l'outil *Activity Gazer*, par rapport à celle requise pour l'analyse avec la courbe en S.

La présente recherche comprend certaines limitations. Le nombre de cas présentés aux participants et la composition du bassin de participants sont deux limites du premier cadre expérimental. Ces limites ont été prises en compte lors de l'élaboration de la deuxième étude. La limite principale des deux études est la taille des projets évalués par les participants. Celle-ci est relativement petite, les projets comportant de 8 à 13 activités. Il s'agit d'un choix méthodologique, afin de réduire le temps d'analyse des participants et la complexité des représentations utilisées. Une étude où des projets plus complexes seraient utilisés pourrait être menée pour confirmer les résultats de ce projet de recherche.

Les contributions de ce mémoire sont multiples. Tout d'abord, sur le plan pratique, il a permis d'introduire une version améliorée du cadre théorique d'*Activity Gazer* proposé par Lee et Rojas [21]. Les résultats démontrent l'intérêt d'inclure un tel outil au sein de progiciels de gestion de projet.

Ensuite, au niveau de la recherche, les résultats obtenus dans des cas simples de gestion de projets ne dénotent pas une différence significative entre étudiants et professionnels, pour ce qui est de l'influence des outils visuels sur le temps d'analyse, la qualité de la décision ou la perception du niveau de confiance. La différence entre ces deux groupes de participants réside au niveau des mesures oculométriques. Dans les cas simples de gestion de projets, une étude de validation d'un outil d'aide à la décision en contrôle de projet à l'aide de questionnaires peut donc se faire uniquement auprès d'étudiants universitaires, comme effectuée pour plusieurs des outils présentés dans la revue de littérature et le premier cadre expérimental de ce projet de recherche. Il est par contre recommandé d'inclure la participation de professionnels pour une étude d'évaluation des outils d'aide à la décision, lors de l'utilisation de mesures oculométriques.

Finalement, le présent projet de recherche ne s'est pas penché sur la séquence de consultation des informations par les deux groupes de participants. L'expérience des professionnels pourrait les amener à ne pas consulter l'information présentée dans le même ordre que le feraient des étudiants. Cette analyse est une piste de recherche future à explorer.

Ce projet de recherche constitue une première étape dans les travaux de la Chaire de recherche Jarislowsky/SNC-Lavalin en gestion de projets internationaux portant sur la conception d'outils de contrôle de projet. Il met en lumière l'importance de comparer les outils traditionnels de contrôle de projet à ceux issus de la recherche. Dans cette comparaison, il est nécessaire de tenir compte du processus mental des différents intervenants et de l'influence des outils sur ce processus décisionnel. Ainsi, il sera possible de concevoir des outils de contrôle de projet adaptés à la réalité des planificateurs de projets.

RÉFÉRENCES

- [1] M. Lappe et K. Spang, “Investments in project management are profitable : A case study-based analysis of the relationship between the costs and benefits of project management,” *International Journal of Project Management*, vol. 32, p. 603–612, mai 2014.
- [2] Project Management Institute, Inc., *Guide du corpus des connaissances en management de projet*, 6^e éd. Project Management Institute, Inc., 2017.
- [3] Association for the Advancement of Cost Engineering, “Project planning - as applied in engineering and construction for capital projects,” Association for the Advancement of Cost Engineering, Recommended Practice 39R-06, déc. 2011.
- [4] R. Pellerin et N. Perrier, “A review of methods, techniques and tools for project planning and control,” *International Journal of Production Research*, sept. 2018.
- [5] Association for the Advancement of Cost Engineering, “Schedule update review - as applied in engineering, procurement, and construction,” Association for the Advancement of Cost Engineering, Recommended Practice 53R-06, 2008.
- [6] M. I. Montes-Guerra *et al.*, “The influence of monitoring and control on project management success,” *International Journal of Construction Project Management*, vol. 6, n^o. 2, p. 163–184, 2014.
- [7] R. Pellerin et N. Perrier, “A review of software capabilities for project planning and control,” dans *7th IESM Conference Proceedings*, oct. 2017.
- [8] H. Kerzner, *Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards*, 2^e éd., The International Institute for Learning, édit. John Wiley and Sons, Inc., 2013.
- [9] Association for the Advancement of Cost Engineering, “Developing the project controls plan,” Association for the Advancement of Cost Engineering, Recommended Practice 60R-10, déc. 2011.
- [10] H. L. Gantt, “Organizing for work,” *Industrial Management*, vol. 58, n^o. 2, p. 89–93, août 1919.
- [11] S. Luz et M. Masoodian, “Comparing static gantt and mosaic charts for visualization of task schedules,” dans *15th International Conference on Information Visualisation*, août 2011.
- [12] M. Tory *et al.*, “Comparative visualization of construction schedules,” *Automation in Construction*, vol. 29, p. 68–82, 2013.

- [13] D. Echeverry, W. Ibbs et S. Kim, “Sequencing knowledge for construction scheduling,” *ASCE Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 117, n°. 1, p. 118–130, 1991.
- [14] B. Koo, M. Fischer et J. Kunz, “Formalization of construction sequencing rationale and classification mechanism to support rapid generation of sequencing alternatives,” *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 21, n°. 6, p. 423–433, 2007.
- [15] C. Ardito *et al.*, “Systematic inspection of information visualization systems,” dans *AVI Workshop on Beyond Time and Errors : Novel Evaluation Methods for Information Visualization*. New York, NY : ACM, 2006, p. 1–4.
- [16] K. Liston, M. Fischer et J. Kunz, “Designing and evaluating visualization techniques for construction planning,” dans *Eighth International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Stanford, California, USA : American Society of Civil Engineers, août 2000.
- [17] D. Huang *et al.*, “Visualization techniques for schedule comparison,” dans *IEEE-VGTC Symposium on Visualization*, G.-C. Hege, I. Hotz et T. Munzner, édit., vol. 28, n°. 3, 2009, p. 951–958.
- [18] U.S. Department of Defense, “Performance measurement for selected acquisitions,” U.S. Department of Defense, Instruction 7000.2, déc. 1967.
- [19] L. L. Willems et M. Vanhoucke, “Classification of articles and journals on project control and earned value management,” *International Journal of Project Management*, vol. 33, n°. 7, p. 1610–1634, oct. 2015.
- [20] L. Liu et Y. Su, “The control model of engineering cost in construction phase of high-speed railway,” dans *5th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technologies*. Seoul, South Korea : IEEE, nov. 2010, p. 766–771.
- [21] N. Lee et E. M. Rojas, “Activity gazer : A multi-dimensional visual representation of project performance,” *Automation in Construction*, vol. 44, p. 25–32, 2014.
- [22] Association for the Advancement of Cost Engineering, “Analyzing S-Curves,” Association for the Advancement of Cost Engineering, Recommended Practice 55R-09, nov. 2010.
- [23] R. Bednarik et M. Tukiainen, “An eye-tracking methodology for characterizing program comprehension process,” dans *Proceedings of the 2006 Symposium on Eye Tracking Research & Applications*, S. N. Spencer, édit., New York, 2006, p. 125–132.
- [24] K. Holmqvist *et al.*, *Eye tracking : A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford : Oxford University Press, 2011.

- [25] J. Isac *et al.*, “Extension d’activity gazer en tant qu’outil de suivi de projet,” Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d’entreprise, la logistique et le transport, Cahier CIRRELT-2018-53, déc. 2018.
- [26] Association for the Advancement of Cost Engineering, “Earned value management (EVM) overview and recommended practices consistent with EIA-748-C,” Association for the Advancement of Cost Engineering, Recommended Practice 82R-13, mai 2017.
- [27] —, “Original baseline schedule review - as applied in engineering, procurement, and construction,” Association for the Advancement of Cost Engineering, Recommended Practice 78R-13, oct. 2014.
- [28] J. Isac, R. Pellerin et P.-M. Léger, “L’état d’un projet : une image pour un diagnostic,” dans *CIGI Qualita 2019*, Montréal, Québec, Canada., juin 2019.
- [29] Association for project management. (2017) Project controls. [En ligne]. Disponible : <https://www.apm.org.uk/body-of-knowledge/delivery/integrative-management/control/>
- [30] Building Research Establishment. (2017) KPIs and benchmarking. [En ligne]. Disponible : <http://constructingexcellence.org.uk/kpis-and-benchmarking/>
- [31] M. Radujković, M. Vukomanović et I. B. Dunović, “Application of key performance indicators in south-eastern european construction,” *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 16, n°. 4, p. 521–530, juill. 2010.
- [32] B. Stauffer. (2017) Using indicators to measure progress and performance. [En ligne]. Disponible : <https://www.sswm.info/content/using-indicators-measure-progress-and-performance>
- [33] M. Walczak. (2014, août) What are key performance indicators (KPIs) and why you should use them. [En ligne]. Disponible : <http://einsights.com/key-performance-indicators-kpi/>
- [34] J. Isac, R. Pellerin et P.-M. Léger, “Impact of a visual decision support tool in project control : A comparative study using eye tracking,” *Automation in Construction*, 2019.
- [35] B.-C. Kim et Y. H. Kwak, “Improving the accuracy and operational predictability of project cost forecasts : an adaptive combination approach,” *Production Planning & Control*, vol. 29, n°. 9, p. 743–760, mai 2018.
- [36] J. Pajares et A. Lopez-Paredes, “An extension of the EVM analysis for project monitoring : The cost control index and the schedule control index,” *International Journal of Project Management*, vol. 29, n°. 5, p. 615–621, 2011.

- [37] N. Yousefi, “Using a duration-based schedule performance index to monitor the performance of projects including estimating the final cost,” *Mémoire de maîtrise*, West Virginia University, 2016.
- [38] J. Geraldi et T. Lechter, “Gantt charts revisited : A critical analysis of its roots and implications to the management of projects today,” *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 5, n^o. 4, p. 578–594, 2012.
- [39] F. Demachkieh et M.-A. Abdul-Malak, “Systhesis of improvements to EVMS key parameters representation,” dans *Construction Research Congress 2018*, 2018, p. 399–408.
- [40] S. G. Hart, “NASA-task load index (NASA-TLX) ; 20 years later,” dans *Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting*. Human Factors and Ergonomics Society Inc., 2006.
- [41] E. M. Reingold et H. Sheridan, *Eye movements and visual expertise in chess and medicine*. Oxford : Oxford University Press, août 2011, p. 528–550.
- [42] B. Brinton Anderson *et al.*, “Your memory is working against you : How eye tracking and memory explain habituation to security warnings,” *Decision Support Systems*, vol. 92, p. 3–13, 2016.

ANNEXE A APPROBATION ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE

Sont reproduits ici les certificats émis par les Comités d'éthique de la recherche avec des êtres humains de Polytechnique Montréal et d'HEC Montréal pour les deux cadres expérimentaux de ce projet de recherche.



CERTIFICAT DE CONFORMITÉ

Montréal, le 29 mai 2018

M. Jérôme Isac
M. Robert Pellerin
Département de Mathématiques et génie industriel
Polytechnique Montréal

N/Réf : Dossier CÉR-1617-70

Messieurs,

J'ai le plaisir de vous informer que les membres du Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains (CÉR) ont procédé à l'évaluation en comité restreint du projet de recherche intitulé « *Influence de la représentation visuelle de l'avancement d'un projet sur le processus décisionnel du planificateur de projet* ».

Les membres du CÉR ayant examiné votre projet en ont recommandé l'approbation sur la base des précisions que vous nous avez fait parvenir ainsi que des réponses aux questions et commentaires du CÉR.

Veuillez noter que le présent certificat est valable pour une durée d'un an, soit du **29 mai 2018** au **28 mai 2019**, pour le projet tel que soumis au Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Afin d'éviter des délais de renouvellement de votre certificat, le cas échéant, nous vous saurions gré de nous faire parvenir un bref rapport annuel au moins un mois avant l'expiration du présent certificat (<http://www.polymtl.ca/recherche/formulaires-et-guides>). La coordonnatrice du CÉR devra aussi être informée de toute modification qui pourrait être apportée ultérieurement au protocole expérimental, de même que de tout problème imprévu pouvant avoir une incidence sur la santé et la sécurité des personnes impliquées dans le projet de recherche (sujets, professionnels de recherche ou chercheurs).

Je vous souhaite bonne chance dans la poursuite de vos travaux.

Delphine Périé-Curnier, Présidente
Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains

cc: Céline Roehrig (DFR)
Sylvie Proulx (Service des Finances)

**Comité d'éthique de la recherche
avec des êtres humains**
Céline Roehrig; Coordonnatrice
Delphine Périé-Curnier, Présidente
Tél.: 514 340-4711 poste : 3755
Fax : 514 340-4992
Courriel : polycer@polymtl.ca

Adresse postale
C.P. 6079, succ. Centre-Ville
Montréal (Québec) Canada H3C 3A7

Campus de l'Université de Montréal
2900, boul. Édouard-Montpetit
2500, chemin de Polytechnique
Montréal (Québec) Canada H3T1J4

Le 13 novembre 2018

À l'attention de :

Pierre-Majorique Léger
Professeur titulaire, Technologies de l'information
HEC Montréal

Objet : Approbation éthique de votre projet de recherche

Projet : 2019-3340

Titre du projet de recherche : L'état d'un projet : une image pour un diagnostic

Source de financement : CRSNG - CCS: à venir

Votre projet de recherche a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains par le CER de HEC Montréal.

Un certificat d'approbation éthique qui atteste de la conformité de votre projet de recherche à la *Politique relative à l'éthique de la recherche avec des êtres humains* de HEC Montréal est émis en date du 13 novembre 2018. Prenez note que ce certificat est **valide jusqu'au 01 novembre 2019**.

Les membres du Comité vous rappellent que si la recherche est financée en partie par une chaire industrielle, vous devez nommer dans le formulaire de consentement les partenaires industriels appropriés.

Vous devrez obtenir le renouvellement de votre approbation éthique avant l'expiration de ce certificat à l'aide du formulaire *F7 - Renouvellement annuel*. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat.

Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F8 - Modification de projet* et obtenir l'approbation du CER avant de mettre en oeuvre ces modifications. Si votre projet est terminé avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire *F9 - Fin de projet ou F9a - Fin de projet étudiant*, selon le cas.

Notez qu'en vertu de la *Politique relative à l'éthique de la recherche avec des êtres humains* de HEC Montréal, il est de la responsabilité des chercheurs d'assurer que leurs projets de recherche conservent une approbation éthique pour toute la durée des travaux de recherche et d'informer le CER de la fin de ceux-ci. De plus, toutes modifications significatives du projet doivent être transmises au CER avant leurs applications.

Vous pouvez dès maintenant procéder à la collecte de données pour laquelle vous avez obtenu ce certificat.

Nous vous souhaitons bon succès dans la réalisation de votre recherche.

Le CER de HEC Montréal

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'une évaluation en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains et qu'il satisfait aux exigences de notre politique en cette matière.

Projet # : 2019-3340

Titre du projet de recherche : L'état d'un projet : une image pour un diagnostic

Chercheur principal :

Pierre-Majorique Léger,
Professeur titulaire, Technologies de l'information, HEC Montréal

Cochercheurs :

Robert Pellerin; David Briegne; Nathalie Perrier; Jérôme Isac

Date d'approbation du projet : 13 novembre 2018

Date d'entrée en vigueur du certificat : 13 novembre 2018

Date d'échéance du certificat : 01 novembre 2019



Maurice Lemelin
Président du CER de HEC Montréal

POLYTECHNIQUE
MONTREAL

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE



CERTIFICAT DE CONFORMITÉ

Montréal, le 7 février 2019

Mme Nathalie Perrier
M. Robert Pellerin
M. Jérôme Isac
Département de mathématiques et de génie industriel
Polytechnique Montréal

N/Réf : Dossier CÉR-1819-50

Madame, Messieurs,

J'ai le plaisir de vous informer qu'en vertu de l'Entente de reconnaissance des certificats d'éthique des projets de recherche à risque minimal, le Comité d'éthique de la recherche de Polytechnique Montréal, reconnait le certificat d'approbation éthique daté du 13 novembre 2018 émis par le Comité d'éthique de la recherche de HEC Montréal pour le projet de recherche intitulé « *L'état d'un projet : une image pour un diagnostic* ».

Le présent certificat est valable jusqu'au **1^{er} novembre 2019**.

Veuillez noter que conformément aux exigences des organismes subventionnaires, **il est de votre responsabilité de nous soumettre un rapport annuel ou un rapport final avant l'expiration du présent certificat** afin de nous informer de l'avancement de vos travaux. Le formulaire à remplir est disponible à l'adresse suivante : (<http://www.polymtl.ca/recherche/formulaires-et-guides>).

La coordonnatrice du CÉR devra aussi être informée de toute modification qui pourrait être apportée ultérieurement au protocole expérimental, de même que de tout problème imprévu pouvant avoir une incidence sur la santé et la sécurité des personnes impliquées dans le projet de recherche (sujets, professionnels de recherche ou chercheurs).

Je vous souhaite bonne chance dans la poursuite de vos travaux.

Yuvin Chinniah, Président
Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains

cc: Céline Roehrig (DFR); Sylvie Proulx (Service des Finances)

Comité d'éthique de la recherche
avec des êtres humains
Céline Roehrig; Coordonnatrice
Yuvin Chinniah, Président
Tél.: 514 340-4711 poste : 3755
Fax : 514 340-4992
Courriel : polycer@polymtl.ca

Adresse postale
C.P. 6079, succ. Centre-Ville
Montréal (Québec) Canada H3C 3A7

Campus de l'Université de Montréal
2900, boul. Édouard-Montpetit
2500, chemin de Polytechnique
Montréal (Québec) Canada H3T1J4

ANNEXE B DESCRIPTIVE STATISTICS

Table B.1 Descriptive statistics for the discrete variables

	Ordre	dProfessionnel	drepresentation1	drepresentation2	drepresentation3	Score	AnswerTime (ms)	lAnswerTime
mean	13.136	0.523	0.325	0.313	0.363	0.690	38 059.640	10.215
p50	13	1	0	0	0	1	30 150.800	10.314
sd	7.177	0.500	0.469	0.464	0.481	0.463	31 538.380	0.860
min	1	0	0	0	0	0	1 901.700	7.551
max	25	1	1	1	1	1	211 657.300	12.263
skewness	-0.020	-0.091	0.749	0.808	0.571	-0.820	1.775	-0.338
kurtosis	1.812	1.008	1.561	1.653	1.326	1.673	7.414	2.812
N	419	419	419	419	419	419	419	419
	MentalExigence	PhysicalExigence	lPhysicalExigence	TemporalExigence	Performance	Effort	Frustration	
mean	56.461	13.344	1.767	36.780	67.594	53.544	29.024	
p50	61	7	2.079	34	70	61	24	
sd	18.745	17.591	1.465	23.797	16.611	21.718	25.511	
min	9	0	0	0	25	1	0	
max	91	71	4.277	100	100	100	91	
skewness	-0.672	1.606	0.033	0.354	-0.337	-0.612	0.722	
kurtosis	2.591	5.041	1.554	2.380	3.200	2.397	2.453	
N	419	419	419	419	419	419	419	

Table B.2 Descriptive statistics for the Entry Time in AOI (ms)

	AG	Gantt	S	SPI
mean	3 600.336	1 560.625	3 679.416	12 900.860
p50	1 686.500	462.850	797.300	4 208.150
sd	5 092.135	3 645.882	6 863.315	20 049.400
min	1.800	1.000	156.900	289.600
max	31 962.200	37 147.100	71 326.100	157 739.200
skewness	2.543	5.577	4.879	3.205
kurtosis	10.552	41.499	40.090	17.982
N	279	408	261	194
	lAG	lGantt	lS	lSPI
mean	7.207	6.241	7.111	8.491
p50	7.431	6.140	6.682	8.345
sd	1.608	1.550	1.467	1.457
min	1.030	0.693	5.062	5.672
max	10.372	10.523	11.175	11.969
skewness	-0.546	-0.573	0.494	0.139
kurtosis	3.555	5.023	2.007	2.091
N	279	408	261	194

Table B.3 Descriptive statistics for the fixation count

	AG	lAG	Gantt	lGantt	S	IS	SPI	ISPI
mean	46.528	3.467	38.251	3.129	10.937	1.959	0.885	0.456
p50	36	3.611	25	3.258	7	2.079	0	0
sd	38.429	1.045	40.503	1.164	13.915	1.048	1.368	0.555
min	0	0	0	0	0	0	0	0
max	210	5.352	244	5.501	97	4.585	10	2.398
skewness	1.376	-1.208	2.118	-0.592	2.822	-0.034	2.531	0.912
kurtosis	4.919	5.083	8.606	3.055	13.630	2.492	11.896	2.947
N	288	288	419	419	284	284	418	418

Table B.4 Descriptive statistics for the average fixation duration (ms)

	AG	lAG	Gantt	lGantt	S	IS	SPI	ISPI
mean	361.148	5.704	317.059	5.586	287.963	5.198	181.647	2.699
p50	351.500	5.865	310.200	5.740	267.050	5.591	0	0
sd	120.545	1.060	117.497	0.973	164.530	1.599	252.689	2.929
min	0	0	0	0	0	0	0	0
max	757.900	6.632	799.700	6.685	916	6.821	1686	7.431
skewness	-0.073	-4.862	0.330	-4.940	0.868	-2.713	1.766	0.195
kurtosis	4.929	26.451	4.661	28.724	4.709	9.159	7.316	1.104
N	288	288	419	419	284	284	418	418

Table B.5 Descriptive statistics for the dwell time (ms)

	AG	sqrtAG	Gantt	sqrtGantt	S	IS	SPI	ISPI
mean	18 368.780	122.496	13 991.080	102.007	4 291.881	6.992	369.646	2.912
p50	13 806.800	117.507	9 431.400	97.121	2 019.600	7.611	0	0
sd	16 322.430	58.106	14 843.040	59.960	7 121.434	2.467	751.924	3.188
min	0	1	0	1	0	0	0	0
max	103 563	321.814	90 309	300.516	65 921.500	11.096	6 744.100	8.817
skewness	1.807	0.387	1.779	0.531	4.340	-1.648	4.317	0.248
kurtosis	7.498	3.349	6.704	2.867	29.523	5.573	27.884	1.201
N	288	288	419	419	284	284	418	418

Table B.6 Descriptive statistics for the glances count

	AG	lAG	Gantt	lGantt	S	IS	SPI	ISPI
mean	6.417	1.747	6.826	1.752	4.067	1.397	0.823	0.441
p50	5	1.792	4	1.609	3	1.386	0	0
sd	6.334	0.709	8.088	0.752	3.683	0.684	1.212	0.531
min	0	0	0	0	0	0	0	0
max	61	4.127	101	4.625	23	3.178	7	2.079
skewness	3.397	0.056	5.061	0.270	2.026	-0.138	2.096	0.851
kurtosis	23.374	3.273	48.581	3.324	8.572	2.906	8.270	2.735
N	288	288	419	419	284	284	418	418

Table B.7 Descriptive statistics for the average dwell time (ms)

	AG	lAG	Gantt	lGantt	S	IS	SPI	ISPI
mean	3 575.874	7.901	2 308.550	7.371	905.791	6.399	425.864	5.867
p50	2 685.286	7.896	1 691.591	7.434	567.540	6.343	350.600	5.862
sd	3 210.747	0.745	2 166.888	0.904	920.947	0.905	333.264	0.599
min	166.900	5.123	116.900	4.770	83.500	4.437	83.500	4.437
max	27 933.130	10.238	18 696.200	9.836	5 992.864	8.698	3 372.100	8.124
skewness	3.113	-0.031	2.583	-0.262	2.349	0.202	4.474	0.171
kurtosis	17.790	3.684	13.982	2.842	10.199	2.237	35.320	3.666
N	279	279	408	408	261	261	194	194

Table B.8 Descriptive statistics for pupillometry data

stats	avgPupilD	minPupilD	maxPupilD	S.D.PupilD	IS.D.PupilD	avg Fix. Dur.	l(avg Fix. Dur.)
mean	-0.384	-0.546	-0.209	0.135	0.124	323.838	5.685
p50	-0.380	-0.510	-0.190	0.123	0.116	290.775	5.676
sd	0.231	0.308	0.238	0.085	0.072	163.136	0.431
min	-1.220	-1.970	-1.140	0	0	83.400	4.436
max	0.320	0.320	0.930	0.919	0.652	2404.600	7.786
skewness	-0.225	-0.424	-0.185	1.648	1.143	2.707	0.283
kurtosis	3.216	3.235	3.865	9.564	6.372	18.998	3.653
N	3302	3302	3302	2808	2808	3302	3302

stats	min avg Fix.	l(min avg Fix. Dur.)	max avg Fix. Dur.	l(max avg Fix. Dur.)	S. D. avg fig dur	l(S.D. avg fix dur)	Fixation count
mean	162.550	4.962	718.207	6.293	207.024	5.009	11.837
p50	133.500	4.902	534.200	6.283	163.598	5.104	6
sd	120.119	0.466	607.809	0.752	173.387	0.911	17.977
min	82.100	4.420	83.400	4.436	0	0	1
max	2404.600	7.786	5642.200	8.638	1888.611	7.544	264
skewness	5.694	1.271	2.372	0.112	2.440	-1.254	4.719
kurtosis	64.348	5.342	11.980	2.589	13.074	7.378	39.659
N	3302	3302	3302	3302	2808	2808	3302

stats	dProfessional	dScore	dRep1	dRep2	dRep3	
mean	0.507	0.707	0.338	0.255	0.407	
p50	1	1	0	0	0	
sd	0.500	0.455	0.473	0.436	0.491	
min	0	0	0	0	0	
max	1	1	1	1	1	
skewness	-0.028	-0.909	0.684	1.126	0.378	
kurtosis	1.001	1.827	1.467	2.268	1.143	
N	3302	3279	3302	3302	3302	

ANNEXE C CORRELATION TABLES

Table C.1 Correlations for the discrete variables - Part 1

	Ordre	dProfessionnel	drepresentation1	drepresentation2	drepresentation3	Score	lAnswerTime	MentalEx.	lPhysicalEx.
Ordre p-value	1								
dProfessionnel p-value	0.018 0.711	1							
drepresentation1 p-value	-0.056 0.254	0.009 0.849	1						
drepresentation2 p-value	0.013 0.790	-0.015 0.757	-0.468 0.000 ****	1					
drepresentation3 p-value	0.042 0.394	0.006 0.911	-0.523 0.000 ****	-0.509 0.000 ****	1				
Score p-value	0.219 0.000 ****	-0.011 0.824	-0.009 0.857	-0.060 0.223	0.066 0.177	1			
lAnswerTime p-value	-0.310 0.000 ****	-0.078 0.109	0.073 0.135	-0.145 0.003 ***	0.069 0.160	-0.088 0.073 *	1		
MentalExigence p-value	-0.162 0.001 ****	0.112 0.022 **	0.008 0.870	-0.024 0.620	0.016 0.750	0.050 0.309	0.079 0.109	1	
lPhysicalExigence p-value	0.013 0.798	0.439 0.000 ****	0.000 1.000	-0.019 0.695	0.019 0.705	0.025 0.614	0.152 0.002 ***	0.429 0.000 ****	1
TemporalExigence p-value	-0.161 0.001 ****	0.490 0.000 ****	-0.041 0.403	0.004 0.941	0.036 0.457	-0.015 0.765	0.035 0.481	0.639 0.000 ****	0.476 0.000 ****
Performance p-value	0.186 0.000 ****	0.504 0.000 ****	0.037 0.451	-0.009 0.860	-0.028 0.573	0.071 0.147	-0.454 0.000 ****	0.029 0.557	-0.027 0.588
Effort p-value	-0.098 0.045 **	0.189 0.000 ****	-0.038 0.443	0.001 0.978	0.035 0.471	0.047 0.339	0.082 0.094 *	0.807 0.000 ****	0.386 0.000 ****
Frustration p-value	-0.210 0.000 ****	-0.320 0.000 ****	-0.099 0.043 **	0.032 0.518	0.066 0.179	-0.124 0.011 **	0.222 0.000 ****	0.001 0.986	-0.061 0.217

Table C.2 Correlations for the discrete variables - Part 2

	TemporalExigence	Performance	Effort	Frustration
TemporalExigence p-value	1			
Performance p-value	0,148 0,002 ***	1		
Effort p-value	0,564 0,000 *****	0,088 0,074 *	1	
Frustration p-value	-0,094 0,056 *	-0,481 0,000 *****	0,107 0,029 **	1

Table C.3 Correlations for the Entry Time in AOI

	Ordre	dProfessionnel	Score	I(AG)	I(Gantt)	I(S)	I(SPI)
Ordre p-value	1						
dProfessionnel p-value	0.018 0.711	1					
Score p-value	0.219 0.000 *****	-0.011 0.824	1				
I(AG) p-value	0.009 0.876	0.124 0.038 **	-0.026 0.672	1			
I(Gantt) p-value	-0.063 0.208	0.013 0.791	-0.083 0.093 *	-0.253 0.000 *****	1		
I(S) p-value	-0.119 0.054 *	0.018 0.778	0.066 0.287	0.000 0.999	-0.333 0.000 *****	1	
I(SPI) p-value	-0.059 0.415	0.063 0.384	0.010 0.889	0.017 0.849	-0.088 0.226	0.148 0.091 *	1

Table C.4 Correlations for the fixation count

Fixation Count	Ordre	dProfessionnel	Score	IAG	I(Gantt)	IS	ISPI
Ordre p-value	1						
dProfessionnel p-value	0.018 0.711	1					
Score p-value	0.219 0.000 *****	-0.011 0.824	1				
IAG p-value	-0.230 0.000 *****	-0.209 0.000 *****	-0.070 0.234	1			
I(Gantt) p-value	-0.211 0.000 *****	-0.110 0.025 **	-0.046 0.347	0.532 0.000 *****	1		
IS p-value	-0.147 0.013 **	-0.226 0.000 *****	-0.036 0.548	0.263 0.001 *****	0.284 0.000 *****	1	
ISPI p-value	-0.097 0.047 **	-0.197 0.000 *****	-0.035 0.473	0.177 0.003 ***	0.127 0.010 ***	0.440 0.000 *****	1

Table C.5 Correlations for the average fixation duration

Avg Fix Dur	Ordre	dProfessionnel	Score	lAG	lGantt	lS	lSPI
Ordre p-value	1						
dProfessionnel p-value	0.018 0.711	1					
Score p-value	0.219 0.000	****	-0.011 0.824	1			
lAG p-value	0.012 0.835	-0.101 0.086	*	-0.077 0.191	1		
lGantt p-value	-0.078 0.112	0.003 0.945		-0.026 0.601	0.063 0.288	1	
lS p-value	0.026 0.662	-0.212 0.000	****	-0.026 0.667	-0.020 0.804	-0.065 0.278	1
lSPI p-value	-0.042 0.387	-0.162 0.001	****	-0.054 0.269	0.042 0.480	0.023 0.636	0.297 0.000
						****	1

Table C.6 Correlations for AOI glances and dwell time

	sqrtDwellAG	sqrtDwellGantt	IDwellIS	IDwellSPI	IGlancesAG	IGlancesGantt	IGlancesS	IGlancesSPI	Score	Order
sqrtDwellAG p-value	1									
sqrtDwellGantt p-value	0,490 **** 0,000	1								
IDwellIS p-value	0,188 ** 0,020	0,187 *** 0,002	1							
IDwellSPI p-value	0,174 *** 0,003	0,076 0,119	0,385 **** 0,000	1						
IGlancesAG p-value	0,727 **** 0,000	0,672 **** 0,000	0,228 *** 0,005	0,194 **** 0,001	1					
IGlancesGantt p-value	0,498 **** 0,000	0,780 **** 0,000	0,315 **** 0,000	0,180 **** 0,000	0,762 **** 0,000	1				
IGlancesS p-value	0,277 **** 0,001	0,344 **** 0,000	0,849 **** 0,000	0,355 **** 0,000	0,416 **** 0,000	0,519 **** 0,000	1			
IGlancesSPI p-value	0,218 **** 0,000	0,112 ** 0,022	0,394 **** 0,000	0,938 **** 0,000	0,244 **** 0,000	0,230 **** 0,000	0,396 **** 0,000	1		
Score p-value	-0,056 0,347	-0,064 0,189	-0,027 0,649	-0,051 0,298	-0,052 0,379	-0,070 0,153	-0,048 0,426	-0,042 0,393	1	
Order p-value	-0,254 **** 0,000	-0,190 **** 0,000	-0,056 0,350	-0,058 0,241	-0,176 *** 0,003	-0,201 **** 0,000	-0,103 * 0,084	-0,096 * 0,050	0,219 **** 0,000	1
lAnsTime p-value	0,827 **** 0,000	0,741 **** 0,000	0,335 **** 0,000	0,192 **** 0,000	0,795 **** 0,000	0,739 **** 0,000	0,463 **** 0,000	0,248 **** 0,000	-0,088 * 0,073	-0,310 **** 0,000

Table C.7 Correlations for AOI average glance time

	lAvgDwAG	lAvgDwGantt	lAvgDwS	lAvgDwSPI	Score	Order	lAnsTime
lAvgDwAG	1						
p-value							
lAvgDwGantt	0.089	1					
p-value	0.149						
lAvgDwS	0.134	-0.053	1				
p-value	0.132	0.401					
lAvgDwSPI	0.126	0.069	0.193 **	1			
p-value	0.160	0.344	0.027				
Score	-0.032	0.006	0.024	0.003	1		
p-value	0.598	0.908	0.698	0.964			
Order	-0.136 **	-0.092 *	-0.131 **	-0.002	0.219 ****	1	
p-value	0.023	0.063	0.034	0.980	0.000		
lAnsTime	0.226 ****	0.343 ****	0.211 ****	0.058	-0.088 *	-0.310 ****	1
p-value	0.000	0.000	0.001	0.422	0.073	0.000	

Table C.8 Correlations for the pupillometry data - Part 1

	avg Pupil D	min Pupil D	max Pupil D	IS.D. Pupil D.	lavg Fix Dur	lmin Fix Dur	lmax Fix Dur	IS.D. Fix Dur	Fix Count	dPro
avg Pupil D	1									
p-value										
min Pupil D	0,873 ****	1								
p-value	0,000									
max Pupil D	0,759 ****	0,439 ****	1							
p-value	0,000	0,000								
IS.D. Pupil D.	-0,202 ****	-0,512 ****	0,315 ****	1						
p-value	0,000	0,000	0,000							
lavg Fix Dur	-0,057 ****	-0,073 ****	-0,005 ****	-0,169 ****	1					
p-value	0,001	0,000	0,794	0,000						
lmin Fix Dur	0,141 ****	0,350 ****	-0,190 ****	-0,239 ****	0,337 ****	1				
p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000					
lmax Fix Dur	-0,149 ****	-0,307 ****	0,121 ****	-0,025 ****	0,827 ****	-0,155 ****	1			
p-value	0,000	0,000	0,000	0,191	0,000	0,000				
IS.D. Fix Dur	-0,086 ****	-0,141 ****	0,025 ****	-0,042 **	0,765 ****	-0,164 ****	0,871 ****	1		
p-value	0,000	0,000	0,190	0,027	0,000	0,000	0,000			
Fix Count	-0,179 ****	-0,392 ****	0,153 ****	0,108 ****	0,181 ****	-0,407 ****	0,498 ****	0,271 ****	1	
p-value	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
dPro	0,235 ****	0,185 ****	0,173 ****	-0,040 **	0,027	0,012	0,009	0,050 ***	-0,054 ***	1
p-value	0,000	0,000	0,000	0,036	0,122	0,502	0,590	0,008	0,002	
Score	-0,089 ****	-0,062 ****	-0,063 ****	0,044 **	-0,001	0,040 **	-0,025	-0,025	-0,048 ***	-0,022
p-value	0,000	0,000	0,000	0,020	0,952	0,024	0,161	0,197	0,006	0,215
dRep1	-0,024	-0,027	-0,019	-0,009	0,029 *	-0,004	0,035 **	0,032 *	0,031 *	0,018
p-value	0,170	0,116	0,273	0,644	0,094	0,842	0,042	0,093	0,073	0,313
dRep2	0,078 ****	0,055 ***	0,073 ****	-0,004	-0,004	0,006	-0,005	-0,015	-0,018	0,007
p-value	0,000	0,002	0,000	0,852	0,827	0,720	0,792	0,431	0,298	0,711
dRep3	-0,046 ***	-0,023	-0,046 ***	0,012	-0,025	-0,002	-0,030 *	-0,017	-0,014	-0,023
p-value	0,008	0,191	0,008	0,540	0,156	0,900	0,085	0,360	0,421	0,193
AG	-0,089 ****	-0,019	-0,159 ****	-0,049 ***	-0,010	0,090 ****	-0,079 ****	-0,033 *	-0,099 ****	-0,001
p-value	0,000	0,265	0,000	0,010	0,578	0,000	0,000	0,077	0,000	0,972
Gantt	0,054 ***	0,043 **	0,027	0,001	-0,084 ****	-0,007	-0,089 ****	-0,078 ****	-0,059 ****	0,006
p-value	0,002	0,014	0,119	0,975	0,000	0,699	0,000	0,000	0,001	0,725
S	-0,034 *	-0,033 *	0,003	0,042 **	-0,025	-0,039 **	-0,006	-0,021	-0,012	-0,005
p-value	0,050	0,055	0,846	0,027	0,151	0,026	0,713	0,273	0,484	0,773
SPI	0,018	0,111 ****	-0,119 ****	-0,093 ****	0,086 ****	0,319 ****	-0,091 ****	-0,002	-0,130 ****	-0,029 *
p-value	0,312	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,903	0,000	0,095

Table C.9 Correlations for the pupillometry data - Part 2

	Score	dRep1	dRep2	dRep3	AG	Gantt	S	SPI
Score p-value	1							
dRep1 p-value	-0.001 0.938	1						
dRep2 p-value	-0.059 **** 0.001	-0.418 **** 0.000	1					
dRep3 p-value	0.053 *** 0.002	-0.592 **** 0.000	-0.484 **** 0.000	1				
AG p-value	0.011 0.530	0.073 **** 0.000	-0.139 **** 0.000	0.053 *** 0.002	1			
Gantt p-value	0.009 0.599	-0.014 0.407	0.069 **** 0.000	-0.047 *** 0.006	-0.075 **** 0.000	1		
S p-value	0.003 0.885	-0.195 **** 0.000	0.151 **** 0.000	0.053 *** 0.002	-0.065 **** 0.000	-0.087 **** 0.000	1	
SPI p-value	-0.005 0.798	-0.010 0.561	0.034 ** 0.050	-0.021 0.239	-0.056 *** 0.001	-0.074 **** 0.000	-0.065 **** 0.000	1

ANNEXE D REGRESSION TABLES

Table D.1 Regressions for the discrete variables

Variable	Score	lAnswerTime	MentalEx.	lPhysicalEx.	TemporalEx.	Performance	Effort	Frustration
Ordre	Coef.	0.069	-0.036	-0.423	0.003	-0.543	0.436	-0.305
	(S.E.)	0.013	0.008	0.197	0.010	0.216	0.173	0.235
	p-value	0.000	0.000	0.048	0.807	0.023	0.022	0.005
dProfessionnel	-0.072 0.236 0.759	-0.130 0.288 0.658						
dRepA	0.218	0.254	0.587	0.044	-1.922	1.408	-1.438	-5.383
	0.237	0.081	2.793	0.117	2.729	2.088	3.244	1.853
	0.357	0.006	0.836	0.715	0.491	0.510	0.663	0.010
dRepC	0.391	0.279	1.172	0.077	1.159	-0.507	1.050	1.221
	0.337	0.084	2.261	0.134	2.750	1.544	3.022	1.989
	0.247	0.004	0.611	0.574	0.679	0.747	0.733	0.548
Score		-0.059 0.081 0.473						
__cons	-0.228 0.304 0.454	10.614 0.224 0.000	61.407 5.646 0.000	1.692 0.392 0.001	44.118 5.668 0.000	61.593 5.065 0.000	57.634 5.535 0.000	40.435 7.867 0.000
Statistics								
N	419.000	419.000	419.000	419.000	419.000	419.000	419.000	419.000
ll	-248.173	-503.457	-1 816.400	-753.888	-1 915.980	-1 763.600	-1 881.270	-1 938.970
ll_0	-259.491	-530.917	-1822.090	-754.019	-1 922.080	-1 771.460	-1 883.770	-1 951.210
chi2	44.503							
F		9.483	2.125	0.216	5.960	3.129	1.353	5.297
r2		0.123	0.027	0.001	0.029	0.037	0.012	0.057
r2_p	0.044							
r2_a		0.112	0.020	-0.007	0.022	0.030	0.005	0.050
p	0.000	0.000	0.137	0.884	0.006	0.055	0.293	0.010

Table D.2 Regressions for the Entry Time in AOI

Variable		lAG	lGantt	lS	lSPI
Ordre	Coef.	0.003	-0.010	-0.028 *	-0.014
	(S.E.)	0.014	0.019	0.016	0.021
	p-value	0.860	0.593	0.097	0.526
dProfessionnel		0.394	0.043	0.078	0.211
		0.344	0.296	0.338	0.397
		0.268	0.886	0.820	0.604
Score		-0.077	-0.243	0.277	0.082
		0.264	0.142	0.166	0.313
		0.775	0.106	0.115	0.797
__cons		7.024 ****	6.519 ****	7.258 ****	8.517 ****
		0.280	0.205	0.237	0.279
		0.000	0.000	0.000	0.000
Statistics					
N		279	408	261	194
ll		-525.617	-755.314	-466.932	-346.890
ll_0		-527.856	-757.193	-469.894	-347.760
chi2					
F		0.748	1.222	1.789	0.222
r2		0.016	0.009	0.022	0.009
r2_p					
r2_a		0.005	0.002	0.011	-0.007
p		0.539	0.334	0.190	0.880

Table D.3 Regressions for the fixation count

Variable		lAG	lGantt	IS	ISPI
Ordre	Coef.	-0.032 **	-0.034 ***	-0.019 *	-0.007
	(S.E.)	0.011	0.009	0.010	0.005
	p-value	0.011	0.002	0.084	0.186
Score		-0.075	-0.004	-0.022	-0.019
		0.145	0.110	0.176	0.061
		0.612	0.971	0.902	0.755
dProfessionnel		-0.433	-0.246	-0.457	-0.217
		0.293	0.433	0.286	0.164
		0.158	0.577	0.129	0.204
_cons		4.161 ****	3.705 ****	2.471 ****	0.675 ****
		0.268	0.332	0.228	0.138
		0.000	0.000	0.000	0.000
Statistics					
N		288	419	284	418
ll		-406.318	-645.703	-405.573	-336.144
ll_0		-420.885	-657.708	-415.755	-346.430
chi2					
F		5.529	5.745	3.903	2.024
r2		0.096	0.056	0.069	0.048
r2_p					
r2_a		0.087	0.049	0.059	0.041
p		0.008	0.007	0.029	0.151

Table D.4 Regressions for the average fixation duration

Variable		lAG	lGantt	IS	ISPI
Order	Coef.	0.005	-0.010	0.010	-0.012
	(S.E.)	0.008	0.009	0.014	0.021
	p-value	0.583	0.294	0.505	0.575
Score		-0.206 *	-0.019	-0.105	-0.310
		0.099	0.096	0.183	0.185
		0.055	0.847	0.574	0.113
dProfessionnal		-0.223	0.009	-0.684 *	-0.950
		0.268	0.208	0.332	0.891
		0.418	0.966	0.056	0.302
_cons		5.906 ****	5.730 ****	5.497 ****	3.564 ****
		0.105	0.099	0.231	0.681
		0.000	0.000	0.000	0.000
Statistics					
N		288	419	284	418
ll		-422.215	-581.228	-528.978	-1035.450
ll_0		-424.813	-582.520	-535.854	-1041.860
chi2					
F		2.016	0.690	1.525	3.582
r2		0.018	0.006	0.047	0.030
r2_p					
r2_a		0.008	-0.001	0.037	0.023
p		0.152	0.571	0.2463892	0.037

Table D.5 Regressions about the score and lAnswerTime with AOI consultation by the participant - Part 1

Variable		Score	lAnswerTime	Score	lAnswerTime
Ordre	Coef.	0.007 *	-0.009 ***	0.008 **	-0.014 **
	(S.E.)	0.004	0.003	0.004	0.006
	p-value	0.074	0.007	0.046	0.024
sqrtDwellAG		0.000	0.008 ****		
		0.001	0.001		
		0.914	0.000		
sqrtDwellGantt		0.000	0.006 ****		
		0.001	0.001		
		0.652	0.000		
lDwells		0.005	0.047 ****		
		0.018	0.011		
		0.792	0.001		
lDwellSPI		-0.003	0.006		
		0.016	0.009		
		0.878	0.481		
lGlancesAG				-0.014	0.575 ****
				0.084	0.102
				0.865	0.000
lGlancesGantt				-0.007	0.325 **
				0.063	0.122
				0.908	0.017
lGlancesS				0.043	0.136
				0.087	0.081
				0.630	0.115
lGlancesSPI				-0.018	0.016
				0.096	0.070
				0.851	0.818
__cons		0.628 ****	8.493 ****	0.620 ****	8.770 ****
		0.154	0.179	0.128	0.196
		0.001	0.000	0.000	0.000
Statistics					
N		152	152	152	152
ll		-90.666	-23.223	-90.619	-99.625
ll_0		-92.205	-192.157	-92.205	-192.157
chi2					
F		1.210	64.360	1.385	53.647
r2		0.020	0.892	0.021	0.704
r2_p					
r2_a		-0.014	0.888	-0.013	0.694
p		0.349	0.000	0.282	0.000

Table D.6 Regressions about the score and lAnswerTime with AOI consultation by the participant - Part 2

Variable		Score	lAnswerTime
Ordre	Coef.	0,001	-0,041 ****
	(S.E.)	0,006	0,010
	p-value	0,889	0,001
lAvgDwTimeAG		-0,032	0,212
		0,079	0,154
		0,688	0,191
lAvgDwTimeGantt		0,042	0,321 **
		0,065	0,114
		0,529	0,015
lAvgDwTimeS		0,129 ***	0,152 *
		0,036	0,074
		0,004	0,060
lAvgDwTimeSPI		0,025	-0,126
		0,089	0,144
		0,786	0,396
__cons		-0,316	6,896 ***
		0,435	1,838
		0,481	0,002
Statistics			
N		64	64
ll		-37,209	-57,095
ll_0		-39,652	-74,308
chi2			
F		5,522	22,580
r2		0,074	0,416
r2__p			
r2__a		-0,006	0,366
p		0,006	0,000

Table D.7 Regression for the pupillometry data

Variable		Avg Pupil D	Min Pupil D	Max Pupil D	IS.D. Pupil D
dScore	Coef,	-0.024	-0.029	-0.003	0.008
	(S.E.)	0.024	0.034	0.017	0.005
	p-value	0.324	0.406	0.858	0.139
Ordre		-0.006 ****	-0.003 **	-0.009 ****	-0.001 **
		0.001	0.001	0.001	0.000
		0.000	0.016	0.000	0.041
dRepA		-0.038 *	-0.046 *	-0.030	0.005
		0.022	0.025	0.022	0.004
		0.100	0.085	0.183	0.169
dRepC		-0.035	-0.033	-0.033	0.005
		0.029	0.032	0.027	0.004
		0.247	0.319	0.251	0.243
dPro		0.110	0.119	0.083	-0.008
		0.083	0.111	0.054	0.014
		0.203	0.300	0.144	0.564
AG		-0.078 ****	-0.005	-0.166 ****	-0.017 ***
		0.019	0.021	0.023	0.005
		0.001	0.832	0.000	0.006
Gantt		0.034 ***	0.048 ***	0.003	-0.001
		0.011	0.015	0.017	0.004
		0.006	0.005	0.880	0.821
S		-0.032 **	-0.028	-0.012	0.010
		0.015	0.028	0.017	0.009
		0.045	0.326	0.502	0.275
SPI		0.018	0.158 ***	-0.133 ***	-0.041 ***
		0.034	0.041	0.035	0.011
		0.601	0.001	0.002	0.001
__cons		-0.317 ****	-0.527 ****	-0.088 *	0.128 ****
		0.073	0.096	0.045	0.010
		0.000	0.000	0.069	0.000
Statistics					
N		3262	3262	3262	2774
ll		333.326	-673.979	319.018	3477.350
ll_0		146.655	-778.898	51.782	3441.940
chi2					
F		26.801	21.599	28.465	11.218
r2		0.108	0.062	0.151	0.025
r2_p					
r2_a		0.106	0.060	0.149	0.022
p		0.000	0.000	0.000	0.000

Table D.8 Regression for the fixation duration and fixation count

Variable		lAvg Fix Dur	lMin Fix Dur	lMax Fix Dur	lS.D. Fix Dur	Fix Count
dScore	Coef,	0,008	0,025	-0,007	-0,028	-0,889
	(S.E.)	0,021	0,033	0,037	0,041	1,317
	p-value	0,720	0,460	0,854	0,513	0,509
Ordre		-0,002	0,006 ****	-0,010 **	-0,004	-0,364 ****
		0,002	0,001	0,004	0,004	0,066
		0,368	0,000	0,013	0,266	0,000
dRepA		-0,002	-0,018	0,014	0,022	1,046
		0,028	0,026	0,042	0,042	1,322
		0,954	0,510	0,752	0,601	0,440
dRepC		-0,026	-0,013	-0,043	-0,024	0,061
		0,021	0,017	0,037	0,047	1,243
		0,244	0,458	0,262	0,609	0,962
dPro		0,035	0,020	0,027	0,107	-1,856
		0,058	0,068	0,099	0,095	2,932
		0,558	0,768	0,791	0,275	0,536
AG		-0,027	0,226 ****	-0,318 ****	-0,188 *	-9,298 ****
		0,039	0,042	0,046	0,102	1,344
		0,495	0,000	0,000	0,083	0,000
Gantt		-0,127 ***	0,032	-0,280 ***	-0,257 **	-4,846 ****
		0,043	0,030	0,085	0,111	1,113
		0,009	0,291	0,005	0,034	0,000
S		-0,044	-0,022	-0,072	-0,100	-1,846
		0,070	0,027	0,123	0,136	1,429
		0,532	0,440	0,565	0,471	0,215
SPI		0,146 ***	0,677 ****	-0,361 ****	-0,053	-11,700 ****
		0,048	0,056	0,078	0,136	1,717
		0,008	0,000	0,000	0,705	0,000
__cons		5,711 ****	4,816 ****	6,504 ****	5,081 ****	19,542 ****
		0,063	0,063	0,094	0,103	3,108
		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Statistics						
N		3262	3262	3262	2774	3262
ll		-1855,240	-1917,920	-3633,480	-3651,550	-13956,600
ll_0		-1884,530	-2136,010	-3698,480	-3671,100	-14062,500
chi2						
F		7,553	49,155	43,891	8,200	14,282
r2		0,018	0,125	0,039	0,014	0,063
r2_p						
r2_a		0,015	0,123	0,036	0,011	0,060
p		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000