UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉVALUATION D'UN OUTIL DE MESURE DE LA COMPLEXITÉ DES PROCÉDURES

MARIE-ÈVE DENIS

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ

EN VUE DE L'OBTENTION

DU DIPLÔME DE MAÎTRISE EN SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE INDUSTRIEL)

DÉCEMBRE 2010

© Marie-Ève Denis, 2010.

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

ÉVALUATION D'UN OUTIL DE MESURE DE LA COMPLEXITÉ DES PROCÉDURES

PRÉSENTÉ PAR : DENIS Marie-Ève

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise en Sciences Appliquées
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. CHINNIAH, Yuvin, Ph.D., président

M. ROBERT, Jean-Marc, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. FRAYRET, Jean-Marc, Ph.D., membre

REMERCIEMENTS

Derrière tout projet de recherche se cache une panoplie de personnes importantes. Parmi celles-ci, je voudrais prendre le temps d'en remercier quelques-unes qui ont été très influentes au cours de cette recherche :

- Monsieur Jean-Marc Robert, pour avoir accepté d'être mon directeur de recherche, mais surtout pour son expertise et son dévouement.
- La compagnie Shumac Inc. pour m'avoir offert l'opportunité de travailler sur un projet formidable avec des gens extraordinaires. Clin d'œil à Monsieur Jean-Yves Fiset, Madame Anne Deputter et Madame Mélanie Hamelin pour leur support, leurs encouragements et toute leur aide.
- L'École Polytechnique de Montréal et plus précisément aux professeurs du département de mathématiques et de génie industriel pour m'avoir enrichie de leurs connaissances autant lors de mon baccalauréat qu'aux études supérieures.
- Tous les étudiants et jeunes finissants en ingénierie qui ont participé aux expérimentations.
- Famille et ami(e)s pour leur présence, et plus particulièrement mes parents à qui je dois une partie de ce que je suis devenue !
- Un merci spécial à Isabelle qui remplit de bonheur chacune de mes journées !

RÉSUMÉ

Nous retrouvons des procédures dans toutes les sphères du marché du travail. Que ce soit pour assister un pilote lors du décollage d'un avion ou pour guider un opérateur de maintenance dans la réparation d'une machine, les procédures représentent un outil indispensable pour détailler les étapes à suivre afin d'accomplir une tâche avec un but précis. Les procédures se doivent d'être suffisamment simples pour que tous les travailleurs, autant les novices que les experts, soient en mesure de les exécuter avec succès. À ce jour, le seul outil automatisé pour quantifier le niveau de complexité d'une procédure est le module SPARK lite, qui a été développé par la compagnie Systèmes Humains-Machines Inc. (Shumac). Toutefois, Spark lite n'a jamais été validé. Le but de cette recherche est donc d'évaluer si SPARK lite est capable de produire des scores de complexité similaires à ceux d'un modèle de référence valide, TACOM.

Dans un premier temps, une revue de littérature couvrant trois sujets (les procédures, la complexité des procédures et les méthodes d'évaluation de la complexité des procédures) nous expose l'importance de quantifier le degré de complexité d'une procédure. Cette revue nous présente également les différents facteurs pouvant affecter le niveau de complexité d'une procédure, tout en présentant la seule méthode d'évaluation de la complexité qui intègre plusieurs facteurs, soit la méthode TACOM, qui n'est pas automatisée.

Dans un deuxième temps, une analyse détaillée de SPARK lite nous explique le fonctionnement de cet outil. Une présentation des deux facteurs considérés dans SPARK lite nous montre comment ceux-ci sont intégrés dans une seule équation, soit :

$$SPARK\ lite = \alpha * (100 - Flesch) + \beta * CC$$

Le premier facteur considéré dans SPARK lite est la lisibilité qui est caractérisée par l'indice de Flesch. Le deuxième facteur est la complexité cyclomatique (CC) qui compte le nombre de point de décision (if, when) dans la procédure. Nous émettons comme hypothèse de départ que les deux facteurs affectent de façon équivalente le niveau de complexité d'une procédure, ce qui veut dire que nous fixons les coefficients α et β à 0,5.

Dans un troisième temps, le score de 10 procédures obtenu à l'aide de SPARK lite est comparé avec le score produit par le modèle de référence valide TACOM. Cette comparaison permet de vérifier que l'écart moyen entre les scores de notre modèle et ceux du modèle de référence est égal à 15% lorsque les coefficients sont α=0,7 et β=0,3.

Dans un quatrième temps, une expérimentation au cours de laquelle 10 participants devaient suivre des procédures simples et complexes, nous a permis de vérifier ces deux aspects :

- les deux facteurs considérés dans SPARK lite affectent réellement le niveau de complexité d'une procédure ;
- la lisibilité affecte plus le niveau de complexité d'une procédure que la complexité cyclomatique.

C'est en comparant, à l'aide du test statistique Student, le temps d'exécution, le nombre d'erreurs et la charge mentale de travail des participants, que nous avons constaté qu'il y a une différence significative sur ces trois variables dépendant si la procédure a un indice de Flesch faible versus élevé ou une complexité cyclomatique faible versus élevée. De plus, cette différence est toujours plus marquée dans le cas de la lisibilité, ce qui vient démontrer que l'influence de l'indice de Flesch sur la complexité d'une procédure est plus importante que la complexité cyclomatique.

La conclusion majeure de ce mémoire est que l'outil SPARK lite donne des scores de complexité représentatifs de la vraie complexité d'une procédure, car nous obtenons un écart moyen de 15% entre les scores produits par SPARK lite et ceux produits par le modèle de référence TACOM, ce qui est considéré faible. SPARK lite pourrait donc être utilisé par toutes les entreprises qui emploient des procédures afin que celles-ci se fixent un seuil de complexité que leurs procédures ne doivent pas dépasser. Par ailleurs, SPARK lite pourrait être jumelé à un outil de conception de procédures. Cet outil pourrait aider les concepteurs en leur indiquant un lexique de mots établis qu'ils peuvent inclure dans la procédure, tout en leur indiquant le score de complexité ainsi que des pistes d'amélioration pour la rendre plus simple. En diminuant le niveau de complexité d'une procédure, on réduit son temps d'exécution tout en minimisant le risque d'erreurs.

ABSTRACT

We find procedures in all fields of the labour market. Whether they are used to assist a pilot during the takeoff of an airplane or to guide a maintenance operator in the repair of a piece of equipment, procedures are an essential tool for detailing all the steps that are required to accomplish a task with a specific goal. The procedures must be simple enough to make sure that all the workers, beginners as well as experts, can successfully accomplish them. Currently, the only tool that automatically quantifies the level of complexity of a procedure is the SPARK lite module, which was developed by Systèmes Humains-Machines Inc. (Shumac). However, SPARK lite has never been validated. The purpose of this research is to assess if SPARK lite is able to produce a complexity score similar to a well-known validated tool, TACOM.

Firstly, a literature review covering three topics (procedures, complexity of procedures and methods for evaluating the complexity of a procedure) shows the importance of quantifying the degree of complexity of a procedure. This literature review presents different factors that may affect the level of complexity of a procedure and describes the only method that incorporates several factors together to quantify the level of complexity of a procedure, the TACOM method, which is not automated.

Secondly, a detailed analysis of SPARK lite shows how the tool works. A presentation of the two factors that are considered in SPARK lite demonstrates how they are integrated into a single equation:

$$SPARK\ lite = \alpha * (100 - Flesch) + \beta * CC$$

The first factor considered by SPARK lite is the readability, which is characterized by the Flesch index. The second factor is the cyclomatic complexity (CC) which counts the number of decision points (if, when) in the procedure. We put forth the hypothesis that the two factors considered in SPARK lite equally affect the level of complexity of a procedure, which means that we need to put the coefficients α and β at 0,5.

Thirdly, we compare the score of 10 procedures obtained using SPARK lite with the score produced by the valid reference model TACOM. This comparison verifies that the average difference between the scores of our model and those of the reference model is equal to 15% when the coefficients used are α=0,7 and β=0,3.

Fourthly, an experiment in which 10 participants had to follow simple and complex procedures, allowed us to test these two aspects:

- the two factors considered in SPARK lite really affect the level of complexity of a procedure;
- the readability affects more the level of complexity of a procedure than the cyclomatic complexity.

Using the statistical Student test, we then compare the execution time, the number of errors and the mental workload of the participants. We found that there is a significant difference on these three variables depending if the procedure has a Flesch index low versus high or a cyclomatic complexity low versus high. Moreover, it has been demonstrated that this difference is more apparent in the case of readability (Flesch index) than the cyclomatic complexity.

The major conclusion of this thesis is that SPARK lite gives representative complexity scores that reflect the actual level of complexity of a procedure, as we get an average difference of 15% between the scores produced by SPARK lite and those produced by the reference model TACOM. This demonstrates that SPARK lite could be used by all companies which employ procedures. These companies will be able to set a threshold of complexity that those procedures should not exceed. Moreover, SPARK lite could be used in conjunction with a tool that will help designing procedures. This tool could assist designers by showing them a lexicon of the accepted words they can use in a procedure. This tool, while indicating the global score of complexity, could also suggest possible improvements to make the procedure less complex. By reducing the complexity of a procedure, we minimize the time necessary to do the task, as well as minimizing the risk of errors.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS iii

RÉSUMÉ iv

ABSTRACT vi

LISTE DES TABLEAUX xi

LISTE DES FIGURES xiv

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS xv

LISTE DES ANNEXES xvi

CHAPITRE 1. INTRODUCTION 1

1.1. Contexte 1

1.2. Limites de cette recherche 3

1.3. Problématique 4

1.4. Objectif de la recherche 4

1.5. Organisation du mémoire 5

CHAPITRE 2. REVUE DE LITTÉRATURE 6

2.1. Procédure 7

2.1.1. Définition d'une procédure 7

2.1.2. Importance des procédures 8

2.1.3. Modes de présentation des procédures 12

2.1.4. Manière d'écrire une procédure 14

2.1.5. Résistance aux procédures 17

2.1.6. Impacts d'une mauvaise procédure 19

2.2. Complexité des procédures 21

2.2.1. Définition de la complexité des procédures 21

2.2.2. Facteurs influençant la complexité des procédures 22

2.2.3. Impacts d'une procédure complexe 27

2.3. Méthode d'évaluation de la complexité des procédures 30

2.3.1. Comment évaluer la complexité d'une procédure? 30

2.3.2. Mesure des facteurs affectant la complexité des procédures.....31

2.3.3. Outil d'évaluation de la complexité des procédures 33

CHAPITRE 3. ANALYSE DÉTAILLÉE DE SPARK LITE.....43

3.1. Raison d'être de SPARK lite 43

3.2. Fonctionnement de SPARK lite.....44

3.3. Facteurs considérés dans SPARK lite 45

3.4. Hypothèse au sujet de SPARK lite 50

CHAPITRE 4. COMPARAISON DE SPARK LITE AVEC TACOM 51

4.1. Modèle de référence 51

4.2. Démarche de comparaison.....51

Étape 1 : Trouver 10 procédures.....51

Étape 2 : Calculer le score de complexité avec TACOM.....57

Étape 3 : Ajuster TACOM.....59

Étape 4 : Calculer le score de complexité avec SPARK lite.....61

Étape 5 : Ajuster SPARK lite.....64

Étape 6 : Effectuer une analyse de sensibilité 65

Étape 7 : Modèle final 67

CHAPITRE 5. EXPÉRIMENTATION DE SPARK LITE 69

5.1. Mise en contexte 69

5.1.1. Expérimentation de l'outil FIT 69

5.1.2. Critères de sélection des participants 72

5.1.3. État des participants lors des tests 74

5.2. Objectifs de l'expérimentation pour le module SPARK lite 74

5.3. Méthodologie pour l'expérimentation du module SPARK lite 75

5.3.1. Variation de l'indice de Flesch 75

5.3.2. Variation de la complexité cyclomatique 77

5.4. Résultats 79

5.4.1. Variation de l'indice de Flesch 79

5.4.2. Variation de la complexité cyclomatique 86

CHAPITRE 6. CONCLUSION 90

6.1. Contribution à l'avancement des connaissances 91

6.2. Limites de la recherche 91

6.3. Voies de recherche à explorer 91

CHAPITRE 7. RÉFÉRENCES 93

ANNEXE A. EXEMPLE D'ÉVALUATION DE LA PROCÉDURE 8 PAR TACOM 96

ANNEXE B. ANALYSE DE SENSIBILITÉ 120

ANNEXE C. 6 PROCÉDURES DE L'EXPÉRIENCE DE CHIMIE 138

ANNEXE D. 2 PROCÉDURES DE L'EXPÉRIENCE DE SURVEILLANCE DE SYSTÈME 147

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Raisons d'utilisation d'une procédure (tiré de Bailey 1996, traduction libre) 9
Tableau 2-2 : Relation entre les erreurs et leurs caractéristiques 11
Tableau 2-3 : Règles à prendre en compte lors de l'écriture d'une procédure 16
Tableau 2-4 : Raisons pour lesquelles les procédures ne sont pas utilisées 18
Tableau 2-5 : Trois groupes de facteurs affectant la complexité (tiré de Park 2009, page 33) 22
Tableau 2-6 : Procédure avec plusieurs chemins (tiré de Park 2009, page 28) 25
Tableau 2-7 : Facteurs et métriques pour quantifier la complexité des procédures 32
Tableau 2-8 : Les quatre niveaux de connaissance selon la hiérarchie d'abstraction (tiré de Park 2009, page 80) 36
Tableau 2-9 : Les quatre niveaux de décision (tiré de Park 2009, page 87) 37
Tableau 2-10 : Flèches entrant et sortant de chaque nœud 38
Tableau 2-11 : Regroupement des "entrants" et "sortants" dans une même classe 39
Tableau 2-12 : Voisins de chacun des nœuds du graphique ACG 40
Tableau 2-13 : Regroupement de tous les nœuds possédant les mêmes voisins dans une même classe 40
Tableau 2-14- Facteurs de complexité associés à l'équation d'entropie 41
Tableau 3-1 : Interprétation des scores de Flesch (tiré de Sanders & McCormick, 1993) 47
Tableau 4-1 : Procédure #1 (tirée de Park 2009, page 103) 52
Tableau 4-2 : Procédure #2 (tirée de Park 2009, page 103) 52
Tableau 4-3 : Procédure #3 52
Tableau 4-4 : Procédure #4 53
Tableau 4-5 : Procédure #5 53
Tableau 4-6 : Procédure #6 54
Tableau 4-7 : Procédure #7 54
Tableau 4-8 : Procédure #8 55
Tableau 4-9 : Procédure #9 55
Tableau 4-10 : Procédure #10 56

Tableau 4-11 : Valeur des variables de complexité pour les 10 procédures 57
Tableau 4-12 : Valeur de TS, TR et TU pour les 10 procédures.....58
Tableau 4-13 : Score de complexité selon TACOM 59
Tableau 4-14 : Score de complexité selon TACOM sans EDC.....61
Tableau 4-15 : Valeur des variables de SPARK lite 62
Tableau 4-16 : Valeur des deux facteurs d'influence dans SPARK lite 63
Tableau 4-17 : Score de complexité selon SPARK lite 64
Tableau 4-18 : Écarts moyens entre les scores de SPARK lite et ceux de TACOM.....67
Tableau 5-1 : Horaire de l'expérimentation 70
Tableau 5-2 : Profil des participants.....73
Tableau 5-3 : Données brutes des procédures #12-#3 ayant un indice de Flesch simple.....79
Tableau 5-4 : Données normalisées des procédures #12-#3 ayant un indice de Flesch simple....80
Tableau 5-5 : Données brutes des procédures #6-#7 ayant un indice de Flesch complexe.....81
Tableau 5-6 : Données normalisées des procédures #6-#7 ayant un indice de Flesch complexe.82
Tableau 5-7 : Données brutes de la procédure ayant un score de complexité cyclomatique nul 86
Tableau 5-8 : Données brutes de la procédure ayant un score de complexité cyclomatique égal à 112.....87
Tableau A-1 : Action par étape.....97
Tableau A-2 : Caractéristique de chaque action 100
Tableau A-3 : Indicateurs et contrôleurs nécessaires pour chaque DA 101
Tableau A-4 : Type de spécification de l'action.....101
Tableau A-5 : Identification des DI 102
Tableau A-6 : Identification du niveau d'abstraction 103
Tableau A-7 : Identification du niveau de décision 104
Tableau A-8 : Arcs entrant et sortant de la figure A-2 108
Tableau A-9 : Sommaire de tous les arcs entrant et sortant de la figure A-2.....109
Tableau A-10 : Voisins de tous les nœuds de la figure A-2 110
Tableau A-11 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-2 111
Tableau A-12 : Voisins de tous les nœuds de la figure A-3 112

Tableau A-13 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-3 113
Tableau A-14 : Voisins des tous les nœuds de la figure A-4 113
Tableau A-15 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-4 115
Tableau A-16 : Voisins des tous les nœuds de la figure A-5 116
Tableau A-17 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-5 118
Tableau B-1 : Scores de TACOM sans la variable EDC.....120
Tableau B-2 : Variables de SPARK lite comparaison #1 121
Tableau B-3 : Variables de SPARK lite comparaison #2 125
Tableau B-4 : Variables de SPARK lite comparaison #3 129
Tableau B-5 : Variables de SPARK lite comparaison #4 133

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1: Facteurs considérés dans FIT 2
Figure 2-1 : Modes de présentation des procédures 13
Figure 2-2 : Séquence d'actions pour faire des biscuits au four (tiré de Park 2009, page 28) 24
Figure 2-3 : Procédure avec plusieurs chemins (tiré de Park 2009, page 28) 24
Figure 2-4 : Ishikawa des facteurs influant sur la complexité des procédures 26
Figure 2-5 : Attribution des ressources attentionnelles (lecture) (tiré de Wieringa et al. 1998, page 10) 27
Figure 2-6 : Attribution des ressources attentionnelles (lecture + exécution) (tiré de Wieringa et al. 1998, page 12) 28
Figure 2-7 : Raccourci emprunté par les opérateurs lorsque la procédure est complexe (tiré de Park 2009, page 18) 29
Figure 2-8 : Exemple de graphique ISG 34
Figure 2-9 : Exemple de graphique ACG 35
Figure 2-10 : Exemple de graphique AHG 36
Figure 2-11 : Exemple de graphique EDG 37
Figure 3-1 : Exemple d'interface utilisateur de SPARK lite (prototype) 45
Figure 3-2 : Ishikawa des facteurs considérés par SPARK lite 46
Figure 5-1 : Effet du nombre d'heures d'éveil sur la performance humaine 72
Figure 5-2 : Poste de travail de l'expérience de chimie 76
Figure 5-3 : Poste de travail de l'expérience de vérification de système 77
Figure A-1 : Séquence d'action pour chacune des étapes 98
Figure A-2 : Graphiques ACG 105
Figure A-3 : Graphiques ISG 105
Figure A-4 : Graphiques AHG 106
Figure A-5 : Graphiques EDG 107

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS

Sigle/Abréviation	Signification
ACG	Action Control Graph
AHC	Abstraction Hierarchy Complexity
AHG	Abstraction Hierarchy Graph
ASC	Agence Spatiale Canadienne
B	Boolean
DA	Distinctive Action
DI	Distinctive Information
ED	Engineering Decision
EDC	Engineering Decision Complexity
EDG	Engineering Decision Graph
F	Float
ISG	Information Structured Graph
LOC	Line Of Code
SIC	Step Information Complexity
SLC	Step Logic Complexity
SPARK	Shumac Procedure Assessment and Review Knowledge
SSC	Step Size Complexity
TACOM	TAsk COMplexity
TR	Task Structurability
TS	Task Scope
TU	Task Uncertainty

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A. EXEMPLE D'ÉVALUATION DE LA PROCÉDURE 8 PAR TACOM 96

ANNEXE B. ANALYSE DE SENSIBILITÉ 120

ANNEXE C. 6 PROCÉDURES DE L'EXPÉRIENCE DE CHIMIE 138

ANNEXE D. 2 PROCÉDURES DE L'EXPÉRIENCE DE SURVEILLANCE DE SYSTÈME 147

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

1.1. Contexte

Depuis sa création en 1989, l'Agence Spatiale Canadienne (ASC) a toujours été à l'affût des innovations technologiques. En février 2009, elle a émis un appel d'offres sur le site Internet Merx. Cet appel public permettait à toute entreprise intéressée de soumettre une proposition de projet dans le but de développer de nouvelles technologies pour les missions futures. C'est dans ce contexte que la compagnie Systèmes Humains-Machines Inc. (Shumac) a présenté le projet « Fitness for tasks » (FIT) qui consiste à évaluer le niveau de fiabilité d'un opérateur à effectuer une tâche donnée dans une situation donnée, soit sur Terre ou dans l'espace. Après un long processus d'appel d'offres, l'ASC a finalement décerné le contrat à la compagnie Shumac.

Le projet a débuté le 22 juin 2009 et prendra fin au mois de décembre 2010. Les termes du contrat définis entre l'ASC et Shumac sont les suivants :

> *« The FIT project aims at designing a solution that will address a new concern identified by CSA to obtain an objective, reliable and validated measure of the cognitive state of operators. The assessment of FIT should also be, as much as possible, non-intrusive, easy and brief to administer, repeatable, transparently embedded into relevant training tasks and, where appropriate, suitable for utilization in space. »*[1]

Pour créer un tel outil d'évaluation de la fiabilité humaine, Shumac a recensé un large éventail de facteurs pouvant influencer la fiabilité d'une personne. C'est grâce à une rigoureuse revue de littérature, couvrant plus d'une centaine d'articles scientifique et de documents, ainsi qu'à l'expertise de ses employés[2], que la compagnie en est venue à établir trois grandes catégories

---

[1] Fiset, J.-Y. (2010). FIT – *Adaptation and Extension of Techniques*

[2] Jean-Yves Fiset, ingénieur industriel, détient une maîtrise en génie industriel (option ergonomie cognitive) et un Ph.D. en génie électrique. Il possède également plus de 20 ans d'expérience dans l'optimisation de la performance humaine. Anne Deputter possède un baccalauréat en psychologie ainsi qu'une maîtrise en communication. Elle possède plus de 15 ans d'expérience dans le domaine de l'utilisabilité et de la performance humaine. Dr Ben Barkow possède un doctorat en psychologie et plus de 40 ans d'expérience en performance humaine.

de facteurs ayant une influence sur la fiabilité. Voici les trois catégories qui englobent tous les facteurs d'influence :

- Catégorie reliée à l'individu
- Catégorie reliée à la tâche
- Catégorie reliée à l'environnement de travail.

Très tôt dans le projet, un sous-ensemble de facteurs a été sélectionné par Shumac pour être inclus dans un premier prototype. Ces facteurs ont été choisis selon un ensemble de critères précis, soit la démonstration scientifique de l'impact de ce facteur sur la performance, l'existence de modèles validés, la possibilité de modéliser ce facteur de manière non intrusive, etc. Le but du premier prototype était de démontrer la validité d'un tel outil d'évaluation pour ensuite penser à introduire de nouveaux facteurs dans des phases subséquentes du projet. Shumac a ainsi sélectionné les cinq facteurs présentés à la figure 1-1.

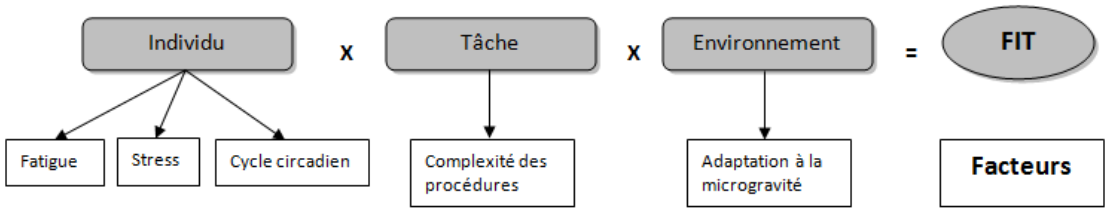


Figure 1-1: Facteurs considérés dans FIT

Afin de faciliter le développement de l'outil FIT, Shumac a décidé d'utiliser une approche modulaire où chaque module est indépendant des autres. Cette approche facilite l'ajout de nouveaux modules lorsque nécessaire. Chaque module correspond à un facteur précis et contient des modèles et des règles scientifiquement valides. Une fois les données calculées par chacun des modules, FIT intègre celles-ci dans une équation qui permet d'obtenir un score quantitatif du niveau global de fiabilité d'un astronaute « A », à un temps « T » pour effectuer une tâche « X ».

Prenons un exemple pour illustrer le tout. L'ASC désire savoir si l'astronaute monsieur Astro peut accomplir la tâche d'assemblage d'une partie du bras canadien à un moment bien précis de la journée. Dans la catégorie « Individu », FIT prendrait en compte le niveau de fatigue de M. Astro et lui attribuerait un score basé sur des modèles connus d'évaluation de la fatigue (par exemple, l'algorithme FAID pourrait être utilisé). Il en va de même pour le facteur de stress et pour le cycle circadien. Ensuite, la catégorie « Tâche » analyserait la procédure à suivre pour accomplir la tâche en question et lui attribuerait un score de complexité.[3] Plus le score représentant la complexité de la procédure sera élevé, plus le risque que l'astronaute commette des erreurs sera grand. Par la suite, la catégorie « Environnement » donnerait un score sur le niveau d'adaptation de l'astronaute à la microgravité. Si M. Astro ne s'adapte pas bien à la microgravité, alors sa fiabilité à effectuer la tâche d'assemblage sera ébranlée. Une fois que FIT aura attribué un score à tous les facteurs à considérer dans l'analyse, celui-ci calculera le niveau global de fiabilité de l'astronaute un peu de la même manière que l'on calcule le niveau de risque avec la méthode HEART.

1.2. Limites de cette recherche

Ce mémoire de maîtrise vient s'articuler dans ce contexte d'élaboration de l'outil FIT. Par contre, il est important de préciser que la contribution de la présente recherche, dans ce projet de grande envergure, se limite à l'évaluation du module permettant de déterminer le niveau de complexité d'une procédure. Nous nous concentrerons sur ce module qui a été nommé SPARK lite (Shumac Procedure Assessment and Review Knowledge). Nous ne traiterons pas ici des autres modules qui sont évalués de manière indépendante par Shumac. Par ailleurs, les bases du module traitant de la complexité des procédures ont déjà été établies par la compagnie. Notre rôle sera d'évaluer la pertinence des éléments inclus dans celui-ci à la lumière de ce qui est fait dans le monde scientifique et de valider les résultats obtenus par SPARK lite.

[3] Bien évidemment, il est à noter que ce ne sont pas toutes les tâches qui nécessitent une procédure. Dans le cas où la tâche peut être accomplie sans suivre une procédure, l'outil FIT ne fera qu'ignorer le module de la complexité des procédures lors de la détermination du niveau de fiabilité humaine.

Voici les balises conceptuelles du projet de maîtrise. La recherche se limitera :

- au module d'évaluation quantitative de la complexité des procédures du projet FIT ;
- à la comparaison entre les résultats produits par SPARK lite et ceux produits par un modèle de référence valide afin d'attribuer des poids à chacun des facteurs considérés dans SPARK lite ;
- à l'évaluation de la pertinence des facteurs pris en considération par Shumac pour déterminer le niveau de complexité d'une procédure.

Bien entendu, dans le cadre de cette recherche, il sera possible de proposer d'autres pistes de solutions que celles entreprises par Shumac ou encore de proposer des améliorations, mais seulement pour le module SPARK lite.

1.3. Problématique

Le module d'évaluation de la complexité des procédures, SPARK lite, est une innovation technologique créée par Shumac. Ce module utilise deux concepts indépendants qui, à eux deux, déterminent, en partie, la complexité d'une procédure. SPARK lite détermine la complexité en évaluant l'indice de lisibilité ainsi que la complexité cyclomatique de la procédure. Ces concepts déjà validés de façon indépendante, n'ont jamais été utilisés ensemble dans un tel contexte, ni de façon automatique par un logiciel. Par conséquent, même si SPARK lite semble intéressant d'un point de vue scientifique, il n'a pas encore été validé pour évaluer la complexité des procédures. Pour utiliser ce module, il faudra s'assurer qu'il puisse donner un score de complexité valide et représentatif du niveau de complexité d'une procédure.

1.4. Objectif de la recherche

L'objectif de cette recherche est d'évaluer si SPARK lite produit des scores de complexité suffisamment proches (moins de 20% d'écart) de ceux que produirait un modèle de référence valide.

1.5. Organisation du mémoire

Voici maintenant comment le présent mémoire est organisé :

- Chapitre 1 : nous situons le mémoire dans son contexte.
- Chapitre 2 : nous effectuerons une revue de la littérature sur trois sujets. Tout d'abord, nous définirons les bases d'une procédure (but, importance, écriture, etc.). Par la suite, nous regarderons ce qui définit la complexité des procédures. Finalement, nous combinerons les deux premiers sujets pour regarder les modèles valides qui permettent de quantifier le niveau de complexité d'une procédure.
- Chapitre 3 : nous effectuerons une analyse détaillée du modèle d'évaluation de la complexité des procédures, SPARK lite. Nous regarderons tous les paramètres pris en compte lors de l'évaluation d'une procédure.
- Chapitre 4 : nous allons comparer le modèle SPARK lite à un modèle d'évaluation de la complexité des procédures tiré de la littérature : celui de Park (2009) qui a déjà été validé et accepté par la communauté scientifique. Cette comparaison nous permettra d'ajuster le niveau de précision de notre modèle.
- Chapitre 5 : nous effectuerons une expérimentation afin de vérifier si les facteurs considérés dans SPARK lite affectent la performance des opérateurs. Pour ce faire, nous demanderons à des sujets d'accomplir des tâches en suivant des procédures simples, et ensuite des procédures complexes et nous regarderons la différence de performance entre ces tâches.
- Chapitre 6 : nous conclurons en effectuant un bref retour sur le travail de recherche. Nous rappellerons le but du mémoire et résumerons les résultats obtenus, tout en proposant des pistes de recherche.

CHAPITRE 2. REVUE DE LITTÉRATURE

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de notre revue de littérature qui porte sur trois thèmes reliés au projet de recherche. La revue de ces thèmes permettra d'établir les bases conceptuelles qui faciliteront l'analyse, la comparaison et l'expérimentation du module d'évaluation de la complexité des procédures.

La première partie de la revue de littérature portera sur les procédures. Nous définirons ce qu'est une procédure, l'importance de celle-ci ainsi que les raisons qui poussent les gens à ne pas les utiliser. Nous démystifierons les impacts négatifs d'une mauvaise procédure, tout en regardant les différents types de procédures et les multiples façons de les écrire.

Dans la deuxième partie, nous effectuerons une revue de littérature portant sur la complexité des procédures. Nous regarderons la définition de la complexité, les facteurs qui contribuent à augmenter le niveau de complexité d'une procédure ainsi que les impacts sur la performance que peut créer une procédure complexe.

Finalement, la dernière partie de la revue de littérature présente les différents outils et modèles existants qui permettent d'évaluer le niveau de complexité d'une procédure. Pour ce faire, nous regarderons comment il est possible d'évaluer le niveau de complexité d'une procédure. Ensuite, nous nous attarderons sur les différentes mesures qui existent pour quantifier des facteurs influençant la complexité et nous terminerons la revue en présentant un outil d'évaluation de la complexité des procédures qui intègrent plusieurs des facteurs d'influence.

2.1. Procédure

2.1.1. Définition d'une procédure

Pour débuter, il est important de se créer un référentiel commun en définissant ce qu'est une procédure. Voici donc deux définitions, la première tirée du Petit Larousse Illustré (2008, page 823) et la seconde du site Internet le-dictionnaire.com. Une procédure se définit comme :

- « une manière de procéder; une méthode, marche à suivre pour obtenir un résultat »
- « l'ensemble des règles à appliquer pour atteindre un objectif ».

Il est très fréquent de retrouver dans la littérature des termes qui sont liés sémantiquement aux deux définitions ci-dessus. Par exemple, les termes « instruction », « liste de vérification » (ou *checklist)*, « consigne de travail », « directive de travail » et « aide de travail » (*job aids*) possèdent souvent le même sens que le mot « procédure ». Pour illustrer ceci, regardons la définition du terme « instruction de travail » (*work instruction*) par le site Internet du *Business Management Info and tools* ainsi que la définition du terme « consigne » donnée par Le Petit Larousse Illustré (2008, page 239) *:*

- A work instruction is a: « detailed sequence of steps that an employee needs to follow each time s/he performs a task »
- Une consigne est une: « instruction formelle donnée à quelqu'un qui est chargé de l'exécuter ».

Nous voyons donc que les définitions de « procédure », « d'instruction de travail », ou même de « consigne », peuvent présenter certaines similarités. Dans ce mémoire, nous utiliserons le terme procédure pour désigner tout ce qui fait référence à une méthode, une marche à suivre, un ensemble de règles et d'étapes détaillées pour accomplir une tâche avec un objectif et un but bien déterminé. Donc, il nous arrivera parfois de citer des ouvrages qui ne contiennent pas le mot « procédure », mais qui emploient un mot ayant un sens (une définition) étroitement lié, comme les mots mentionnés ci-dessus.

2.1.2. Importance des procédures

Nous retrouvons des procédures dans plusieurs sphères du marché du travail. Que ce soit dans les domaines spatial, nucléaire, aéronautique ou même médical, les procédures sont présentes pour diverses raisons. Wieringa et al. (1998) nous présentent, dans la préface de leur livre, différentes situations où les procédures sont utilisées :

- « Nuclear power plants use procedures to govern most aspects of operation and maintenance;
- Procedures are used in the military, again governing the operation and maintenance of complex equipment;
- Procedures are widely used in aviation, from the cockpit checklists used by pilots to the procedures used by maintainers;
- Computer users often rely on procedures. These procedures can be part of the documentation prepared for the hardware or software or they can be written by hand as instructions from one person to another. Companies that write custom software, such as an internal accounting package, often must also write their own procedures for using that software;
- Procedures are used extensively in the petroleum industry and other hydrocarbon industries;
- The ISO 9000 Quality Standard (or most any total quality management system) requires procedures to standardize methods of doing work;
- Pharmaceutical manufacturers must have standard operating procedures in place for all phases of operations and control;
- Many other types of businesses, ranging from banks to volunteer fire departments, use procedures. » (page 0)

Pour sa part, Bailey (1996) stipule que les procédures peuvent être utilisées dans toutes les situations suivantes :

- « A full description of the work is required (especially if background information or information about where the work fits into the larger system is needed);
- Retention of training information is unlikely because activities are performed infrequently or are complex;
- Step-by-step guidance and detailed reference information are required;
- Complex visual presentations with detailed explanations are required, for example, graphs, flow charts, schematics, and drawings;
- Cross referencing from one set of instructions to another is required;
- The activity is so complex that it is difficult to learn and remember required information. » (page 415)

Une étude de Bailey (1996) lui a permis de produire des statistiques montrant les raisons pour lesquelles une procédure peut être utilisée par une personne (voir tableau 2-1).

Tableau 2-1 : Raisons d'utilisation d'une procédure (tiré de Bailey 1996, traduction libre)

Raison d'utilisation	%
Pour référence (comment faire)	73
Pour débuter	67
En cas de problème	53
Pour un résumé des caractéristiques	33
Comme aide pour explorer le logiciel	13
Comme un guide pour les acheteurs	7
Pour des informations techniques détaillées	7

Une procédure peut avoir plusieurs raisons d'être. Par exemple, Wieringa et al. (1998) mentionnent que les procédures peuvent :

- aider les utilisateurs dans leur processus de prise de décision en situations stressantes;
- prévenir les trous de mémoire;
- aider à la formation de nouvelles personnes ou rafraichir la mémoire de personnes expérimentées lors de l'exécution de tâches inhabituelles;
- documenter les bonnes méthodes de travail et le savoir-faire des employés.

Toutes ces raisons ont été résumées par Shappel et al. (2006) de cette manière :

> « There are several benefits to good procedures: procedures reduce human error, document the best way to perform a task, and provide an administrative record of a procedure's execution. »

Ce sont donc pour ces raisons que les procédures ont une importance fondamentale dans le monde du travail. Par exemple, dans le domaine médical, une étude de l'Institut canadien d'information sur la santé (2008) a montré que chaque année, au Canada, les hospitalisations tuent plus que le cancer du sein, le sida et les accidents de la route réunis. Cet Institut évalue également qu'un adulte sur quatre est victime d'un effet indésirable à la suite d'une hospitalisation (ex. : erreur de médication, absence de suivi médical, complications chirurgicales en bloc opératoire, mauvaise opération, etc.). L'objectif de l'Organisation mondiale pour la Santé (OMS) est de lancer un programme international qui aura pour but de mettre en place un protocole de sécurité obligatoire dans les blocs opératoires sous forme de procédures afin de réduire les erreurs humaines lors des hospitalisations. Huit hôpitaux-pilotes ont testé ce programme dans différents pays et les résultats sont les suivants : « la mortalité a régressé en moyenne de 40% et le nombre de complications chirurgicales de 30%. Un succès sans équivoque qui a motivé de nombreux pays à rendre la « check-list » de l'OMS obligatoire… ».

Toujours dans le domaine médical, un article de Reece et Hill (1995) montre les causes les plus fréquentes d'incidents survenus en radiographie aux États-Unis entre les années 1987 et 1993. Le tableau 2-2 présente les résultats de leur étude qui conclut que dans bien des cas, les incidents sont causés par des procédures erronées ou tout simplement par un manque de procédure.

Tableau 2-2 : Relation entre les erreurs et leurs caractéristiques

Task Error	# Events	IPF Characterization (# events)
Equipment set-up	8 events	Strategy (4), Action (3), Procedure errors (1)
No survey/improper survey	8 events	Procedure (6), Information (1), Diagnostic (1)
Equipment inspection	4 events	Diagnostic (4), Strategy (1)
Failure to lock the camera	3 events	Procedure errors (3)
Set-up restricted area	1 event	Diagnostic error (1)
Manual retrieval of source	1 event	Strategy error (1)

Ces erreurs liées aux procédures déficientes peuvent mener à des incidents mineurs et parfois même à des accidents majeurs, telle la mort d'une personne. Pour éviter que les procédures soient mal utilisées, certains outils sont mis à notre disposition pour augmenter la performance des opérateurs lors de leur usage. Dans le même article, Reece et Hill mentionnent certaines recommandations concernant l'emploi d'une procédure : « Training and experience will increase procedural performance. To encourage performance according to procedures, feedback (reminders) can be provided to operators in the form of job aids. [...] Equipment design improvements may also help to reduce procedural errors by making the operations easier to complete without variance from the established procedure » (page 4). Toutefois, ces recommandations ne sont pas suffisantes pour assurer une bonne utilisation des procédures. C'est pourquoi certains auteurs se sont questionnés sur la nécessité de créer des guides de rédaction de procédure. Ce sujet sera discuté dans la Section 2.1.4 du présent mémoire.

Par ailleurs, mentionnons que Transport Canada (2001) considère désormais les procédures comme étant un des 4P dans son système de gestion de la sécurité présenté dans sa norme TP 13739 (2001). Les 4P étant : *Philosophy, Policy, Procedures and Practices.* Cela dit, les procédures n'ont pas comme seule utilité d'assurer une certaine sécurité lors de l'exécution d'une tâche, elles servent également à maximiser la qualité du travail en suivant une méthode valide et bien documentée. C'est dans cette ligne de pensée que l'*International Organization for Standardization* (ISO) a conçu la série de normes ISO 9000 qui est relative à la gestion de la qualité. Cette série définit les exigences organisationnelles pour avoir un système de gestion de la qualité tout en encourageant les entreprises à documenter leurs activités selon une méthodologie prescrite. Autrement dit, pour que les entreprises acquièrent la certification ISO 9000, elles doivent avoir des procédures qui standardisent les méthodes de travail. Précisons que c'est dans la norme ISO 9003 que l'on retrouve les exigences pour les procédures de contrôle de qualité.

2.1.3. Modes de présentation des procédures

Il existe différents modes de présentation d'une procédure. De manière générale, nous pouvons dire qu'une procédure est transmise de façon sonore ou de façon visuelle, que ce soit sur papier ou sur un écran d'ordinateur. Bailey (1996) considère que: « When system users require additional information to effectively use a system, three major information sources are typically available to them: people, paper and computer ». La source d'information qu'il appelle « people » représente en fait le type de procédure qui est transmise de façon sonore. Prenons l'exemple d'un astronaute qui est dans l'espace et qui se fait dicter la procédure à suivre pour effectuer une tâche bien précise. Il pourrait se faire lire la procédure soit par un employé de l'ASC qui se trouve sur terre ou par un autre astronaute qui est dans l'espace avec lui.

Dans cette recherche, nous ne nous attarderons qu'aux procédures visuelles, puisque pour quantifier une procédure sonore avec notre modèle, il faudrait inévitablement l'écrire afin de l'analyser, ce qui la rendrait automatiquement visuelle.

Konz et Jonhson (2000) précisent que dans le mode visuel, il y a deux façons distinctes de présenter l'information : écrite (texte et nombre) ou schématique (pictogramme, graphe, organigramme, etc.).

Voici une schématisation des différents modes de présentation des procédures :

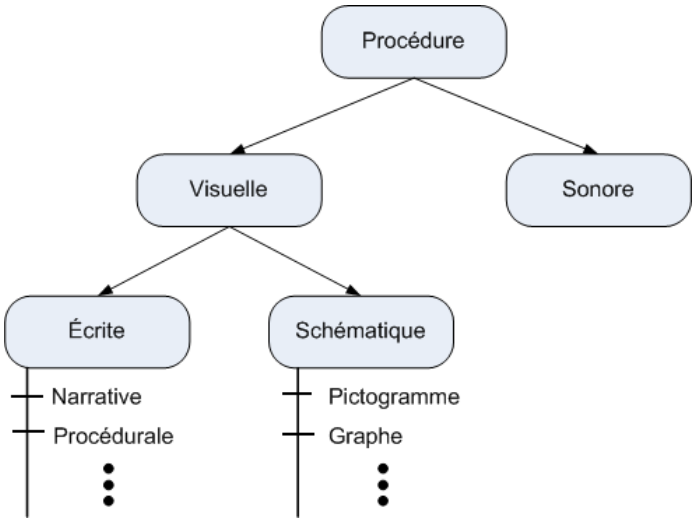


Figure 2-1 : Modes de présentation des procédures

Dans un même ordre d'idées, Bailey (1996) présente différents types de documents contenant des procédures visuelles écrites :

« Written instructions can be divided into four major types. Designers should decide which type or combination is best for typical users of their system. Each type of document is provided for a different reason:

- Tutorials: There are usually step-by-step explanations that cover the basics of using a system and are intended for new system users, users who are reading to learn.
- User guides: These assume a task-oriented approach and usually list all activities that can be performed using the system. They are generally intended for experienced users who need assistance with occasionally or infrequently used tasks. Users are reading to do.

- Quick reference guides or performance aids: These provide skeletal information that serves to explain only the most essential performance-oriented information. They are intended for experienced users who are reading to refresh their memories.
- Full reference manuals: These usually contain highly detailed, encyclopaedic information about a system. They can be both performance and topic oriented (descriptive) and tend to provide in-depth information about a system, including a full and detailed discussion of its capabilities and limitations. They are intended for experienced users who are reading to exploit the full power of a system. Because of their size, they are usually too time-consuming to read and too detailed to be of value to the majority of system users. » (page 414)

2.1.4. Manière d'écrire une procédure

Au fil des ans, plusieurs auteurs ont développé des plans de rédaction pour structurer la création d'une procédure. Parmi ces plans, nous allons présenter celui qui semble le plus intégrateur et le plus complet. Konz et Johnson (2000) ont proposé une démarche complète de conception afin d'écrire de bonnes procédures, tout en incluant certaines lignes directrices :

- Étape 1 : Planification
  - Connaître les utilisateurs
  - Déterminer quel est le message à transmettre
  - Établir la stratégie à entreprendre
  - Décider de la tactique à entreprendre
- Étape 2 : Ébauche de la procédure
  - Planifier différentes ébauches
  - Mettre les informations dans un ordre logique
  - Déterminer l'objectif précis de la procédure
  - Utiliser du texte et des images
  - Mettre le texte à un niveau de langage approprié
  - Utiliser des phrases courtes commençant avec des verbes d'action

    - Utiliser la forme active plutôt que passive et éviter les négations
    - Utiliser les caractères gras et en italique pour mettre l'accent sur certains mots et éviter d'utiliser le surligné et les lettres majuscules
- Étape 3 : Révision
    - Identifier le public ciblé par la procédure
    - Sélectionner un échantillon représentatif pour les tests
    - Effectuer les tests
    - Réviser le matériel
    - Continuer d'itérer jusqu'à ce que la procédure soit satisfaisante
    - Allouer suffisamment de temps pour les tests et la révision

Tout comme les plans de rédaction de procédures, les règles pour effectuer une bonne rédaction ont été traitées par de nombreux auteurs. Nous en présenterons quelques-unes jugées importantes lors de la création d'une procédure. Nous avons puisé ces règles dans les livres de Bailey (1996) ainsi que Wieringa et al. (1998). Le Tableau 2-3 recence ces règles tout en résumant les caractéristiques à prendre en considération.

Tableau 2-3 : Règles à prendre en compte lors de l'écriture d'une procédure

Caractéristiques typographiques	
Lisibilité	S'assurer que le texte est lisible Éviter d'écrire le texte en couleur autre que noir sur fond blanc
Taille des caractères	S'assurer d'avoir une taille de caractère suffisamment grosse pour que tous les utilisateurs soient en mesure de la lire à une distance prédéfinie
Style des caractères	Utiliser une écriture avec serif pour les procédures papier Utiliser une écriture sans serif pour les procédures sur écran
Marges	Utiliser des marges larges
Couleur de fond	Utiliser une écriture noire sur fond blanc
Minuscule	Utiliser l'écrire minuscule
Caractéristiques linguistiques	
Mots	Utiliser des mots familiers aux utilisateurs Utiliser des mots courts N'utiliser pas trop d'abbréviations Utiliser des mots qui ont un sens unique ou définir ce sens
Phrases	Utiliser des phrases ayant une syntaxe claire Utiliser des phrases courtes Écrire des phrases qui commencent par un verbe d'action
Forme active vs passive	Utiliser la forme active pour écrire des procédures
Déclaration négative vs affirmative	Utiliser toujours la forme positive car la forme négative peut être difficile à comprendre
Caractéristiques de présentation	
Balayage facile	S'assurer que la structure de la présentation permette de balayer la procédure rapidement
Densité d'information	S'assurer de ne pas avoir trop d'information sur une même page S'assurer d'avoir beaucoup d'espace blanc sur la feuille
Gabarit	S'assurer d'avoir toujours le même gabarit de présentation des procédures
Traçabilité	Utiliser un processus de traçabilité de l'avancement de la procédure
Accent	Mettre l'accent sur certains mots, toujours de la même manière, mais le gras et le surligne sont favorisés
Titre	Mettre des titres et des sous-titres révélateurs de l'action à entreprendre
Caractéristiques numériques	
Chiffres arabes	Utiliser les chiffres arabes plutôt que d'écrire les chiffres en mot
Unité de mesure	Inscrire les unités de mesure lorsque nécessaire
Précision	Ne pas écrire les chiffres à une précision supérieure à ce que les utilisateurs retrouveront sur un appareil
Calculs	Éviter de faire faire des calculs aux utilisateurs

2.1.5. Résistance aux procédures

Dans un autre ordre d'idées, Wieringa et al. (1998) remarquent qu'un grand nombre de procédures sont mal suivies ou tout simplement pas utilisées. Ces auteurs affirment que ce phénomène provient de deux principales causes. La première est que certains employés perçoivent les procédures comme un prolongement de l'autorité managériale. Pour défier l'autorité, ils refusent de faire usage des procédures pour ainsi montrer qu'ils connaissent la tâche mieux que les gestionnaires. La deuxième cause provient du fait que les procédures ne subviennent pas aux vrais besoins des employés. Par exemple, ceux-ci y retrouvent fréquemment des erreurs, ils trouvent qu'elles sont parfois techniquement inadéquates ou même trop complexes pour être utilisées. Tout ceci amène les employés à refuser d'exécuter les procédures de peur de commettre des erreurs en les suivant.

De plus, une étude menée par la *Civil Aviation Authority* (2002) a permis de recenser les principales raisons pour lesquelles les procédures ne sont pas toujours utilisées dans les entreprises. Les résultats sont présentés dans le tableau 2-4 :

Tableau 2-4 : Raisons pour lesquelles les procédures ne sont pas utilisées

"Procedures are not used because...		% agreeing
Accuracy	..they are inaccurate	21
	..they are out-of-date	45
Practicality	..they are unworkable in practice	40
	..they make it more difficult to do the work	42
	..they are too restrictive	48
	..they are too time consuming	44
	..if they were followed 'to the letter' the job couldn't be done in time	62
Optimisation	..people usually find a better way of doing the job	42
	..they do not describe the best way to carry out the work	48
Presentation	..it is difficult to know which is the right procedure	32
	..they are too complex and difficult to use	42
	..it is difficult to find the information you need within the procedure	48
Accessibility	..it is difficult to locate the right procedure	50
	..people are not aware that a procedure exists for the job they are doing	57
Policy	..people do not understand why they are necessary	40
	..no clear policy on when they should be used	37
Usage	..experienced people don't need them	19
	..people resent being told how to do their job	34
	..people prefer to rely on their own skills and experience	72
	..people assume they know what is in the procedure	70

Comme nous pouvons le constater, il existe plusieurs raisons pour lesquelles les procédures ne sont pas employées. Par contre, plusieurs d'entre elles pourraient être éliminées en employant des procédures moins complexes, en ayant des programmes de formation ou encore, en suivant un guide de rédaction de procédures lors de la conception de celles-ci. Mentionnons que dans ce mémoire, nous allons démystifier la cause des procédures complexes en tentant de quantifier leur niveau de complexité. De cette manière, il sera possible d'évaluer la complexité d'une procédure afin de s'assurer qu'elle est en-deçà d'une valeur préétablie.

2.1.6. Impacts d'une mauvaise procédure

Dans son livre *The complexity of proceduralized tasks*, Park (2009) mentionne :

> *« […] a good procedure needs accurate information, a clear presentation, and structured information. It should be noted that, in the previous section, we stated that a good procedure should provide essential instructions that are helpful for achieving the required tasks in a real situation. » (page 7)*

Par conséquent, tout ce qui ne correspond pas à cette définition se trouve donc à être catégorisé comme une mauvaise procédure. Il est important de préciser qu'une mauvaise procédure n'est pas automatiquement une procédure complexe. De même, une procédure complexe n'est pas automatiquement une mauvaise procédure.

Tel que mentionné précédemment, une mauvaise procédure ou une absence de procédure peut mener à des incidents mineurs, voire même à des accidents très graves. Plusieurs raisons expliquent la venue d'un événement indésirable lors de l'utilisation d'une procédure. Regardons trois cas qui ont fait les manchettes. Les deux premiers sont survenus à la suite de l'utilisation d'une procédure trop complexe et mal comprise par le personnel, et le dernier résulte d'un manque de procédure.

- **Cas 1 :** Ocean Ranger

  La nuit du 15 février 1982, une tempête en haute mer éclate et engloutit sous ses eaux la plateforme de forage Ocean Ranger. Plusieurs raisons expliquent le naufrage de cette plateforme. Parmi celles-ci, nous comptons le niveau de complexité élevé des procédures d'urgence en cas de tempête. Ces procédures n'ont pas pu être suivies adéquatement par les membres du personnel étant donné leur complexité. En effet, celles-ci n'avaient jamais été testées ni utilisées, faisant en sorte qu'au moment du naufrage, personne n'était en mesure d'accomplir avec succès la procédure en question.

- **Cas 2 :** Amputation

  En 1997, dans l'état de la Floride, un chirurgien n'a pas effectué l'amputation requise, car il y avait une ambigüité dans la présentation de sa procédure d'opération de la journée. Cette erreur de compréhension de la part du médecin a causé, au bout du compte, la perte des deux jambes du patient. Cet événement est paru dans le Root Cause Network Newsletter (1997).

- **Cas 3 :** Radiothérapie

  Aux États-Unis, plusieurs personnes ont subi une radiothérapie avec une dose de radiation plus forte que ce que le corps peut tolérer. Certaines personnes sont mortes à la suite de ces traitements et d'autres sont restées marquées physiquement et psychologiquement. La source du problème provient du fait que la machine servant à la radiothérapie était nouvelle et donc plus puissante que l'ancienne. Les techniciens qui devaient ajuster l'appareil à la bonne puissance n'ont pas suivi les nouvelles procédures. Voilà pourquoi la machine a atteint un niveau de radiation très élevé qui est non-tolérable pour le corps humain. Ces événements sont parus dans le New York Times du 23 janvier 2010.

Nous voyons à quel point les conséquences d'une mauvaise procédure ou d'un manque de procédure peuvent être fatales. Nous n'avons cité que trois cas d'accidents récents, mais nous aurions facilement pu en avoir des centaines en lien avec toutes sortes de domaines d'emploi. Nous pouvons retrouver sur le site de la CSST (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec), une multitude d'exemples d'accidents qui sont survenus à la suite d'une mauvaise procédure de cadenassage. Par exemple, Leclair et Sebbah (2008) ont fait un rapport d'enquête sur un jeune travailleur de la compagnie Axima Services à Montréal, qui est décédé le 4 août 2007 à la suite d'une électrocution. Le rapport de la CSST a conclu que l'une des causes de l'accident était que la procédure de cadenassage en vigueur était insuffisante et non spécifique quant aux opérations à exécuter sur le système de ventilation VAB-11 pour assurer la maîtrise totale de toutes les énergies dangereuses. Une telle tragédie aurait pu être évitée avec la mise en place de procédures adéquates.

2.2. Complexité des procédures

2.2.1. Définition de la complexité des procédures

Qu'est-ce que la complexité des procédures? Voyons le sens de chacun des mots : complexité et procédure. Rappelons-nous que dans la section 2.1.1, nous avons proposé la définition suivante de procédure : « une procédure englobe tout ce qui fait référence à une méthode, une marche à suivre, un ensemble de règles et d'étapes détaillées pour accomplir une tâche avec un objectif et un but bien déterminé ». Sachant ce que signifie le mot procédure, regardons maintenant la définition du mot complexité tirée du dictionnaire Le Petit Larousse Illustré 2008 : « Caractère de ce qui est complexe, difficile ». Voyons la définition du mot « complexe » pour avoir une meilleure idée de la signification du mot complexité : « Qui se compose d'éléments différents, combinés d'une manière qui n'est pas immédiatement saisissable ». Il est important de mentionner qu'il existe plusieurs façons de définir la complexité. Tel que mentionné sur Wikipédia : « La complexité est une notion utilisée en philosophie, en épistémologie (par exemple par Anthony Wilden ou Edgar Morin), en physique, en biologie (par exemple par Henri Atlan), en sociologie, en informatique ou en sciences de l'information. La définition connaît des nuances importantes selon ces différents domaines. ». Selon le domaine d'application, le sens du mot complexité varie légèrement et s'adapte au contexte d'utilisation.

La revue de littérature a permis de constater qu'il n'existe, à ce jour, aucune définition formelle de la complexité des procédures. Sans toutefois essayer de proposer une définition, gardons en tête qu'une procédure est une série d'étapes à suivre pour atteindre un objectif précis (voir notre définition du mot procédure) et que la complexité apparait lorsqu'il y a plusieurs éléments différents combinés d'une manière difficilement saisissable.

2.2.2. Facteurs influençant la complexité des procédures

À défaut d'avoir une définition claire et formelle de la complexité des procédures, nous examinerons ce qui rend une procédure complexe. Nous nous attarderons donc à définir les différents facteurs qui ont un impact sur le niveau de complexité d'une procédure.

Dans le livre *The Complexity of Proceduralized Tasks*, Park (2009) énumère neuf facteurs pouvant affecter le niveau de complexité d'une procédure. Il divise ces facteurs en trois groupes comme le montre le tableau ci-dessous :

Tableau 2-5 : Trois groupes de facteurs affectant la complexité (tiré de Park 2009, page 33)

Groupes	Factors	Description
Task feature	Amount of information	Amount of information to be processed by a qualified operator
	Number of actions	Number of actions to be conducted by qualified operator
	Logical entanglement	Logical complexity due to the sequence of actions to be followed by a qualified operator
	Amount of domain knowledge	Amount of domain knowledge to be considered by a qualified operator
	Level of engineering decision	Amount of cognitive resources to be used by qualified operator, which is needed to establish an appropriate decision criterion
Task environment	Time pressure	Time allowed for the performance of a task
	Temporal characteristics	Degree of a task arrival, task frequency, task overlap, etc.
	System characteristics	Dynamic characteristics of a task due to the nature of the system
Personality	Personal characteristics	Aptitude, intelligence, ability, and cognitive style of a qualified operator

Park explique la provenance de chacun de ces facteurs en précisant la façon dont ils augmentent la complexité des procédures. Par ailleurs, il mentionne également que les deux derniers groupes, soit *Task environment* et *Personality*, contiennent des facteurs qui sont de nature stochastique et donc impossible à quantifier de manière déterministe avec des

algorithmes mathématiques. La nature dynamique de *Task environment* fait en sorte qu'il est difficile de quantifier la performance d'un individu sans que ça varie d'une fois à l'autre. De plus, le groupe nommé *Personality* nécessite aussi une approche stochastique pour refléter toute la variété des traits de personnalité que nous pouvons retrouver chez les êtres humains. Dans cette optique, Park élimine ces deux derniers groupes qui sont jugés trop hasardeux pour se concentrer uniquement sur le premier groupe, soit *Task feature*.

Ce premier groupe contient cinq facteurs, tous de nature déterministe qui peuvent être quantifiés en analysant une procédure écrite. Par exemple, le premier facteur, *Amount of information,* représente la quantité d'information qui doit être traitée par un opérateur qualifié pour effectuer une tâche précise. Plus la quantité d'information à traiter et à gérer sera grande, plus la tâche sera complexe et, ainsi, le risque d'oublier une information et de faire une erreur sera élevé. De façon similaire, le facteur *Number of actions* qui représente la quantité d'actions à entreprendre pour effectuer une tâche, sera proportionnelle au niveau de complexité d'une procédure. Selon Park, plus la procédure aura d'actions à faire, plus elle sera complexe à suivre, car elle nécessitera d'importantes ressources cognitives sur une période de temps prolongée afin d'effectuer avec succès toutes les actions décrites. Le troisième facteur, *Logical entanglement*, correspond au nombre de chemins différents que peut prendre un opérateur qualifié pour exécuter une tâche. Par exemple, la figure 2-2 nous montre la séquence d'actions à suivre pour faire des biscuits au four.

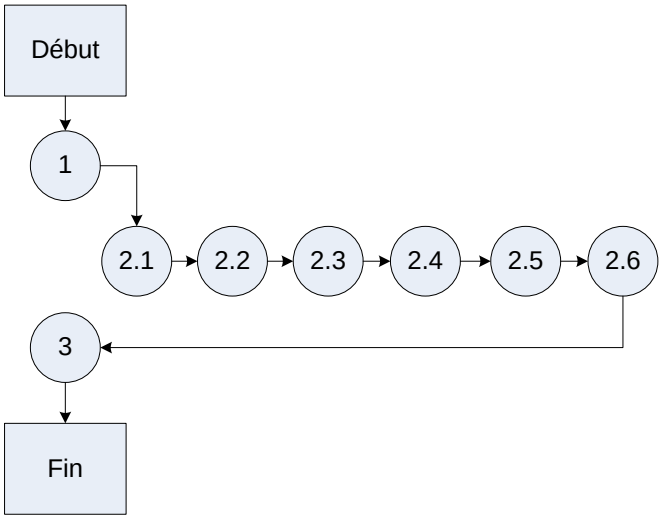


Figure 2-2 : Séquence d'actions pour faire des biscuits au four (tiré de Park 2009, page 28)

Il est beaucoup plus facile pour un opérateur de suivre une procédure ne comportant qu'un seul chemin d'exécution, comme celle présentée à la figure 2-2, plutôt que plusieurs chemins. Pour sa part, la figure 2-3 présente une procédure possédant plusieurs chemins différents pour accomplir une tâche prescrite, soit celle présentée au tableau 2-6. Park explique qu'il est beaucoup plus ardu de suivre une telle procédure, car l'être humain devra utiliser des ressources cognitives attentionnelles supplémentaires pour s'assurer qu'il a emprunté le bon chemin d'exécution.

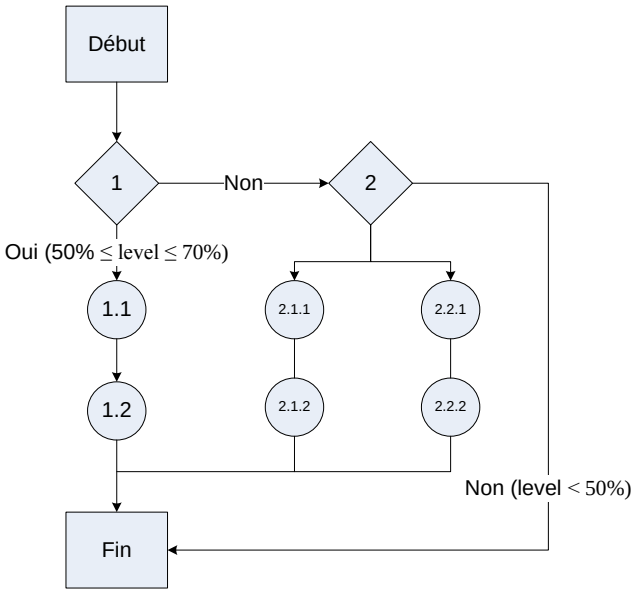


Figure 2-3 : Procédure avec plusieurs chemins (tiré de Park 2009, page 28)

Tableau 2-6 : Procédure avec plusieurs chemins (tiré de Park 2009, page 28)

Designation		Action description
1		Determine the water level of Tank 1 is 50~70%
	1.1	Close IV 1
	1.2	Increase the opening position of CV 1 to 10% higher than the current position
2		Determine the water level of Tank 1 is over 70%
	2.1.1	Close IV 1
	2.1.2	Increase the opening position of CV 2 to 30% higher than the current position
	2.2.1	Open BV 1
	2.2.2	Open BV 2

Le facteur *Amount of domain knowledge* affecte aussi la complexité des procédures. Ce facteur se définit comme la quantité d'information que doit posséder l'opérateur au sujet du système avec lequel il transige. Par exemple, si dans une procédure il est indiqué de fermer les valves V1, V2 et V3, l'opérateur n'a pas besoin de connaître le nombre exact de valves qui existent dans le système en question. Par contre, si dans la procédure il est inscrit de fermer toutes les valves, alors l'opérateur doit nécessairement faire appel à ses connaissances pour s'assurer de fermer toutes les valves, tel qu'indiqué dans la procédure. Nous voyons clairement la différence de connaissances requises dans les deux exemples ci-haut. Plus un opérateur a besoin de faire appel à sa mémoire, plus le risque de faire des erreurs est grand et plus nous qualifierons la procédure de complexe. Finalement, le dernier facteur énoncé par Park est *Level of an engineering decision*. Celui-ci consiste à déterminer la quantité d'information dont un opérateur aura besoin pour accomplir une tâche comportant une prise de décision. Par exemple, si la procédure demande à l'opérateur de vérifier si la pompe P1 est ouverte, alors celui-ci n'a qu'à regarder si la pompe est ouverte ou fermée et faire l'action qui en découle. Dans ce cas, la prise de décision se base sur une information binaire, soit la pompe P1 est ouverte, soit elle est fermée. Parfois, il sera plus difficile d'effectuer la procédure si celle-ci demande à l'opérateur de

s'assurer que le débit d'eau entre le Bassin 1 et le Bassin 2 décroit de façon anormale. Cette information force l'opérateur à prendre une décision sur ce qu'est un décroissement anormal du débit et celui-ci devra ensuite effectuer les actions suivant cette décision.

Maintenant que nous avons passé en revue les cinq facteurs qui, selon Park, augmentent le niveau de complexité d'une procédure, regardons ce que les autres auteurs nous proposent comme facteurs. Mentionnons que les auteurs traitant de la complexité des procédures sont peu nombreux et qu'à la lumière d'une revue de littérature sur les écrits de Park, Jung, Ha, Xu et McCabe nous pouvons présenter ici la majorité des facteurs influençant la complexité des procédures (voir figure 2-4).

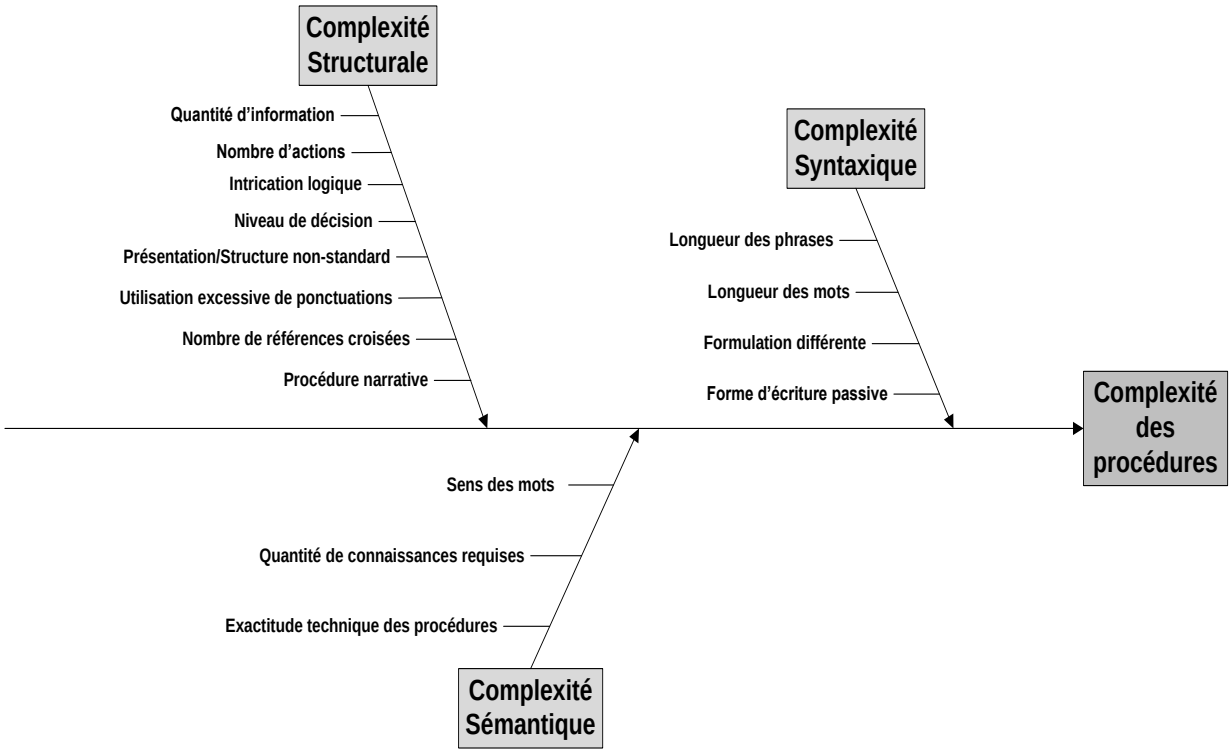


Figure 2-4 : Ishikawa des facteurs influant sur la complexité des procédures

2.2.3. Impacts d'une procédure complexe

Park (2009) mentionne que « a good procedure guarantees at least three major advantages: (1) reducing workload, (2) reducing possibility of human error, and (3) standardizing human performance ». Nous pouvons donc déduire qu'une procédure complexe aura l'effet contraire. Ainsi, la charge de travail sera élevée, le risque d'erreur humaine sera grand et il sera difficile de standardiser la performance humaine, car il y aura une grande variabilité entre les opérateurs (débutants, novices et experts).

Par ailleurs, Wieringa et al. (1998) ainsi que Park (2009) nous expliquent l'impact possible d'une procédure complexe sur la charge cognitive d'une personne. Imaginons que le cercle de la figure 2.5 représente l'ensemble des ressources attentionnelles qu'une personne peut consacrer à la lecture d'une procédure. Cette personne doit reconnaître les caractères (RC : reconnaissance caractère) comme les lettres, les chiffres et les symboles. Ensuite, il doit reconnaître et attribuer un sens aux mots qu'il lit (RM : reconnaissance mot). Il doit également faire appel à ses connaissances de la grammaire pour reconnaître le sens des phrases formées par les mots (RP : reconnaissance phrase). Finalement, le lecteur doit comprendre l'ensemble des phrases qu'il a lues afin d'effectuer les bonnes actions.

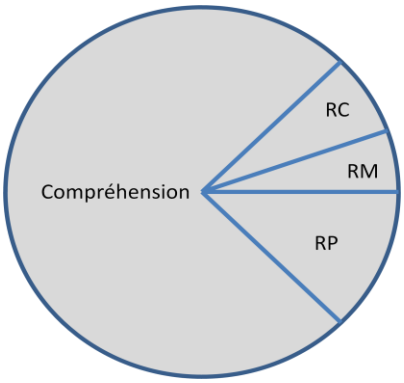


Figure 2-5 : Attribution des ressources attentionnelles (lecture) (tiré de Wieringa et al. 1998, page 10)

Lorsque vient le moment d'exécuter la tâche, les ressources cognitives sont souvent partitionnées entre la lecture de la procédure et les actions à effectuer. La figure 2-6 représente le diagramme d'attribution des ressources attentionnelles lorsque nous devons lire la procédure et exécuter les actions écrites.

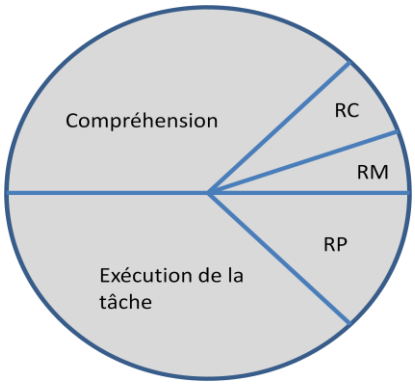


Figure 2-6 : Attribution des ressources attentionnelles (lecture + exécution) (tiré de Wieringa et al. 1998, page 12)

Nous voyons clairement que les ressources attentionnelles d'une personne sont divisées pour pouvoir accomplir la tâche. Dans le cas où une procédure comprendrait plusieurs mots inconnus, le RM accaparerait plus de ressources cognitives dans le but de saisir le sens des mots. Cela viendrait donc empiéter sur les autres ressources qui sont tout aussi importantes et nécessaires. De plus, si la tâche est extrêmement stressante, il faudrait ajouter sur notre diagramme une pointe qui serait utilisée par le stress et qui viendrait également s'emparer d'une certaine quantité de ressources attentionnelles. Bref, il faut s'assurer d'avoir un équilibre entre les ressources utilisées afin de bien lire et comprendre la procédure, et d'exécuter les actions comme il se doit.

Pour atteindre cet équilibre d'affectation des ressources attentionnelles, il est primordial que les procédures soient bien écrites et peu complexes. Dans le cas contraire, les gens auront automatiquement tendance à dévier de celles-ci. Dans son livre, Park a conçu un schéma

montrant la façon dont les opérateurs se créent un raccourci lorsqu'une procédure est trop difficile à comprendre ou à exécuter.

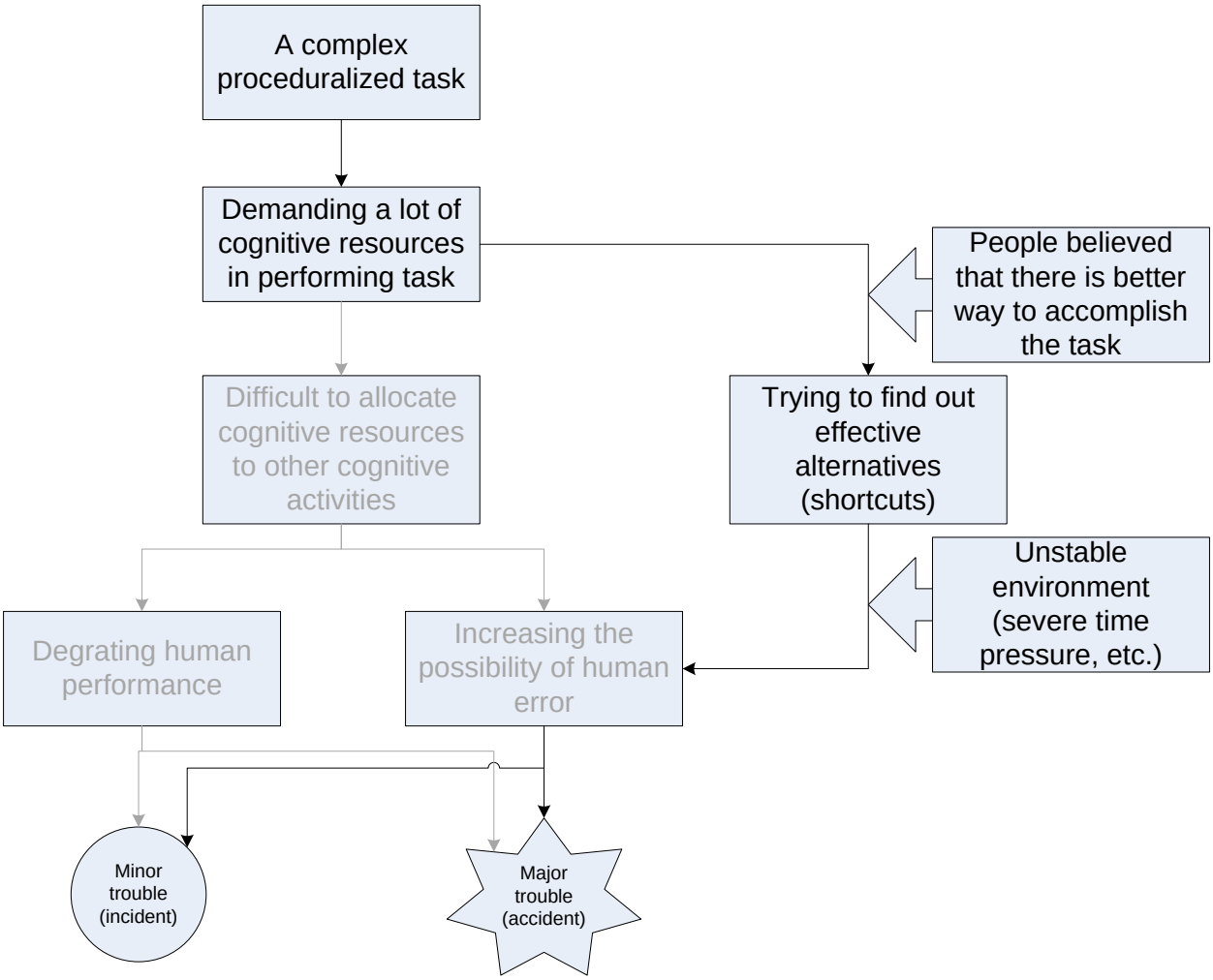


Figure 2-7 : Raccourci emprunté par les opérateurs lorsque la procédure est complexe (tiré de Park 2009, page 18)

Par ailleurs, mentionnons que nous retrouvons les mêmes impacts négatifs pour une mauvaise procédure que pour une procédure complexe. En d'autres mots, une procédure jugée complexe est souvent une mauvaise procédure, donc tout ce qui a été énoncé dans la section 2.1.6 s'applique également ici. Ajoutons aussi qu'une procédure complexe amène toujours un risque plus élevé d'erreurs qu'une procédure non complexe. De plus, la fiabilité d'une personne à suivre une procédure complexe sera moins bonne qu'à suivre une procédure simple pour accomplir le même type de tâche.

2.3. Méthode d'évaluation de la complexité des procédures

2.3.1. Comment évaluer la complexité d'une procédure?

Il y a, à priori, deux façons d'évaluer le niveau de complexité d'une procédure.

D'une part, nous pouvons effectuer une évaluation subjective. Ceci consiste à demander à des opérateurs d'exécuter une procédure et de juger son niveau de complexité en lui attribuant un score sur une échelle prédéterminée. Une fois l'évaluation complétée par un nombre suffisant d'opérateurs, nous pouvons recueillir les données et faire des statistiques afin de déterminer le niveau moyen de complexité de la procédure. Cette méthode donne un score moyen de la complexité sans toutefois préciser ce qui la rend complexe.

D'autre part, nous pouvons effectuer une évaluation objective d'une procédure à l'aide d'algorithmes mathématiques. Cette méthode permet d'obtenir un score global de la complexité basé sur des critères prédéterminés et fixes. De plus, elle retrace les raisons pour lesquelles la procédure est jugée complexe. Rappelons-nous qu'à la section 2.2.2, nous avons énuméré une liste de facteurs influençant le niveau de complexité des procédures (voir figure 2-4). Avec cette liste, il serait possible d'attribuer une métrique à chacun des facteurs d'influence et ainsi de quantifier le niveau de complexité d'une procédure. Pour ce faire, il faut avant tout s'assurer que tous les facteurs sont indépendants les uns des autres. Ceci est important, car nous ne voulons pas pondérer deux fois le même facteur et ainsi augmenter le score de complexité de façon redondante. Si nous regardons le diagramme Ishikawa de la figure 2-4, nous pouvons dire que tous les facteurs énumérés semblent a priori, indépendants les uns des autres et agissent tous de façon unique sur la complexité.

2.3.2. Mesure des facteurs affectant la complexité des procédures

Avant de regarder les différentes mesures que nous retrouvons dans la littérature pour quantifier certains facteurs de complexité, parlons un peu de l'historique même de ces mesures. C'est au début des années 70, avec l'apparition des premiers programmes informatiques, que les chercheurs ont commencé à s'intéresser au niveau de complexité des logiciels. Avec l'informatisation du marché du travail et la demande sans cesse grandissante pour des appareils à la fine pointe de la technologie, les entreprises s'aperçoivent rapidement que les techniciens en maintenance informatique deviennent fort utiles. Or ceux-ci étaient souvent dépassés par la complexité de la programmation des logiciels. Parfois ils étaient appelés à régler un problème bien précis, mais c'était souvent après de nombreuses heures à tenter de comprendre la signification du programme qu'ils trouvaient la source du problème. C'est donc dans une optique de réduction des coûts et du temps de maintenance que les scientifiques se sont penchés sur la quantification de la complexité des logiciels afin que ceux-ci ne dépassent pas un certain niveau de complexité. McCabe et Butler (1989) ont d'ailleurs précisé dans leur livre que la performance du personnel de maintenance est affaiblie lorsqu'ils doivent travailler avec un programme complexe. Les équations de quantification de la complexité des programmes informatiques permettent donc d'établir plusieurs métriques associées à la complexité des procédures.

Voici un tableau présentant les différents facteurs énoncés à la section 2.2.2 accompagnés d'une métrique pour les quantifier.

Tableau 2-7 : Facteurs et métriques pour quantifier la complexité des procédures

Facteur influençant la complexité	Métrique pour quantifier ce facteur
Complexité structurale	
Quantité d'information	- Entropie de second degré du graphe ISG (Information Stucture Graph)
Nombre d'actions	- LOC (Line Of Code) - Mesure du E d'Halstead - Entropie de second degré du graph ACG (Action Control Graph)
Intrication logique	- Complexité cyclomatique de McCabe - Entropie de premier degré du graph ACG (Action Control Graph)
Niveau de décision	- Entropie de second degré du graph EDG (Engineering Decision Graph)
Présentation/structure non standard	
Utilisation excessive de ponctuation	- Compter les signes de ponctuation
Nombre de références croisées	- Compter le nombre de REF (référence)
Procédure narrative	
Complexité syntaxique	
Longueur des phrases	- Indice de Flesch - Indice de Flesch-Kincaid
Longueur des mots	- Indice de Flesch - Indice de Flesch-Kincaid
Formulation différente	
Forme d'écriture passive	
Complexité sémantique	
Sens des mots	
Quantité de connaissances requises	- Entropie de second degré du graph AHG (Abstraction Hierarchy complexity)
Exactitude technique des procédures	

N.B. Le calcul de l'entropie et de la complexité cyclomatique sera expliqué dans le chapitre 3.

Certains facteurs ne possèdent pas de métriques en raison de la difficulté à les quantifier. Par exemple, nous savons que la présentation ou la structure d'une procédure doit toujours être la même pour faciliter sa compréhension, car les opérateurs se font un modèle mental de l'emplacement des informations dans la procédure. Il est donc plus facile pour un opérateur de naviguer à travers une procédure ayant une présentation/structure familière. Or, il est difficile de quantifier si la présentation/structure d'une procédure respecte les critères de rédaction établis dans une entreprise. Le principe s'avère sensiblement le même lorsqu'on doit évaluer si la procédure est écrite sous forme narrative ou sous forme procédurale. L'entreprise devrait à la base se doter d'un bon guide de rédaction de procédure expliquant la bonne façon d'écrire une procédure (voir tableau 2-3). Ce guide devrait expliquer l'importance d'écrire une procédure comportant un verbe d'action, un sujet et une spécification de l'action comme le suggère Park (2009). De plus, ce guide devrait prescrire la forme d'écriture active ainsi que proposer un lexique de mots familiers qui devraient être employés dans la procédure. Cela permettra d'assurer une certaine uniformité du langage tout en assurant un lexique bien connu de la part des employés.

Pour obtenir un score du niveau de complexité d'une procédure, il faudrait obtenir une équation globale intégrant chacun des facteurs énumérés dans le tableau 2-7. De cette façon, le score tiendrait compte de tous les facteurs affectant la complexité d'une procédure.

2.3.3. Outil d'évaluation de la complexité des procédures

Park et al. sont les seuls à avoir tenté d'intégrer différents facteurs afin d'obtenir un score global du niveau de complexité d'une procédure. Leur modèle nommé TACOM, pour TAsk COMplexity, intègre cinq des 15 facteurs recensés à la figure 2-4. Les cinq facteurs utilisés sont : la quantité d'information, le nombre d'actions, l'intrication logique, la quantité de connaissances requises

et le niveau de décision. Penchons-nous sur ces cinq facteurs et essayons de comprendre la façon dont fonctionne l'outil d'évaluation TACOM.

Le premier facteur considéré est la quantité d'information. Park prend une procédure et la transforme en graphique ISG (Information Structure Graph). Pour ce faire, il analyse la procédure en regroupant toutes les informations de même nature. Ensuite, il regarde la quantité d'information distincte (DI) et la structure sous forme de graphique d'information comme le montre le graphique présenté à la figure 2-8. S1 signifie que c'est le graphique de l'étape 1 (Step 1) de la procédure. DI1 à DI5 signifie qu'il y a, au total dans cette étape, cinq informations distinctes, dont quatre sont de nature booléennes (B) et une de nature continue (F pour Float).

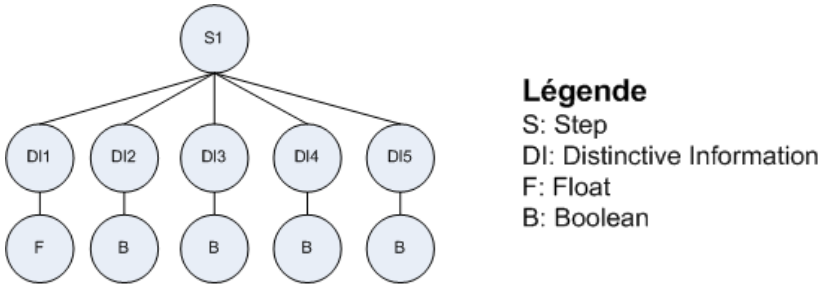


Figure 2-8 : Exemple de graphique ISG

Le deuxième facteur que Park considère est le nombre d'actions. Il transforme la procédure en graphique ACG (Action Control Graph) qui présente toutes les actions ainsi que tous les chemins qui peuvent être empruntés pour accomplir la procédure. Voici un exemple de ce type de graphique.

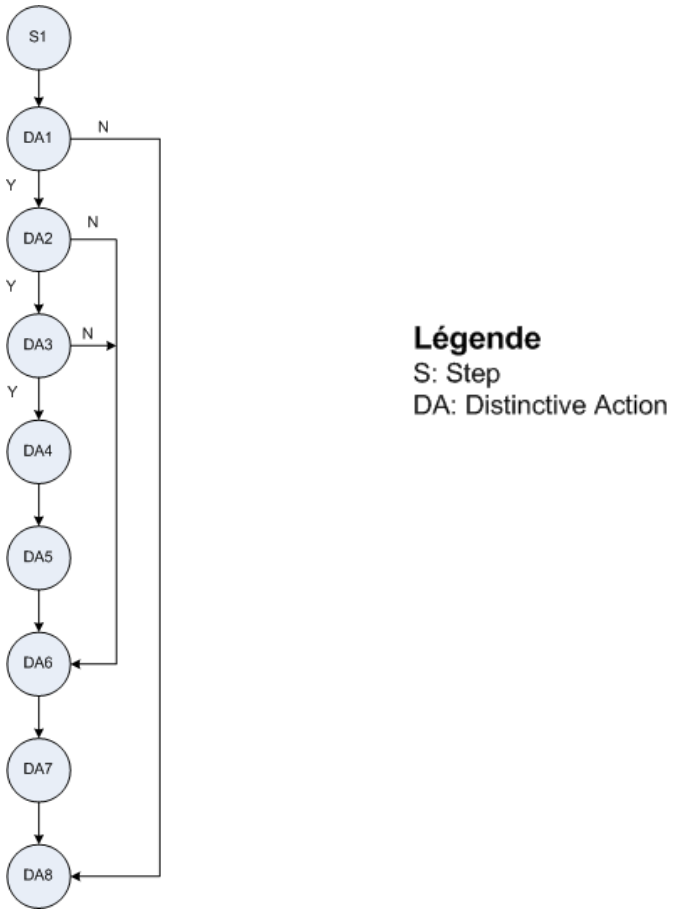


Figure 2-9 : Exemple de graphique ACG

Le troisième facteur est l'intrication logique qui considère tous les chemins que peut prendre un opérateur qualifié afin d'accomplir une procédure. C'est donc avec le même graphique que le facteur du nombre d'actions que Park quantifie l'intrication logique, soit le graph ACG.

Le quatrième facteur est la quantité de connaissances requises pour accomplir la procédure. Pour quantifier ce facteur, Park transforme la procédure en graphe AHG (Abstraction Hierarchy Graph), présenté à la figure 2-10, montrant de manière schématique toute l'information que doit posséder un opérateur qualifié pour comprendre et exécuter la procédure. S1 signifie que nous regardons l'étape 1 de la procédure (Step 1). Ensuite, nous voyons qu'il existe huit actions

distinctes dans cette étape (DA pour Distinctive Action). Pour chacune de ces actions, nous regardons où elle se situe sur l'échelle de la hiérarchie d'abstraction de Rasmussen que Park modifie et utilise telle que présentée au tableau 2-8.

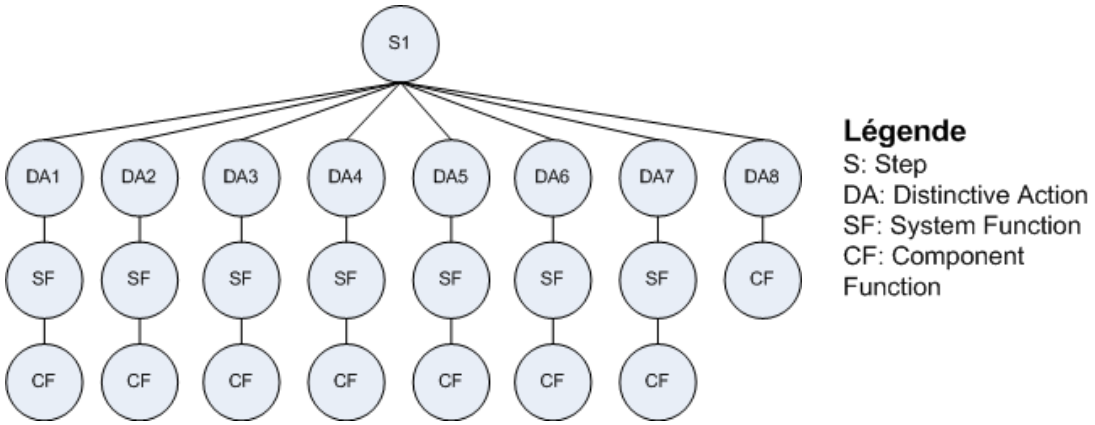


Figure 2-10 : Exemple de graphique AHG

Tableau 2-8 : Les quatre niveaux de connaissance selon la hiérarchie d'abstraction (tiré de Park 2009, page 80)

Rasmussen's Abstraction Hierarchy	Level of domain knowledge of Park	Meaning
Abstract function	Abstract function (AF) related domain knowledge	Qualified operators need domain knowledge for delineating mass of energy flow based on two or more process functions or conditions.
	Process function (PF) related domain knowledge	Qualified operators need domain knowledge for describing mass or energy flow based on two or more system functions or conditions
Generalized function	System function (SF) related domain knowledge	Qualified operators need domain knowledge that is related to two or more component functions or conditions.
Physical function	Component function (CF) related domain knowledge	Qualified operators need domain knowledge that is related to the condition or function or a component, such as a valve, pump, heat exchanger and a heater, etc.

Le cinquième facteur est le niveau de décision, représenté par un graphique EDG (Engineering Decision Graph), à la figure 2-11. Ce graphique montre pour chacune des DA si les critères de décision sont clairs et sans ambiguïté. Pour déterminer le niveau d'ambiguïté des critères de décision, Park se base sur l'échelle représentée au tableau 2-9. Donc en lisant chacune des actions distinctes de l'étape 1, nous sommes en mesure de les catégoriser dans l'un des quatre niveaux de décision, soit ED-1 à ED-4.

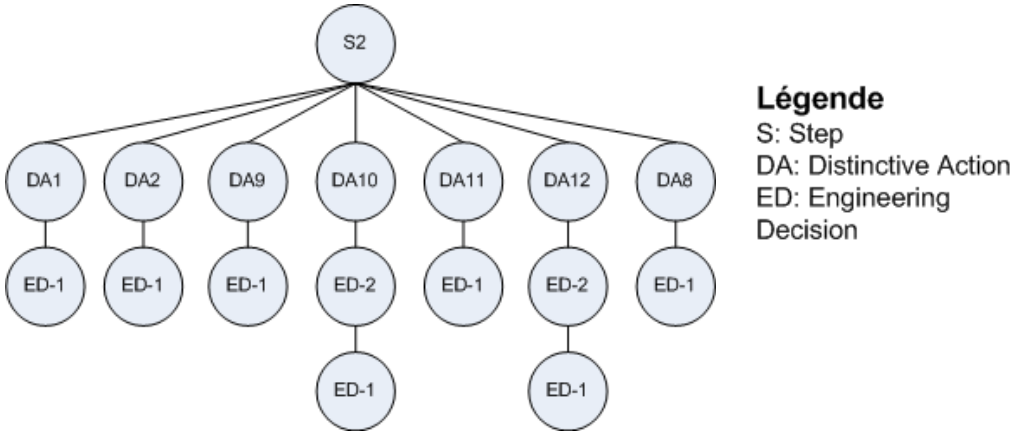


Figure 2-11 : Exemple de graphique EDG

Tableau 2-9 : Les quatre niveaux de décision (tiré de Park 2009, page 87)

Level	Meaning	Typical action
ED-1	An action that can be accomplished by a simple decision with a clear criterion.	Verify the water level of Tank 1 is less than 30%.
ED-2	An action that forces qualified operators to integrate lower-level information to create higher-level information.	Verify the water level of Tank 1 is decreasing.
ED-3	An action that forces qualified operators to identify situations or conditions based on several process parameters, symptoms, and the associated knowledge.	Verify the water level of Tank 1 is abnormally decreasing.
	An action that forces qualified operators to carry out a continuous control.	Maintain the water level of Tank 1 within a range of 23.5%-50%.
ED-4	An action that forces qualified operator to select a proper action.	If necessary, perform any of the following.

Une fois les quatre graphiques de Park construits (ACG, ISG, AHG et EDG), il faut utiliser l'équation de premier et de second degré d'entropie pour obtenir le score de complexité de chacun des cinq facteurs. Voici l'équation pour l'entropie :

$$Entropie = -\sum_{i=1}^{h} p_i \log_2 p_i$$

Où h = Nombre de classe

$p_i = A_i/N$

A_i = Nombre de nœuds distincts dans une classe

N = Nombre total de nœud

Regardons un exemple de calcul pour obtenir l'entropie de premier degré du graphique ACG présenté à la figure 2-9. Il faut tout d'abord compter le nombre de flèches entrantes et le nombre de flèches sortantes à chacun des nœuds (voir tableau 2-10).

Tableau 2-10 : Flèches entrant et sortant de chaque nœud

Nœuds	**Entrant**	**Sortant**
S1	0	1
DA1	1	2
DA2	1	2
DA3	1	2
DA4	1	1
DA5	1	1
DA6	2	1
DA7	1	1
DA8	2	0

Ensuite, nous regroupons tous les nœuds qui ont un nombre identique d'entrants et de sortants dans une même classe, comme le montre le tableau 2-11.

Tableau 2-11 : Regroupement des "entrants" et "sortants" dans une même classe

Classe	Entrant	Sortant	Nœuds
I	0	1	S1
II	1	2	DA1, DA2, DA3
III	1	1	DA4, DA5, DA7
IV	2	1	DA6
V	2	0	DA8

Finalement, nous appliquons l'équation de l'entropie pour obtenir la valeur du facteur « intrication logique » caractérisé par la variable SLC (Step Logic Complexity) :

$$SLC = -\sum_{i=1}^{5}\left(\frac{1}{9}\right) * \log_2\left(\frac{1}{9}\right) + \left(\frac{3}{9}\right) * \log_2\left(\frac{3}{9}\right) + \left(\frac{3}{9}\right) * \log_2\left(\frac{3}{9}\right) + \left(\frac{1}{9}\right) * \log_2\left(\frac{1}{9}\right) + \left(\frac{1}{9}\right) * \log_2\left(\frac{1}{9}\right) = 2{,}11$$

Un principe similaire s'applique pour calculer l'entropie de deuxième degré. Prenons un exemple pour quantifier l'entropie du graphique ACG de la figure 2-9. Tout d'abord, nous devons représenter, comme au tableau 2-12, tous les voisins de chacun des nœuds du graphique.

Tableau 2-12 : Voisins de chacun des nœuds du graphique ACG

Nœuds	Voisin
S1	DA1
DA1	S1, DA2, DA8
DA2	DA1, DA3, DA6
DA3	DA2, DA4, DA6
DA4	DA3, DA5
DA5	DA4, DA6
DA6	DA5, DA7, DA2, DA3
DA7	DA6, DA8
DA8	DA7, DA1

Ensuite nous regroupons tous les nœuds ayant les mêmes voisins dans une classe, comme le montre le tableau 2-13.

Tableau 2-13 : Regroupement de tous les nœuds possédant les mêmes voisins dans une même classe

Classe	Nœuds	Voisin
I	S1	DA1
II	DA1	S1, DA2, DA8
III	DA2	DA1, DA3, DA6
IV	DA3	DA2, DA4, DA6
V	DA4	DA3, DA5
VI	DA5	DA4, DA6
VII	DA6	DA5, DA7, DA2, DA3
VIII	DA7	DA6, DA8
IX	DA8	DA7, DA1

Nous pouvons ensuite calculer l'entropie de deuxième degré en utilisant l'équation de l'entropie comme suit. Dans cet exemple, nous obtenons la valeur du facteur « nombre d'actions » représenté par la variable SSC (Step Size Complexity) :

$$SSC = -\sum_{i=1}^{9}\left(\frac{1}{9}\right) * \log_2\left(\frac{1}{9}\right) * 9 = 3{,}17$$

Le tableau 2-14 représente les cinq facteurs avec l'équation à effectuer pour obtenir leur score de complexité.

Tableau 2-14- Facteurs de complexité associés à l'équation d'entropie

Facteurs de complexité	Graphique	Variable	Équation d'entropie
Quantité d'information	ISG	SIC (Step Information Complexity)	Entropie de second degré
Nombre d'actions	ACG	SSC (Step Size Complexity)	Entropie de second degré
Intrication logique	ACG	SLC (Step Logic Complexity)	Entropie de premier degré
Quantité de connaissances requises	AHG	AHC (Abstraction Hierarchy Complexity)	Entropie de second degré
Niveau de décision	EDG	EDC (Engineering Decision Complexity)	Entropie de second degré

Pour obtenir un score global du niveau de complexité, il faut effectuer l'équation suivante qui intègre les cinq facteurs en un tout :

$$TACOM = \sqrt{0{,}621 * TS^2 + 0{,}239 * TR^2 + 0{,}14 * TU^2}$$

Où $TS = 0{,}716 * SIC + 0{,}284 * SSC$

$TR = 0{,}891 * SLC + 0{,}109 * AHC$

$TU = EDC$

Selon Park (2009), les variables TS (task scope), TR (task structurability) et TU (task uncertainty) représentent trois vecteurs dans un espace tridimensionnelle. TS caractérise l'ampleur et la taille générale de la procédure en considérant les deux facteurs suivants : la quantité d'information et le nombre d'actions. TR caractérise la logique et la structure séquentielle de la procédure en considérant les deux facteurs suivants : l'intrication logique et la quantité de

connaissances requises. TU caractérise le degré de prévisibilité de la procédure en considérant le facteur suivant : le niveau de décision. C'est donc en calculant la résultante de ces trois vecteurs que Park obtient le score global de la complexité d'une procédure.

N.B. Se référer à l'Annexe A pour voir un exemple complet de la marche à suivre pour obtenir le score de complexité d'une procédure selon le modèle de Park.

CHAPITRE 3. ANALYSE DÉTAILLÉE DE SPARK LITE

Dans ce chapitre, nous analysons en détail la structure du modèle SPARK lite qui évalue le niveau de complexité des procédures. Pour ce faire, nous débutons par expliquer la raison d'être d'un tel outil. Nous expliquons également les grandes lignes de son fonctionnement, pour ensuite analyser tous les facteurs considérés ainsi que la façon dont ces facteurs sont pris en charge. Nous terminons ce présent chapitre en émettant quelques hypothèses au sujet de SPARK lite.

3.1. Raison d'être de SPARK lite

SPARK lite est un outil d'évaluation de la complexité des procédures, conçu par Shumac. Il est entièrement informatisé et automatisé, ce qui facilite grandement son utilisation. Son but est de répondre rapidement et objectivement à la question suivante : « Est-ce que cette procédure écrite est complexe? ». À ce jour, tel que mentionné à la section 2.3.3, le seul outil d'évaluation de la complexité intégrant plusieurs facteurs est le modèle de Park dénommé TACOM. Bien que ce modèle ait été validé et accepté par la communauté scientifique, il reste très peu employé par les entreprises, car il est extrêmement difficile à utiliser. L'utilisateur voulant quantifier le niveau de complexité d'une procédure avec TACOM doit transformer celle-ci en quatre différents graphiques permettant de calculer, dans un premier temps, l'entropie et, dans un deuxième temps, le score global de complexité. Lors de cette transformation, une partie de l'information contenue dans la procédure est modifiée ou tout simplement perdue. Pour obtenir le score d'une petite procédure à 10 étapes, il faut estimer en moyenne deux heures de travail pour une personne. Par exemple, une procédure d'urgence de l'Agence Spatiale Canadienne contenant en moyenne une cinquantaine d'étapes nécessiterait environ 10 heures de travail. Un délai considérablement long pout obtenir le score de complexité d'une telle procédure. Mentionnons que Park conçoit présentement un outil d'aide informatique pour faciliter l'utilisation de TACOM. Nous ne pouvons pas prédire si le TACOM Calculator facilite l'évaluation et surtout s'il réduit le temps de travail pour obtenir le score de complexité, car

celui-ci n'est pas encore commercialisé. De plus, puisque TACOM repose en partie sur le jugement humain, il est possible que deux évaluateurs obtiennent un score totalement différent pour la complexité d'une même procédure. Malgré le fait que TACOM produit un score objectif, celui-ci peut donc varier selon l'évaluateur lorsqu'il transforme la procédure en quatre graphiques.

Afin de contrer certaines insatisfactions engendrées par TACOM, SPARK lite se donne comme mission de prendre une procédure, de l'analyser de façon entièrement informatique (sans l'aide d'un humain) et de produire un score objectif de la complexité de celle-ci. Contrairement à TACOM, SPARK lite donne un score à une procédure sans en changer le mode de présentation.

3.2. Fonctionnement de SPARK lite

SPARK lite est un outil entièrement informatisé programmé en Prolog. Sans entrer dans les détails de la programmation, regardons les grandes lignes du fonctionnement de cet outil.

1. Placer la procédure dans un fichier Bloc-notes.
2. Ouvrir le logiciel SPARK lite.
3. Chercher la procédure en cliquant sur « Browse ».
4. Évaluer la procédure en cliquant sur « Evaluate procedure ».
5. Consulter les résultats dans la section « Results ».

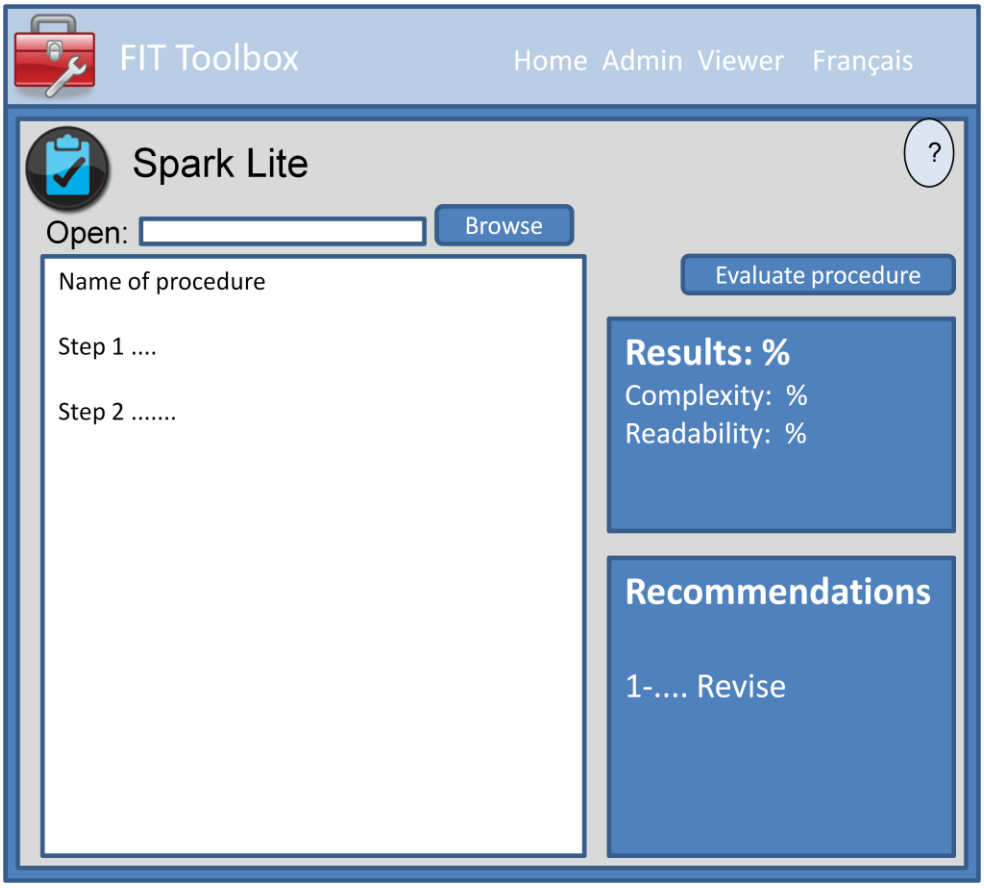


Figure 3-1 : Exemple d'interface utilisateur de SPARK lite (prototype)

3.3. Facteurs considérés dans SPARK lite

À ce stade de développement, l'outil d'évaluation SPARK lite ne considère pas tous les facteurs affectant la complexité d'une procédure. Il prend en compte trois des 15 facteurs présentés dans l'Ishikawa de la figure 2-4 (voir figure 3-2). Mentionnons que Shumac a déjà prévu ajouter des facteurs à SPARK lite lors des prochaines évolutions de l'outil.

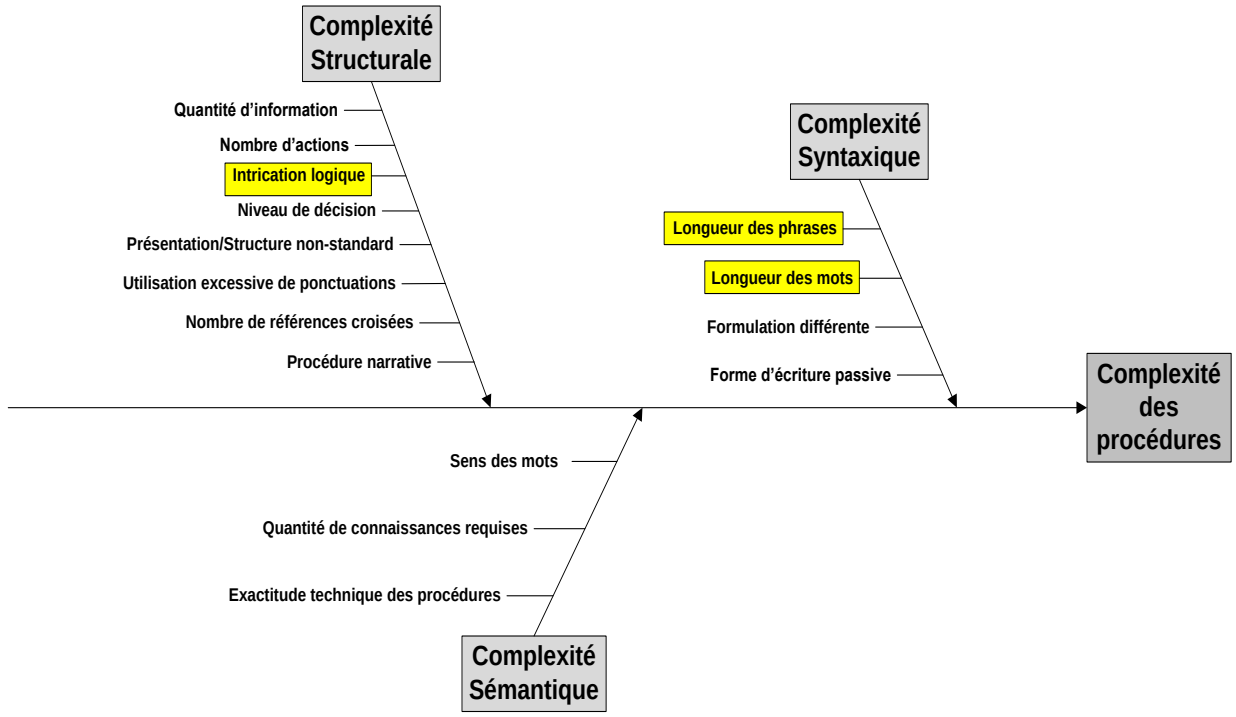


Figure 3-2 : Ishikawa des facteurs considérés par SPARK lite

Dans la catégorie de la complexité structurale, SPARK lite considère l'intrication logique qui consiste à déterminer le nombre d'embranchements logiques que contient une procédure. Plus il y a d'embranchements, plus la procédure est complexe, car l'opérateur doit s'assurer de prendre le bon chemin pour accomplir avec succès la tâche. SPARK lite utilise la complexité cyclomatique de McCabe pour quantifier ce nombre d'embranchements. Il existe trois différentes façons de quantifier la complexité cyclomatique. Les deux premières nécessitent la création d'un ACG (Action Control Graphe) et la dernière peut être faite de manière automatique par un logiciel. C'est donc avec cette dernière que SPARK lite obtiendra la quantification de la complexité cyclomatique. Le principe de quantification est fort simple : la complexité cyclomatique est égale au nombre de conditions présentes dans la procédure augmenté de un ($complexité\ cyclomatique = nombre\ de\ conditions + 1$). De cette manière, SPARK lite incrémente de +1 une variable appelée *cyclo* à toutes les fois où il rencontre un « IF » ou un « WHEN » dans la procédure. L'équation de la complexité cyclomatique dans le logiciel SPARK lite est, par conséquent, exprimée comme suit :

$$complexité\ cyclomatique\ (CC) = cyclo + 1.$$

De plus, SPARK lite considère, dans la catégorie de la complexité syntaxique, la longueur des phrases et des mots. Pour ce faire, l'indice de Flesch est utilisé. Mentionnons que cet indice permet de déterminer le niveau de lisibilité d'un texte et par conséquent, le niveau de lisibilité d'une procédure. Il compte le nombre total de mots, le nombre total de phrases et le nombre total de syllabes dans la procédure. Voici le tableau d'interprétation des scores de Flesch :

Tableau 3-1 : Interprétation des scores de Flesch (tiré de Sanders & McCormick, 1993)

Score	Niveau de difficulté	Magazine typique
0 à 30	Très difficile	Scientifique
30 à 50	Difficile	Académique
50 à 60	Assez difficile	Qualité
60 è 70	Standard	Digest
70 à 80	Assez facile	*Slick* Fiction
80 à 90	Facile	*Pulp* Fiction
90 à 100	Très facile	Comique

De ce tableau, nous voyons clairement qu'un score faible correspond à un texte difficile à lire et à comprendre. Par conséquent, un score élevé augmente la lisibilité et facilite la compréhension d'un texte. L'équation qui permet d'obtenir ces scores est la suivante :

$$Score\ Flesch = 206{,}835 - 1{,}015\left(\frac{total\ mots}{total\ phrases}\right) - 84{,}6\left(\frac{total\ syllabes}{total\ mots}\right)$$

où total mots : le nombre total de mots dans la procédure

total phrases : le nombre total de phrases dans la procédure

total syllabes : le nombre total de syllabes dans la procédure.

En d'autres mots, SPARK lite compte le nombre de mots à l'intérieur de la procédure. Chaque fois qu'il voit une apostrophe ou un espace, il incrémente la variable *mot* de +1. Une méthode

similaire s'applique pour le nombre total de phrases. À chaque fois que le logiciel rencontre un point dans la procédure, il incrémente de +1 une variable appelée *phrase*. Pour ce qui est du nombre de syllabes, le calcul est un peu différent. Le logiciel examine la procédure et à chaque fois qu'il rencontre une voyelle, il examine la lettre qui suit. Si c'est une consonne, alors SPARK lite incrémente de +1 la variable *voyelle* et cherche la prochaine voyelle. Si par contre, la lettre qui suit est également une voyelle, alors SPARK lite incrément de +1 la variable *voyelle* et la variable *diphtongue* et ce, jusqu'au moment où il tombe sur une consonne ou un espace. Le calcul du nombre de syllabe est accomplit grâce à cette équation :

$$Syllabe = voyelle - diphtongue.$$

Prenons un exemple pour illustrer la façon de calculer les syllabes dans un mot. Si nous regardons le mot « eau », SPARK lite s'arrêterait à la voyelle « e » et incrémenterait la variable voyelle de +1 (voyelle=1). Ensuite, il regarderait la lettre suivant, soit « a ». Il incrémenterait donc diphtongue de +1 (diphtongue=1) ainsi que la variable voyelle (voyelle=2). Puisqu'il n'a pas rencontré de consonne, ni d'espace, alors il regarderait la prochaine lettre qui est encore une voyelle, soit « u ». Il incrémenterait encore la variable diphtongue de +1 (diphtongue=2), tout comme la variable voyelle (voyelle=3). Pour terminer, le logiciel rencontre un espace, donc il reconnait avoir analysé un mot. Il effectue immédiatement le calcul pour connaître le nombre de syllabe associé à ce mot, soit :

$$Syllabe = voyelle - diphtongue = 3 - 2 = 1.$$

Une fois que le programme a terminé de balayer la procédure, les trois variables (*mot*, *phrase* et *syllabe*) ont chacune leur valeur respective et avec ces valeurs, SPARK lite calcule le score de Flesch comme suit :

$$Flesch = 206{,}835 - 1{,}015\left(\frac{mot}{phrase}\right) - 84{,}6\left(\frac{syllabe}{mot}\right)$$

Par la suite, SPARK lite intègre le résultat de la complexité cyclomatique avec l'indice de Flesch afin d'obtenir un score global de la complexité de la procédure. Voici donc l'équation utilisée :

$$SPARK\ lite = \alpha * (100 - Flesch) + \beta * CC$$

où α : poids de l'indice de Flesch sur la complexité des procédures

β : poids de la complexité cyclomatique sur la complexité des procédures

Flesch : score de l'indice de Flesch

CC : score de la complexité cyclomatique.

Rappelons-nous que le tableau 3-1 montre que plus le score de Flesch est petit, plus la procédure est complexe. Pour sa part, plus la complexité cyclomatique augmente, plus le niveau de complexité est élevé. Si nous voulons obtenir un score global dont la valeur augmente lorsque la procédure est complexe, nous devons alors effectuer l'inversion d'échelle suivante : $100 - Flesch$. De cette façon, nous nous assurons que plus l'indice devient grand, plus la procédure sera complexe.

Regardons la façon de transformer le score de complexité en pourcentage pour, éventuellement, faciliter la comparaison de notre modèle avec un modèle de référence. La manière optimale de transformer le score serait de diviser celui-ci par la valeur maximale de son échelle de variation (en considérant que l'échelle commence à 0). Sachant que l'indice de Flesch varie entre 0 et 100, nous pouvons affirmer qu'en ayant deux facteurs de poids égal, la valeur maximale que peut atteindre l'indice de Flesch est 50. Donc, notre échelle de l'indice de Flesch varierait entre 0 et 50. Pour ce qui est de l'échelle de variation de la complexité cyclomatique, si chaque étape d'une procédure possède un marqueur conditionnel (c.-à-d., if, when), alors cette procédure sera considérée comme complexe. Notre échelle de variation pour la complexité cyclomatique varierait donc entre 0 et le nombre d'étapes que possède la procédure.

En résumé, pour transformer le score de complexité de SPARK lite en pourcentage, nous devrons effectuer l'équation qui suit :

$$SPARK\ lite\ (\%) = \frac{SPARK\ lite}{(50 + nombre_étapes)} * 100$$

3.4. Hypothèse au sujet de SPARK lite

Notre hypothèse de départ est que malgré le fait que SPARK lite ne tient pas compte des 15 facteurs affectant la complexité d'une procédure, celui-ci devrait tout de même donner un score ayant un écart moyen inférieur à 20% au score calculé par le modèle TACOM de Park (qui pour sa part ne tient compte que de cinq des 15 facteurs). Pour valider notre hypothèse, nous allons tout d'abord entreprendre une étape de comparaison (chapitre 4) qui va consister à comparer le score produit par SPARK lite avec celui produit par TACOM et ce, pour différentes procédures. Cette comparaison va nous permettre d'ajuster SPARK lite afin que son calcul donne un score suffisamment représentatif du niveau de complexité d'une procédure. Nous voulons un écart moyen inférieur à 20% entre les scores de notre modèle et ceux du modèle de référence. Par la suite, nous vérifierons si les deux facteurs considérés dans SPARK lite affectent réellement le niveau de complexité d'une procédure (chapitre 5). Pour ce faire, nous effectuerons une expérimentation où nous comparerons la performance des individus lors de la réalisation de tâches en utilisant des procédures simples versus des complexes.

CHAPITRE 4. COMPARAISON DE SPARK LITE AVEC TACOM

L'objectif de ce chapitre est de comparer les scores de complexité de procédures produit par SPARK lite à ceux obtenus à l'aide du modèle TACOM et ce, pour 10 procédures différentes. Cela nous permettra de vérifier l'exactitude des résultats de SPARK lite et ainsi, d'ajuster notre modèle pour qu'il produise une évaluation représentative du niveau de complexité d'une procédure en ayant un écart moyen inférieur de 20% entre notre modèle et celui de référence.

4.1. Modèle de référence

Tel que mentionné précédemment, le seul modèle valide qui intègre plusieurs facteurs influençant le niveau de complexité d'une procédure est le modèle TACOM. Il nous servira alors de référence pour comparer et ajuster SPARK lite.

4.2. Démarche de comparaison

Étape 1 : Trouver 10 procédures

La première étape consiste soit à créer ou à trouver 10 procédures que nous allons évaluer avec TACOM et avec SPARK lite. De préférence, ces procédures doivent posséder des niveaux de complexité suffisamment diversifiés pour qu'on puisse tester si le modèle est bon dans toutes les situations possibles. Voici donc les 10 procédures qui seront utilisées dans ce chapitre de comparaison.

N.B. Les deux premières procédures sont tirées du livre de Park (2009) alors que les 8 autres ont été créés pour cette étude.

Tableau 4-1 : Procédure #1 (tirée de Park 2009, page 103)

Procedure #1	
[1]	IF pressurizer pressure is less than 123,9kg/cm^2 THEN verify SIAS AND CIAS are automatically actuated.
[2]	IF SIAS AND CIAS are not automatically actuated THEN manually actuated SIAS AND CIAS.
[3]	IF pressurizer pressure is less than 121,0kg/cm^2 AND SIAS is actuated THEN perform both of the following: a. Stop one RCP in each loop; b. IF RCS subcooling margin is less than 15°C THEN stop all RCPs.

Tableau 4-2 : Procédure #2 (tirée de Park 2009, page 103)

Procedure #2	
[1]	IF pressurizer pressure is less than 123,9kg/cm^2 IF SIAS AND CIAS are not automatically actuated THEN manually actuated SIAS AND CIAS; THEN verify SIAS AND CIAS are automatically actuated.
[2]	IF pressurizer pressure is less than 121,0kg/cm^2 AND SIAS is actuated THEN perform both of the following: a. Stop one RCP in each loop; b. IF RCS subcooling margin is less than 15°C THEN stop all RCPs.

Tableau 4-3 : Procédure #3

Procedure #3	
[1]	Click “On” to activate Panels 11 to 15.
[2]	Verify the number of watt produced by the Panel 11.
[3]	IF the watt of the Panel 11 is different than 90W THEN click “Off” to deactivate the Panels 11 to 15 AND return to step [1].

Tableau 4-4 : Procédure #4

Procedure #4	
[1]	Click “On” to activate Panels 11 to 15.
[2]	Verify the number of watt produced by the Panel 11.
[3]	IF the watt of the Panel 11 is different than 90W THEN click “Off” to deactivate the Panels 11 to 15 AND return to step [1].
[4]	Verify the number of watt produced by the Panel 12.
[5]	IF the watt of the Panel 12 is different than 80W THEN click “Off” to deactivate the Panels 11 to 15 AND return to step [1].

Tableau 4-5 : Procédure #5

Procedure #5	
[1]	WHEN the quantity of gas inside the Reclaim 2 is approximately equal to 1000L of O_2 AND the quantity of gas inside the Collector 1 is approximately equal to 1500L of O_2 THEN we can click on the button “Close” to close the release of the gas from Reclaim 2.
[2]	Before opening the Collector 1, we need to be sure that there is not too much CO_2 in the Collector 1 by clicking on the button “CO_2”.
[3]	IF the level of CO_2 inside the Collector 1 is lower than 5% THEN we can open the valve that connect the Collector 1 and the Filtration 1 AND let all the gas go from Collector 1 to Filtration 1.

Tableau 4-6 : Procédure #6

Procedure #6	
[1]	WHEN the amount of water in the Reclaim 1 is approximately equal to 126L AND the amount of water in the Collector 1 is approximately equal to 24 L THEN close the Reclaim 1 by clicking on the button “Close” above the Collector 1 icon.
[2]	IF the status of Filtration 1 is “Offline” THEN we need to test the Filtration 1 by pressing the “Test” button next to Filtration 1 to make sure that it works perfectly.
[3]	IF we did the step [2] of pressing the “Test” button of Filtration 1 THEN we need to wait until the progression bar has completed to make sure that the cleaning step is finish.
[4]	IF the result of the test indicates that the Filtration 1 fails the test THEN we need to click on the button “Clean” to clean all the Filtration system.
[5]	IF we did the step [4] of pressing the “Clean” button of Filtration 1 THEN we need to wait until the progression bar has completed to make sure that the cleaning step is finish.

Tableau 4-7 : Procédure #7

Procedure #7	
[1]	Click “Release” to release the gas in Filtration 3.
[2]	Click “Open” to open the valve that connects Collector 2 to Filtration 4.
[3]	WHEN Collector 2 = 0L THEN click “Close”.
[4]	Click “Start” to activate the Filtration 4.
[5]	Wait 4 minutes.

Tableau 4-8 : Procédure #8

Procedure #8	
[1]	Click “On” to activate Batteries E-F.
[2]	Wait until the progress bar has finished progressing.
[3]	Click “Test” to verify the performance of the Batteries E-F.
[4]	Verify the result of the test.
[5]	IF the result of the performance test is ≥ 95% THEN go to step [10].
[6]	Click “Off” to deactivate the Batteries E-F.
[7]	Click “On” to retransfer the energy.
[8]	Wait until the progress bar has finished progressing.
[9]	Return to [4].
[10]	Click “Start” to activate the Inverter 2A.

Tableau 4-9 : Procédure #9

Procedure #9	
[1]	Click “Start” to activate the Filtration 3.
[2]	Wait 4 minutes.
[3]	Click “Test” to verify the efficiency of Filtration 3.
[4]	IF Filter 3 efficiency > 90% THEN go to [7].
[5]	Click “Clean” to clean the Filtration 3.
[6]	Return to [1].
[7]	Click “Release” to release the gas in Filtration 3.
[8]	Click “Open” to open the valve that connects Collector 2 to Filtration 4.
[9]	Click “Close”.
[10]	Click “Start” to activate the Filtration 4.

Tableau 4-10 : Procédure #10

Procedure #10	
[1]	WHEN the amount of water in the Reclaim 1 and in the Reclaim 2 is approximately equal to one hundred twenty-six liters AND the amount of water in the Collector 1 is approximately equal to twenty-four liters THEN close the Reclaim 1-2 by clicking gently on the button “Close” above the Collector 1 icon.
[2]	IF the status of Filtration 1 is Offline THEN we need to test the Filtration 1 by pressing the “Test” button next to Filtration 1 to make sure that the whole system works perfectly.
[3]	IF we did the step [2] of pressing the “Test” button of Filtration 1 THEN we need to wait that the progression bar has completed to make sure that the cleaning step is totally finish.
[4]	IF the result of the test indicates that the Filtration 1 fails the test THEN we need to click on the button “Clean” to clean all the Filtration system.
[5]	IF we did the step [4] of pressing the “Clean” button on Filtration 1 THEN we need to wait that the progression bar has completed to make sure that the cleaning step is totally finish.
[6]	IF we started the cleaning of Filtration 1 THEN check that the indicator on Filtration 1 displays “Clean”.
[7]	IF we started the cleaning of Filtration 1 THEN check that the status of Filtration 1 displays “Online”.
[8]	IF the cleaning of the Filtration 1 has been successful as shown by the indicator “Clean” THEN we need to click a few times on the button “Up” next to Collector 1 until the flow reaches 1 liter per second between Collector 1 and Filtration 1.
[9]	WHEN the flow of the water from Collector 1 to Filtration 1 is approximately equal to 1 liter per second THEN wait for the transfer of all the water inside the Collector 1 to the Filtration 1 as shown by the fact that the quantity of water inside Collector 1 will be approximately equal to 0L.
[10]	WHEN the Collector 1 is empty THEN we need to close the valve between Collector 1 to Filtration 1 by clicking on the “Stop” button.

Étape 2 : Calculer le score de complexité avec TACOM

La deuxième étape consiste à calculer le niveau de complexité de chacune des 10 procédures avec le modèle TACOM. Puisque ce modèle est extrêmement long à utiliser, nous nous contenterons que de présenter les résultats sans entrer dans le fin détail de la méthodologie. Par contre, prenez note qu'un exemple détaillé de la marche à suivre pour obtenir le score de complexité pour la procédure #8 du tableau 4-8 est présenté à l'Annexe A.

Rappelons-nous les cinq facteurs de complexité considérés par TACOM avec la variable qui leur est associée :

1. Quantité d'information (SIC)
2. Nombre d'actions (SSC)
3. Intrication logique (SLC)
4. Quantité de connaissances requises (AHC)
5. Niveau de décision (EDC)

Voici la valeur de chacune des ces variables pour nos 10 procédures :

Tableau 4-11 : Valeur des variables de complexité pour les 10 procédures

	SIC	SSC	SLC	AHC	EDC
Procédure #1	3,82	3,66	2,26	3,72	3,62
Procédure #2	3,82	3,97	2,03	3,73	3,75
Procédure #3	2,59	2,91	2,12	3,58	3,37
Procédure #4	2,91	3,09	2,14	3,88	3,66
Procédure #5	3,45	3,39	1,99	3,53	3,53
Procédure #6	3,83	4,11	2,14	4,10	4,10
Procédure #7	3,62	3,5	1,58	3,85	3,85
Procédure #8	3,64	4,12	1,89	4,47	4,47
Procédure #9	3,94	4,24	1,89	4,55	4,55
Procédure #10	4,98	5,11	2,16	5,11	4,89

Si nous insérons ces cinq variables dans les équations de Park :

$$TS = 0{,}716 * SIC + 0{,}284 * SSC$$

$$TR = 0{,}891 * SLC + 0{,}109 * AHC$$

$$TU = EDC$$

Nous obtenons les valeurs suivantes :

Tableau 4-12 : Valeur de TS, TR et TU pour les 10 procédures

	TS	**TR**	**TU**
Procédure #1	3,78	2,42	3,62
Procédure #2	3,86	2,21	3,75
Procédure #3	2,69	2,28	3,37
Procédure #4	2,96	2,33	3,66
Procédure #5	3,44	2,16	3,53
Procédure #6	3,91	2,36	4,10
Procédure #7	3,58	1,83	3,85
Procédure #8	3,78	2,17	4,47
Procédure #9	4,03	2,18	4,55
Procédure #10	5,02	2,48	4,89

Avec TR, TS et TU, nous pouvons calculer le score de complexité de chacune des 10 procédures à l'aide de la formule qui suit :

$$TACOM = \sqrt{0{,}621 * TS^2 + 0{,}239 * TR^2 + 0{,}14 * TU^2}$$

Le tableau suivant montre les scores de complexité obtenus pour chacune des procédures. Mentionnons que ces scores se situent sur une échelle de 1 à 5 (où 1 correspond au niveau de complexité le plus simple).

Tableau 4-13 : Score de complexité selon TACOM

	TACOM	TACOM (%)
Procédure #1	3,48	61,98
Procédure #2	3,52	63,07
Procédure #3	2,70	42,57
Procédure #4	2,93	48,36
Procédure #5	3,19	54,83
Procédure #6	3,63	65,69
Procédure #7	3,29	57,35
Procédure #8	3,58	64,40
Procédure #9	3,75	68,87
Procédure #10	4,52	88,07

Pour pouvoir comparer plus facilement les scores de complexité de TACOM avec les scores de SPARK lite, nous avons transformé chacune des valeurs en pourcentage. Pour ce faire, nous avons soustrait 1 au score obtenu (pour le ramener sur une échelle de 0 à 4), nous avons ensuite divisé par 4 et multiplié par 100 pour obtenir le pourcentage de complexité de chacune des procédures.

Étape 3 : Ajuster TACOM

Puisque SPARK lite et TACOM ne prennent pas en considération les mêmes facteurs, nous allons légèrement ajuster ce dernier pour que son score soit plus facilement comparable à celui de notre modèle.

Deux des cinq facteurs considérés par TACOM sont également pris en charge par SPARK lite, soit l'intrication logique (caractérisée par la complexité cyclomatique) et le nombre d'actions (caractérisé par le nombre d'étapes dans la procédure). Pour ce qui est des trois autres facteurs non considérés dans SPARK lite, soit la quantité d'information (SIC), la quantité de

connaissances requises (AHC) et le niveau de décision (EDC), la solution la plus facile serait de les éliminer dans l'équation de Park. Ce qui nous donnerait une équation semblable à celle-ci :

$$TS = \cancel{0{,}716 * SIC} + 0{,}284 * SSC$$

$$TR = 0{,}891 * SLC + \cancel{0{,}109 * AHC}$$

$$TU = \cancel{EDC}$$

Par contre, il n'est pas si simple d'éliminer ces facteurs sans modifier la justesse et la précision de l'évaluation faite par TACOM. De plus, étant donné que l'équation du score global nous donne la résultante de la combinaison linéaire de trois vecteurs (TR, TS, TU), il est excessivement risqué d'éliminer trois facteurs sans affecter le résultat final.

$$TACOM = \sqrt{0{,}621 * TS^2 + 0{,}239 * TR^2 + 0{,}14 * TU^2}$$

$$TACOM = \sqrt{\begin{array}{c} 0{,}621 * (\cancel{0{,}716 * SIC} + 0{,}284 * SSC)^2 + \\ 0{,}239 * (0{,}891 * SLC + \cancel{0{,}109 * AHC})^2 + \cancel{0{,}14 * EDC^2} \end{array}}$$

En ne voulant pas trop modifier l'équation initiale de Park, nous avons pris comme décision d'éliminer le facteur « niveau de décision » caractérisé par EDC, puisque c'est le seul qui a un impact direct sur un vecteur. En éliminant ce facteur, nous n'avons qu'à répartir son point de 0,14 proportionnellement sur les deux autres vecteurs TS et TR, ce qui nous permet obtenir la nouvelle équation suivante :

$$TACOM = \sqrt{0{,}691 * TS^2 + 0{,}309 * TR^2}$$

Cette équation nous permet, sans trop modifier le modèle de Park, de rapprocher SPARK lite du modèle de référence. De cette façon, deux des quatre facteurs de TACOM sont également présents dans SPARK lite.

Voici donc les nouveaux résultats de complexité des 10 procédures lorsque l'on élimine le facteur EDC :

Tableau 4-14 : Score de complexité selon TACOM sans EDC

	TACOM	TACOM (%)
Procédure #1	3,42	60,43
Procédure #2	3,44	61,00
Procédure #3	2,57	39,16
Procédure #4	2,78	44,48
Procédure #5	3,10	52,46
Procédure #6	3,50	62,54
Procédure #7	3,15	53,68
Procédure #8	3,36	59,11
Procédure #9	3,56	63,99
Procédure #10	4,39	84,84

Étape 4 : Calculer le score de complexité avec SPARK lite

Obtenons maintenant le score de complexité de chacune des procédures avec SPARK lite.

Le tableau suivant présente les variables de base que comptabilise le logiciel lorsqu'il analyse une procédure. Ce sont les variables telles que présentées à la section 3.3.

Tableau 4-15 : Valeur des variables de SPARK lite

	Flesch			Complexité cyclomatique
	mot	**phrase**	**syllabe**	**cyclo**
Procédure #1	67	3	108	4
Procédure #2	67	2	108	4
Procédure #3	45	3	60	1
Procédure #4	82	5	109	2
Procédure #5	120	3	165	2
Procédure #6	175	5	243	5
Procédure #7	41	5	63	1
Procédure #8	77	10	120	1
Procédure #9	71	10	107	1
Procédure #10	352	10	540	10

Il est important de noter que la variable *cyclo* a été obtenue en additionnant +1 chaque fois que le logiciel SPARK lite rencontre l'un des deux termes suivants dans la procédure : if, when.

L'indice de Flesch se calcule à l'aide de l'équation suivante :

$$Score\ Flesch = 206{,}835 - 1{,}015\left(\frac{mot}{phrase}\right) - 84{,}6\left(\frac{syllabe}{mot}\right)$$

Pour sa part, la complexité cyclomatique se calcule avec cette formule :

$$complexit\acute{e}\ cyclomatique\ ou\ CC = cyclo + 1$$

Voici donc la valeur de l'indice de Flesch et de la complexité cyclomatique pour chaque procédure :

Tableau 4-16 : Valeur des deux facteurs d'influence dans SPARK lite

	Indice de Flesch	Complexité cyclomatique
Procédure #1	47,80	5
Procédure #2	36,46	5
Procédure #3	78,81	2
Procédure #4	77,73	3
Procédure #5	49,91	3
Procédure #6	53,84	6
Procédure #7	68,52	2
Procédure #8	67,18	2
Procédure #9	72,13	2
Procédure #10	41,32	11

Une fois que nous possédons les valeurs des deux facteurs d'influence présents dans SPARK lite, nous pouvons calculer le score global du niveau de complexité avec l'équation suivante :

$$SPARK\ lite = \alpha * (100 - Flesch) + \beta * CC$$

Nous allons tout d'abord supposer que la lisibilité du texte et la complexité cyclomatique ont le même poids, soit 0,5.

$$SPARK\ lite = 0{,}5 * (100 - Flesch) + 0{,}5 * CC$$

Nous calculerons également le pourcentage de complexité de chaque procédure avec l'équation qui suit. Cette transformation du score en pourcentage va nous permettre de comparer les scores de TACOM avec les scores de SPARK lite.

$$SPARK\ lite\ (\%) = \frac{SPARK\ lite}{(50 + nombre_étapes)} * 100$$

De cette manière, nous obtenons les scores suivants :

Tableau 4-17 : Score de complexité selon SPARK lite

	SPARK lite	SPARK lite (%)
Procédure #1	28,60	53,97
Procédure #2	34,27	65,90
Procédure #3	11,60	21,88
Procédure #4	12,63	22,97
Procédure #5	26,55	50,08
Procédure #6	26,08	47,42
Procédure #7	16,74	31,66
Procédure #8	17,41	29,02
Procédure #9	14,93	24,89
Procédure #10	34,84	58,06

Étape 5 : Ajuster SPARK lite

Avant de comparer SPARK lite avec TACOM, nous avons décidé de faire des ajustements sur notre modèle afin d'en augmenter la performance. À la lumière des écrits de Watson et McCabe (1996), nous savons que la complexité cyclomatique augmente chaque fois que nous retrouvons les termes suivants dans une procédure :

- If… then
- When…then
- Else
- Case
- While…do
- Repeat…until
- And

Or, le modèle de base de SPARK lite ne considère que les deux premiers termes. De ce fait, SPARK lite augmente la variable *cyclo* chaque fois qu'il rencontre un « if » ou un « when ». En changeant légèrement le code et en lui faisant incrémenter la variable *cyclo* chaque fois qu'il rencontre l'un des mots de la liste ci-dessus, nous aurions une valeur de la complexité cyclomatique plus juste, compte tenu des écrits de ces auteurs.

Dans un autre ordre d'idées, nous pensons qu'il est justifié de donner un poids plus grand aux conditions qui sont imbriqués dans une autre condition. Par exemple :

> IF Valve #1 is open
>
> > IF the temperature of Pump #3 is higher than 30°C
> >
> > THEN stop Pump #3
>
> THEN verify the velocity of the mobile.

Nous faisons donc l'hypothèse suivante : une condition imbriquée dans une autre augmente le niveau de complexité de la procédure. En effet, la personne qui lit la procédure doit se souvenir de la condition qu'elle a lue précédemment pour être sûre d'emprunter le bon chemin. Bref, une condition imbriquée dans une autre nécessitera plus de ressources attentionnelles qu'une condition seule. Aucun auteur ne considère cet aspect dans l'évaluation de la complexité, alors nous effectuerons une analyse de sensibilité (voir étape 6) pour tester cette hypothèse.

Étape 6 : Effectuer une analyse de sensibilité

Pour effectuer l'analyse de sensibilité, nous avons fait varier deux éléments, soit :

- les coefficients α et β de l'équation de SPARK lite afin de trouver le meilleur poids pour chacun des deux facteurs d'influence ;

$$SPARK\ lite = \alpha * (100 - Flesch) + \beta * (cyclo + 1)$$

- et le poids des conditions imbriquées afin de vérifier l'hypothèse que nous avons posée, stipulant qu'une condition imbriquée augment davantage la complexité d'une procédure.

Nous avons ainsi comparé le résultat de chacune des combinaisons de variations avec le score obtenu par TACOM (voir Étape 3) afin de trouver le meilleur ajustement possible. Notez que l'ensemble de l'analyse de sensibilité se retrouve à l'Annexe B.

La comparaison #1 compare les résultats de TACOM ajusté avec les résultats de SPARK lite sans considérer les imbrications. Nous avons donc calculé le score de complexité en ajoutant +1 à la variable *cyclo* chaque fois que nous rencontrions une des conditions suivantes dans la procédure : if, when, else, case, while, repeat, and.

La comparaison #2 compare, une fois de plus, les résultats de TACOM ajusté avec les résultats de SPARK lite, mais cette fois-ci, en considérant les imbrications. Nous avons incrémenté la variable *cyclo* de +2 à chaque fois que nous rencontrions un « if » imbriqué dans un « if » et nous avons continué à l'augmenter de +1 lorsque nous retrouvions un des mots de la liste suivante : if, when, else, case, while, repeat, and.

La comparaison #3 compare la même chose que la comparaison #2, mais en augmentant la variable *cyclo* de +3 chaque fois qu'un « if » est imbriqué dans un autre « if ».

La comparaison #4 compare, une fois de plus la même chose que la comparaison #2 et #3, mais cette fois-ci, en augmentant la variable *cyclo* de +4 lorsqu'un « if » est imbriqué dans un autre « if ».

En considérant la différence de pourcentage entre le score de TACOM et le score de SPARK lite, nous trouvons le meilleur ajustement là où la différence est la plus petite. Cela nous permet

d'obtenir un ajustement de SPARK lite qui produit des scores de complexité se rapprochant le plus possible des résultats obtenus par le modèle de référence.

Le tableau suivant montre les écarts moyens entre les scores de SPARK lite et ceux de TACOM pour chacune des comparaisons.

Tableau 4-18 : Écarts moyens entre les scores de SPARK lite et ceux de TACOM

	Comparaison #1	**Comparaison #2**	**Comparaison #3**	**Comparaison #4**
α=0,1 et β=0,9	41,68	41,16	40,65	40,13
α=0,2 et β=0,8	35,34	34,88	34,42	33,96
α=0,3 et β=0,7	28,99	28,59	28,19	27,79
α=0,4 et β=0,6	22,65	22,42	22,54	22,65
α=0,5 et β=0,5	18,06	18,15	18,25	18,38
α=0,6 et β=0,4	16,51	16,74	16,96	17,19
α=0,7 et β=0,3	15,60	15,77	15,94	16,11
α=0,8 et β=0,2	16,11	16,22	16,34	16,45
α=0,9 et β=0,1	17,66	17,71	17,77	17,83

Étape 7 : Modèle final

L'analyse de sensibilité, présentée en détail à l'Annexe B, nous montre clairement que lorsque nous considérons les imbrications, nous nous éloignons du modèle de référence. Ce qui vient donc réfuter notre hypothèse voulant que la complexité soit plus élevée lorsqu'il y a des conditions imbriquées dans d'autres. Cela explique également pourquoi aucun auteur ne considère cet aspect dans l'évaluation de la complexité d'une procédure.

En fait, nous constatons que notre modèle se rapproche le plus du modèle de référence lorsque les coefficients sont de α = 0,7 et β = 0,3. Avec ces valeurs, nous obtenons un écart de 15,60% ce qui est inférieur à la limite de 20% que nous ne voulions pas dépasser.

En résumé, nous savons désormais que notre modèle est en mesure de produire des scores de complexité qui varient selon les mêmes tendances que le modèle de référence. Pour réduire l'écart entre les scores de notre modèle et ceux de TACOM, SPARK lite doit :

- compter le nombre de mots, de phrases et de syllabes dans une procédure afin de calculer l'indice de Flesch ;
- compter le nombre de : « if, when, else, case, while, repeat, and » et incrémenter de +1 la variable *cyclo* chaque fois qu'une de ces condition est rencontrée ;
- finalement effectuer l'équation suivante :

$$SPARK\ lite = 0{,}7 * (100 - Flesch) + 0{,}3 * (cyclo + 1)$$

CHAPITRE 5. EXPÉRIMENTATION DE SPARK LITE

Le but de ce chapitre est de vérifier si les deux facteurs considérés dans SPARK lite affectent réellement le niveau de complexité d'une procédure. Pour ce faire, nous avons effectué une expérimentation dans laquelle des participants devaient accomplir des tâches en suivant des procédures simples et des procédures complexes. L'expérimentation en question s'inscrit dans le cadre d'une expérimentation de plus haut niveau, soit celle de l'outil FIT dans son ensemble. Nous débutons donc le présent chapitre en décrivant les grandes lignes de la mise en contexte de l'expérimentation de haut niveau en précisant les critères de sélection des participants et l'état de ceux-ci lors des tests. Nous poursuivons en entrant dans le détail de l'expérimentation de notre module SPARK lite en présentant les objectifs de l'expérimentation objectifs, ainsi que la méthodologie et les résultats.

5.1. Mise en contexte

5.1.1. Expérimentation de l'outil FIT

Les données expérimentales présentées dans ce chapitre ont été tirées d'une expérimentation effectuée au cours de l'été 2010. Cette expérimentation avait pour but de tester les différents modules de l'outil FIT : module de la fatigue, module du stress et module de la complexité des procédures. Rappelons que l'outil FIT permet de déterminer le niveau de fiabilité global d'un astronaute « A », à un temps « T » pour effectuer une tâche « X ». Pour tester cet outil, nous avons décidé de recréer certains aspects du travail d'un astronaute afin que l'expérimentation soit la plus représentative possible d'une journée typique dans l'espace. Bien évidemment, il était impossible de prendre en considération tous les aspects du travail d'un astronaute, par exemple, la microgravité. Par conséquent, nous avons pris le soin d'analyser et de sélectionner des tâches bien précises qu'ils réalisent fréquemment. Pour ce faire, nous avons analysé l'horaire des astronautes dans l'espace pour plusieurs missions. Ces données sont disponibles

sur le site de la NASA. Nous avons ainsi constaté qu'ils exécutent souvent des tâches d'assemblage de pièces, des expériences de chimie, de la surveillance de système, de la vérification de système, etc. Nous avons donc fait réaliser ce type de tâches à nos participants afin de tester si l'outil FIT pouvait prédire leur niveau de fiabilité pour ce type de tâches.

La tableau suivante montre l'horaire suivi par tous les participants lors de leur journée de test.

Tableau 5-1 : Horaire de l'expérimentation

	Schedule	Task	Procedure	Stress	Concurrent task
Bloc 1	12h00 - 12h20	Intro			
	12h20 - 12h45	System check #1-A	X		
	12h45 - 13h20	Assembly - Solar Rover			X (first 5 tasks)
	13h20 - 13h45	System check #2-B	X		
	13h45 - 14h00	*(Buffer time)*			
	14h00	***Switch***			
	14h00 - 14h30	Chemistry #4 and #5	X		
	14h30 - 15h05	Monitoring #1			X (first 15 min)
	15h05 - 15h35	Chemistry #8 and #9	X		
	15h35 - 15h40	*(Buffer time)*			
	15h40 - 15h55	Cognitive task - Baseline		*X*	
	15h55 - 16h25	Supper			
Bloc 2	16h25 - 16h50	System check #4-A	X		
	16h50 - 17h30	Assembly - Appolo 17			X (first 5 tasks)
	17h30 - 17h55	System check #5-B	X		
	17h55 - 18h05	*(Buffer time)*			
	18h05	***Switch***	X		
	18h05 - 18h35	Chemistry #6 and #7	X		
	18h35 - 19h10	Monitoring #2			X (first 15 min)
	19h10 - 19h40	Chemistry #12 and #3	X		
	19h40 - 19h45	*(Buffer time)*			
	19h45 - 20h00	Cognitive task (competition)		X	
	20h00 - 20h20	Break - snacks			
Bloc 3	20h20 - 20h45	System check #6-A	X		
	20h45 - 21h25	Assembly - Exo Mars Rover			X (first 5 tasks)
	21h25 - 21h50	System check #7-B	X		
	21h50 - 22h00	*(Buffer time)*			
	22h00	***Switch***			
	22h00 - 22h30	Chemistry #1 and #2	X		
	22h30 - 23h05	Monitoring #3			X (first 15 min)
	23h03 - 23h35	Chemistry #10 and #11	X		
	23h35 - 23h40	*(Buffer time)*			
	23h40 - 23h55	Cognitive task (competition)		*X*	
	23h55 - 24h00	End session.			

Sur cet horaire, nous remarquons que les trois blocs comportent la même série de tâches. Cette répétition de tâches similaires, mais non identiques, nous permettait de tester l'évolution de la fatigue sur la performance humaine (temps et nombre d'erreurs).

Dans le cas qui nous intéresse, nous devons nous référer à la colonne intitulée « Procedure » pour voir quelles tâches nécessitaient des procédures écrites. C'est donc pour les tâches de vérification de système (*system check*) et de chimie (*chemistry*) que des procédures simples et complexes ont été créées. Pour les tâches de vérification de système nous ne faisions varier que le niveau de complexité cyclomatique de la procédure afin de voir l'impact d'un niveau élevé versus un niveau faible sur la performance des participants. L'indice de Flesch était toujours le même. Pour leur part, les tâches de chimie faisaient varier l'indice de Flesch dans les procédures pour voir l'impact d'un indice faible versus un indice élevé sur la performance humaine.

Il est important de mentionner que seules les données du bloc 2 ont été conservées afin d'effectuer l'analyse qui figure dans ce chapitre. Ces données sont jugées les plus représentatives de la variabilité de la complexité des procédures. Le bloc 1 a été exclu car les participants étaient tous dans une phase d'apprentissage très marquée lors de l'exécution des tâches de ce bloc. Tout était nouveau pour eux et ils se familiarisaient avec le déroulement des tâches. On a pu noter que le temps d'exécution était parfois plus long, puisque les participants cherchaient l'emplacement des objets sur la table de travail. Les participants ont également fait des erreurs de tâtonnements ou simplement des essais-erreurs. Nous avons également exclu les données du bloc 3, car celui-ci reflète trop l'effet de fatigue des participants. Ce bloc qui s'étend de 20h à 24h, montre surtout l'impact de la fatigue sur la performance des individus. Plusieurs erreurs ont été causées par la fatigue des participants. Tout compte fait, nous n'avons conservé que les données du bloc 2 pour les deux raisons suivantes :

- rendu à ce bloc, les participants se sont déjà familiarisés avec la tâche, alors la phase d'apprentissage initiale est passée ;

- dans ce bloc, l'effet de la fatigue n'est pas encore remarqué. Tous les participants avaient reçu la consigne de se lever à 7h et comme le bloc 2 se terminait à 20h, ils avaient donc un maximum de 13 heures d'éveil. Comme le montre le graphique de Dawson et al. (1997), c'est au-delà de 13h d'éveil que la fatigue affecte le niveau de performance d'un individu.

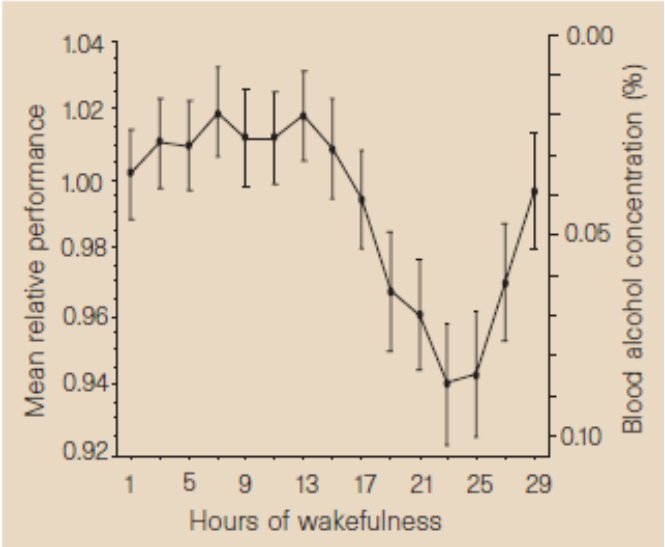


Figure 5-1 : Effet du nombre d'heures d'éveil sur la performance humaine

5.1.2. Critères de sélection des participants

Nous avons recruté un total de 16 participants, dont sept femmes et neuf hommes. Nous avons opté pour une proportion plus grande d'hommes, car nous voulions être représentatifs du ratio d'astronautes de sexe masculin versus de sexe féminin. Tous les participants à cette expérimentation ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- étudiants ou jeunes diplômés en ingénierie ;
- tous âgés entre 20 et 30 ans ;
- aucun problème de santé ou handicap physique (par exemple : problème de vision, de dextérité, daltonisme, etc.) ;
- capable de comprendre l'anglais écrit.

Voici le profil de nos 16 participants :

Tableau 5-2 : Profil des participants

Participants	Génie	Sexe	Étudiant/Gradué
Pré-test 1	Électrique	Féminin	Étudiant
Pré-test 2	Chimique	Féminin	Étudiant
Pré-test 3	Physique	Féminin	Gradué
Participant 1	Construction	Féminin	Gradué
Participant 2	Mécanique	Masculin	Étudiant
Participant 3	Mécanique	Masculin	Gradué
Participant 4	Électrique	Masculin	Étudiant
Participant 5	Civil	Féminin	Étudiant
Participant 6	Civil	Féminin	Gradué
Participant 7	Industriel	Masculin	Gradué
Participant 8	Industriel	Masculin	Gradué
Participant 9	Industriel	Féminin	Gradué
Participant 10	Industriel	Masculin	Gradué
Participant 11	Industriel	Masculin	Étudiant
Participant 12	Logiciel	Masculin	Étudiant
Participant 13	Industriel	Masculin	Étudiant

Des 16 participants, les trois premiers ont servi à faire des pré-tests pour bien orienter notre expérimentation. Ces pré-tests ont aidé à ajuster notre méthode de travail afin d'uniformiser la prise de données entre les trois évaluateurs. Les données de ces trois participants ne seront donc pas considérées dans l'analyse étant donné la variabilité des résultats lors des ajustements au plan d'expérimentation. De plus, le participant 7 n'a participé qu'à la deuxième moitié de l'expérimentation, alors pour cette raison nous avons décidé de ne pas tenir compte de ses données. Les participants 11 et 13 n'ont pas fait toutes les tâches lors de l'expérimentation dû à un manque de temps, alors leurs données ne seront pas considérées dans l'analyse. Nous analyserons donc les données de 10 participants.

5.1.3. État des participants lors des tests

Nous avons fait certaines recommandations aux participants pour que leur état général soit sensiblement le même. Voici les recommandations faites pour la journée d'expérimentation :

- avoir dormi 8h la nuit précédent l'expérimentation ;
- se lever à 7h ;
- prendre un bon déjeuner ;
- ne pas prendre de caféine le matin du test (c.-à-d., pas de café, thé, boisson gazeuse, boisson énergisante, etc.).

5.2. Objectifs de l'expérimentation pour le module SPARK lite

Dans le cadre de l'expérimentation de l'outil FIT dans son ensemble, nous avons effectué différentes petites expérimentations pour tester chacun des modules. L'une de celles-ci est la validation du module de la complexité des procédures, SPARK lite. Pour tester ce module, nous avons demandé à nos participants d'accomplir des tâches de chimie et des tâches de vérification de système à l'aide de procédures bien précises. Tel que mentionné précédemment, les tâches de chimie faisaient varier l'indice de Flesch et les tâche de vérification de système faisaient varier le niveau de complexité cyclomatique de la procédure. Cette expérimentation visait à atteindre deux objectifs. Le premier était de vérifier si les deux facteurs considérés dans SPARK lite (la lisibilité et la complexité cyclomatique) affectent réellement le niveau de complexité d'une procédure. Le deuxième objectif était de vérifier si la lisibilité a un impact plus grand sur la performance que la complexité cyclomatique. Ce dernier objectif va nous permettre de vérifier si l'équation que nous avons obtenue au chapitre 4 a du sens. Rappelons-nous que cette équation nous donnait un poids de 0,7 pour la lisibilité et un poids de 0,3 pour la complexité cyclomatique.

5.3. Méthodologie pour l'expérimentation du module SPARK lite

Dans chaque bloc, les participants ont dû suivre des procédures de chimie avec un indice de Flesch simple (> 60) (bloc 1 : procédures #8-#9, bloc 2 : procédures #12-#3 et bloc 3 : procédures #10-#11) et un nombre égal de procédures ayant un indice de Flesch complexe (≤ 60) (bloc 1 : procédures #4-#5, bloc 2 : procédures #6-#7 et bloc 3 : procédures #1-#2). De même pour la complexité cyclomatique, les participants ont dû suivre, à chacun des blocs, des procédures ayant un score de complexité cylomatique nulle (bloc 1 : procédure #2-B, bloc 2 : procédure #5-B et bloc 3 : procédure #7-B) et un nombre égal de procédures ayant un score de complexité égal à 112 (bloc 1 : procédure #1-A, bloc 2 : procédure #4-A et bloc 3 : procédure #6-A). Le but de cette variation des indices de Flesch et de la complexité cyclomatique est de voir si ces deux facteurs considérés dans SPARK lite ont un impact réel sur la performance d'un individu lors de l'accomplissement d'une tâche.

Puisque nous ne considérons que les données du bloc 2, nous regarderons les procédures utilisées ainsi que le déroulement des tâches dans ce bloc seulement.

5.3.1. Variation de l'indice de Flesch

Nous avons créé des tâches de manipulation chimique en nous inspirant d'une trousse de chimie vendue pour les enfants âgés de 8 ans et plus. Ces tâches ne comportaient aucun danger et étaient constamment effectuées sous la surveillance d'un observateur. La figure 5-2 montre le poste de travail des participants lors de l'exécution des tâches de chimie.

Figure 5-2 : Poste de travail de l'expérience de chimie

Pour le bloc 2, nous avons créé quatre tâches de chimie, dont deux étaient accompagnées d'une procédure ayant un indice de Flesch simple, supérieur à 60 (procédures #12-#3). Les deux autres tâches étaient accompagnées d'une procédure ayant un indice de Flesch complexe, inférieur ou égal à 60 (procédure #6-#7) (voir Annexe C pour consulter les procédures en question). Chacune de celles-ci a un score de complexité cyclomatique inférieur ou égal à 2, car nous voulons être certains de minimiser l'influence de la complexité cyclomatique sur les tâches de chimie. Nous voulons donc vérifier l'impact d'une lisibilité élevée versus une lisibilité faible sur la performance d'un individu à accomplir une tâche bien précise, le tout sans que la complexité cyclomatique affecte la procédure.

Nous avons donné à tous les participants les mêmes instructions de départ. Ils avaient un temps illimité pour accomplir chacune des tâches en suivant la procédure correspondante. L'observateur devait, pour sa part, s'assurer de noter le temps requis pour accomplir la tâche et le nombre d'erreurs faites par le participant (ex. : utiliser le mauvais produit, cocher au mauvais moment, oublier de nettoyer un outil, etc.). À la fin des deux procédures simples et des deux

procédures complexes, le participant devait remplir un outil d'évaluation de la charge mentale de travail ressentie, soir le NASA-TLX.

Nous allons vérifier l'impact d'une procédure ayant un indice de Flesch simple versus une procédure ayant un indice de Flesch complexe sur ces trois variables dépendantes : le temps d'exécution, les erreurs et la charge mentale.

5.3.2. Variation de la complexité cyclomatique

Nous avons ensuite créé des tâches de vérification de système en s'inspirant de tâches réelles des astronautes. Ces derniers doivent parfois prendre des données sur certains appareils dans la navette spatiale. Tout comme les tâches de chimie, ces tâches ne comportaient aucun danger et étaient constamment sous la surveillance d'un observateur. La figure 5-3 montre le poste de travail des participants lors des tâches de vérification de système.

Figure 5-3 : Poste de travail de l'expérience de vérification de système

Pour le bloc 2, nous avons créé deux tâches de vérification de système, dont l'une était accompagnée d'une procédure ayant un score de complexité cyclomatique nul (procédure #5-B) et l'autre d'un score égal à 112 (procédure #4-A) (voir Annexe D pour consulter les procédures et l'interface du système). Il est important de mentionner que les deux procédures utilisées avaient le même indice Flesch. De cette façon, nous avons testé l'impact d'un score de complexité cyclomatique faible versus un score de complexité cyclomatique élevé sur la performance d'un individu lors de l'exécution d'une tâche bien précise, le tout sans modifier le niveau de lisibilité de la procédure.

Tous les participants ont reçu les mêmes instructions de départ. Ils avaient tous 20 minutes pour accomplir les 40 étapes de la procédure et devaient cocher l'étape une fois qu'ils l'avaient accomplie. De plus, les participants avaient comme consigne de lire à voix haute la procédure, pour éviter qu'ils ne sautent des mots dans la phrase. De cette façon, nous étions certains que chaque mot de la procédure était lu afin de pouvoir affirmer que l'indice de Flesch était demeuré le même pour les deux procédures. Tout comme pour l'expérimentation de chimie, l'observateur devait s'assurer de noter le temps requis pour accomplir la tâche et le nombre d'erreurs faites par le participant (ex. : erreur de logique en empruntant le mauvais chemin ou erreur de calcul). À la fin de chaque tâche, le participant devait remplir un outil d'évaluation de la charge mentale de travail ressentie, soir le NASA-TLX. Cet outil nous a permis de quantifier le niveau de charge mentale ressentie par la personne au moment de l'exécution de chacune des tâches.

Nous allons vérifier l'impact d'une procédure ayant un score de complexité cyclomatique faible versus un score de complexité cyclomatique élevé sur les mêmes trois variables : le temps d'exécution, les erreurs et la charge mentale.

5.4. Résultats

5.4.1. Variation de l'indice de Flesch

Regardons maintenant les données obtenues dans les tâches de chimie où l'on faisait varier l'indice de Flesch.

Le tableau suivant montre le temps d'exécution et le nombre d'erreurs faites par chaque participant pour les deux procédures ayant un indice de Flesch simple. La dernière colonne donne le score de la charge mentale ressentie par chaque participant lors de l'exécution de ces deux procédures.

Tableau 5-3 : Données brutes des procédures #12-#3 ayant un indice de Flesch simple

	Flesch simple (> 60)				
	Procédure #12		Procédure #3		Score NASA-TLX
	Temps (min)	Nombre d'erreurs	Temps (min)	Nombre d'erreurs	
P1	12	0	14	3	19
P2	10	5	14	2	22
P3	7	4	9	5	10
P4	9	13	9	14	14
P5	8	2	9	8	17
P6	12	7	10	3	32
P8	12	5	12	6	12
P9	6	1	9	0	10
P10	9	1	11	5	15
P12	11	3	10	4	20
Somme	96	41	107	50	171
Moyenne	9,6	4,1	10,7	5	17,1

Puisque les procédures de chimie n'ont pas toutes le même nombre d'étapes, de notes et de d'avertissement (*warning*), nous avons jugé bon de normaliser leur temps d'exécution ainsi que leur nombre d'erreur pour pouvoir mieux les comparer. En divisant les temps et les erreurs de chaque procédure par la somme du nombre d'étapes, de notes et d'avertissement, nous les rendons ainsi indépendantes de ceux-ci.

Sachant que la procédure #12 comporte 13 étapes, 0 note et 0 avertissement, nous pouvons diviser le temps et le nombre d'erreurs de chaque participant par 13. Pour sa part, la procédure #3 comporte 20 étapes, 1 note et 1 avertissement, donc nous divisons le temps et le nombre d'erreurs de chaque participant par 22.

Nous obtenons ainsi le tableau normalisé suivant :

Tableau 5-4 : Données normalisées des procédures #12-#3 ayant un indice de Flesch simple

	Flesch simple (> 60)				
	Procédure #12		Procédure #3		Score NASA-TLX
	Temps Normalisé	Nombre d'erreurs Normalisé	Temps Normalisé	Nombre d'erreurs Normalisé	
P1	0,9231	0	0,6364	0,1364	19
P2	0,7692	0,3846	0,6364	0,0909	22
P3	0,5385	0,3077	0,4091	0,2273	10
P4	0,6923	1,0000	0,4091	0,6364	14
P5	0,6154	0,1538	0,4091	0,3636	17
P6	0,9231	0,5385	0,4545	0,1364	32
P8	0,9231	0,3846	0,5455	0,2727	12
P9	0,4615	0,0769	0,4091	0	10
P10	0,6923	0,0769	0,5000	0,2273	15
P12	0,8462	0,2308	0,4545	0,1818	20
Somme	7,3846	3,1538	4,8636	2,2727	171
Moyenne	0,7385	0,3154	0,4864	0,2273	17,1

Regardons maintenant, le temps d'exécution, le nombre d'erreurs et le score de charge mentale de chaque participant lors de l'exécution des deux procédures ayant un indice de Flesch complexe.

Tableau 5-5 : Données brutes des procédures #6-#7 ayant un indice de Flesch complexe

	Flesch complexe (≤ 60)				
	Procédure #6		Procédure #7		Score NASA-TLX
	Temps (min)	Nombre d'erreurs	Temps (min)	Nombre d'erreurs	
P1	19	6	24	4	20
P2	12	3	19	2	29
P3	8	4	17	16	35
P4	12	17	19	13	8
P5	12	17	11	34	23
P6	12	5	12	13	36
P8	13	6	16	9	11
P9	11	7	14	6	7
P10	9	3	9	5	18
P12	11	6	12	9	20
Somme	119	74	153	111	207
Moyenne	11,9	7,4	15,3	11,1	20,7

Effectuons la normalisation des données de ce tableau. Pour ce faire, nous devons diviser le temps et le nombre d'erreurs de la procédure #6 par 12, car elle contient 10 étapes, 1 note et 1 avertissement et diviser par 26 la procédure #7, car elle contient 21 étapes, 3 notes et 2 avertissements.

Nous obtenons ainsi le tableau normalisé suivant :

Tableau 5-6 : Données normalisées des procédures #6-#7 ayant un indice de Flesch complexe

	Flesch complexe (≤ 60)				
	Procédure #6		Procédure #7		Score NASA-TLX
	Temps Normalisé	Nombre d'erreurs Normalisé	Temps Normalisé	Nombre d'erreurs Normalisé	
P1	1,5833	0,5	0,9231	0,1538	20
P2	1	0,25	0,7308	0,0769	29
P3	0,6667	0,3333	0,6538	0,6154	35
P4	1	1,4167	0,7308	0,5	8
P5	1	1,4167	0,4231	1,3077	23
P6	1	0,4167	0,4615	0,5	36
P8	1,0833	0,5	0,6154	0,3462	11
P9	0,9167	0,5833	0,5385	0,2308	7
P10	0,75	0,25	0,3462	0,1923	18
P12	0,9167	0,5	0,4615	0,3462	20
Somme	9,9167	6,1667	5,8846	4,2692	207
Moyenne	0,9917	0,6167	0,5885	0,4269	20,7

Le but de l'expérience de chimie est de voir s'il y a une différence significative entre la performance des participants lorsqu'ils utilisent une procédure ayant un indice de Flesch simple versus complexe. Pour ce faire, nous allons effectuer un test statistique, soit le test *T* de Student. Ce test va nous permettre de vérifier si la moyenne des temps pour une procédure simple est significativement différente de la moyenne des temps pour une procédure complexe. Même chose pour le nombre d'erreurs et la charge mentale. Cela revient donc à dire que les hypothèses que nous voulons tester sont :

1) $H_0 : \mu_{\text{temps simple}} = \mu_{\text{temps complexe}}$

   $H_1 : \mu_{\text{temps simple}} \neq \mu_{\text{temps complexe}}$

2) $H_0 : \mu_{\text{erreur simple}} = \mu_{\text{erreur complexe}}$

   $H_1 : \mu_{\text{erreur simple}} \neq \mu_{\text{erreur complexe}}$

3) $H_0 : \mu_{\text{charge mentale simple}} = \mu_{\text{charge mentale complexe}}$

   $H_1 : \mu_{\text{charge mentale simple}} \neq \mu_{\text{charge mentale complexe}}$

L'hypothèse H_0 sera rejetée si t-value est supérieur à $t_{\alpha/2,\ n-1}$ ou si t_0 est inférieur à $-t_{\alpha/2,\ n-1}$. Nous pouvons également la rejeter H_0 si le p-value est inférieur ou égal à α que nous fixerons à 0,05. Nous rejetterons l'hypothèse H_0 si :

- t-value $> t_{0,025,\ 9} = 2,262$ ou;
- t-value $< - t_{0,025,\ 9} = -2,262$ ou;
- p-value $\leq 0,05$

Regardons les résultats du test Student qui a été fait à l'aide du logiciel de statistique Statview.

Temps d'exécution

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 12, Procedure 6	-,253	9	-4,036	,0029

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 12, Procedure 7	,150	9	2,223	,0533

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 3, Procedure 6	-,505	9	-7,980	<,0001

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 3, Procedure 7	-,102	9	-2,189	,0564

Nous voyons ci-haut les résultats de la comparaison des temps normalisés de chacune des procédures ayant un indice de Flesch simple (#12 et #3) avec chacune des procédures ayant un indice de Flesch complexe (#6 et #7). Nous rejetons l'hypothèse H_0 pour deux des quatre

comparaisons. Par contre, il est important de constater que les deux comparaisons qui ne font pas rejeter H_0 passent très près de la rejeter. La comparaison de la procédure #12 avec la procédure #7 est à 0.0033 de rejeter l'hypothèse nulle alors que la comparaison de la procédure #3 avec la #7 est à 0.0064 de la rejeter. Ceci nous permet donc d'affirmer qu'il y a une différence significative entre le temps d'exécution d'une procédure d'indice de Flesch simple versus une procédure d'indice de Flesch complexe.

À la lumière de ces résultats, il n'est pas surprenant de voir que le temps est plus élevé lors de l'exécution des procédures avec un indice de Flesch complexe. Il est évident que l'accomplissement d'une procédure à environ 300 mots nécessite plus de temps qu'une procédure à 150 mots. Ce n'est pas tant l'exécution qui prend plus de temps, mais simplement la lecture même de la procédure.

Nombre d'erreurs

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 12, Procedure 6	-,301	9	-2,321	,0454

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 12, Procedure 7	-,112	9	-,806	,4410

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 3, Procedure 6	-,389	9	-3,805	,0042

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 3, Procedure 7	-,200	9	-2,017	,0744

La comparaison du nombre d'erreurs normalisé de toutes les procédures simples avec toutes les procédures complexes montre que deux des quatre comparaisons rejettent l'hypothèse H_0. Pour ce qui est de la dernière comparaison, la procédure #3 avec la #7, celle-ci est quand même près de rejeter l'hypothèse. Il aurait peut-être fallu un nombre un peu plus élevé de participants pour voir si cette comparaison aurait rejeté l'hypothèse d'égalité. Nous pouvons quand même affirmer qu'il y a une différence significative du nombre d'erreurs entre une procédure ayant un indice de Flesch simple et une procédure ayant un indice de Flesch complexe, car près de trois des quatre comparaisons rejettent H_0.

Charge mentale de travail

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure 12+3, Procedure 6+7	-3,600	9	-1,337	,2140

Nous voyons clairement qu'il n'y a pas de différence significative au niveau de la charge mentale ressentie par les participants, puisque nous ne rejetons pas l'hypothèse H_0. Les participants n'ont donc pas eu l'impression que les procédures ayant un indice de Flesch élevé leur avaient demandé plus de concentration que les procédures ayant un indice de Flesch simple.

De façon générale, nous pouvons dire que l'indice de Flesch a un impact sur les temps d'exécution des tâches et aussi, de façon un peu moins prononcé, sur le nombre d'erreurs d'exécution. Par contre, l'expérimentation ne nous permet pas de croire que la lisibilité d'une procédure a un impact sur la charge mentale d'un individu.

5.4.2. Variation de la complexité cyclomatique

Regardons maintenant les données obtenues lors des tâches de vérification de système où l'on faisait varier la complexité cyclomatique.

Le tableau qui suit montre le temps d'exécution, le nombre d'erreurs et la charge mentale de travail ressentie par chaque participant pour la procédure ayant un score de complexité cyclomatique nul.

Tableau 5-7 : Données brutes de la procédure ayant un score de complexité cyclomatique nul

	Complexité cyclomatique simple		
	Temps (min)	**Nombre d'erreur**	**Score NASA-TLX**
P1	12	3	26
P2	9	3	25
P3	10	2	19
P4	11	5	22
P5	13	5	14
P6	12	3	30
P8	9	0	10
P9	9	7	8
P10	9	0	14
P12	8	4	11
Somme	102	32	179
Moyenne	10,2	3,2	17,9

Le tableau 5-8 montre également le temps d'exécution, le nombre d'erreurs et la charge mentale ressentie par chaque participant pour la procédure ayant un score de complexité cyclomatique égal à 112.

Tableau 5-8 : Données brutes de la procédure ayant un score de complexité cyclomatique égal à 112

	Complexité cyclomatique complexe		
	Temps (min)	**Nombre d'erreur**	**Score NASA-TLX**
P1	17	3	31
P2	13	2	22
P3	16	4	28
P4	18	5	16
P5	15	7	25
P6	15	5	30
P8	15	1	11
P9	13	2	11
P10	15	1	17
P12	13	1	17
Somme	150	31	208
Moyenne	15	3,1	20,8

Le but de l'expérience de vérification de système est de voir s'il y a une différence significative entre la performance des participants lors de l'exécution d'une procédure de complexité cyclomatique simple versus complexe. Pour ce faire, nous allons, une fois de plus, effectuer un test statistique, soit le test Student. Les hypothèses que nous voulons vérifier sont les mêmes que pour l'expérience de chimie, soit :

1) $H_0 : \mu_{\text{temps simple}} = \mu_{\text{temps complexe}}$

   $H_1 : \mu_{\text{temps simple}} \neq \mu_{\text{temps complexe}}$

2) $H_0 : \mu_{\text{erreur simple}} = \mu_{\text{erreur complexe}}$

   $H_1 : \mu_{\text{erreur simple}} \neq \mu_{\text{erreur complexe}}$

3) $H_0 : \mu_{\text{charge mentale simple}} = \mu_{\text{charge mentale complexe}}$

   $H_1 : \mu_{\text{charge mentale simple}} \neq \mu_{\text{charge mentale complexe}}$

Encore une fois, l'hypothèse H_0 sera rejetée si :

- t-value > $t_{0,025,\ 9}$ = 2,262 ou;
- t-value < - $t_{0,025,\ 9}$ = -2,262 ou;
- p-value ≤ 0,05

Regardons les résultats obtenus grâce au test Student.

Temps d'exécution

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure S, Procedure C	-4,800	9	-9,798	<,0001

Nous voyons clairement qu'il y a une différence significative entre le temps d'exécution de la procédure de complexité cyclomatique simple versus la procédure complexe. Le p-value est tellement petit qu'il nous permet d'affirmer que lors de l'expérimentation la complexité cyclomatique a eu un impact sur le temps d'exécution de la tâche.

Nombre d'erreurs

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure S, Procedure C	,100	9	,136	,8951

Pour ce qui est du nombre d'erreurs faites par les participants, le test Student ne permet pas de rejeter l'hypothèse H_0. Il n'y a donc pas de différence significative entre le nombre d'erreurs

commises en suivant la procédure de complexité cyclomatique simple versus la procédure complexe.

Charge mentale de travail

Paired t-test
Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Procedure S, Procedure C	-2,900	9	-1,765	,1113

Puisque la p-value n'est pas inférieure ou égale à 0,05, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle. Cela veut donc dire qu'il n'y a pas de différence significative entre la charge mentale ressentie par les participants lors de l'exécution de la procédure de complexité cyclomatique nulle et celle ayant un score de 112.

De façon générale, nous pouvons affirmer que la complexité cyclomatique a un impact seulement sur le temps d'exécution de la tâche et non sur le nombre d'erreurs et sur la charge mentale ressentie.

Par conséquent, cette expérimentation nous montre clairement que l'indice de Flesch a un impact plus grand que la complexité cyclomatique sur la performance humaine, car il affecte à la fois le temps d'exécution et le nombre d'erreurs commises. Cela nous confirme donc que notre équation élaborée au chapitre 4 est juste. Il est justifié de donner un poids de 0,7 à la lisibilité et un poids de 0,3 à la complexité cyclomatique.

CHAPITRE 6. CONCLUSION

Cette recherche avait pour objectif d'évaluer si SPARK lite produit des scores de complexité de procédures suffisamment proches (écart moyen inférieur à 20%) du modèle d'évaluation valide TACOM.

Pour atteindre cet objectif, nous avons débuté par effectuer une revue de littérature sur les sujets suivants : procédure, complexité des procédures et outils d'évaluation de la complexité des procédures. Nous avons ainsi constaté la criticité des procédures et l'importance de pouvoir quantifier leur niveau de complexité. Nous avons ensuite détaillé le fonctionnement de l'outil SPARK lite afin de saisir sa simplicité d'utilisation. Par la suite, nous avons effectué une comparaison entre les scores de complexité de 10 procédures produit par SPARK lite et les scores obtenus avec le modèle de référence valide, TACOM. Cette comparaison nous a permis de constater qu'en attribuant un poids de 0,7 à la lisibilité et un poids de 0,3 à la complexité cyclomatique de la procédure, nous arrivons à obtenir un écart moyen inférieur à 20% entre notre modèle et celui de référence. Il semble donc que notre modèle soit en mesure de produire des scores de complexité de façon plus rapide et plus simple que le modèle validé, sans pour autant avoir un score qui diffère trop. Finalement, nous avons fait une expérimentation pour vérifier si les deux facteurs considérés affectent la performance d'un individu lors de l'exécution d'une procédure. Cette expérimentation nous a permis de confirmer l'utilisation de l'indice de Flesch et de la complexité cyclomatique dans l'évaluation de la complexité d'une procédure, car ces deux facteurs affectent la performance humaine lorsqu'il y a une différence de complexité entre les procédures utilisées. De plus, cette expérimentation nous a confirmé les poids attribués à chacun des deux facteurs, car nous avons constaté que l'indice de Flesch affecte plus la performance humaine que la complexité cyclomatique lorsque le niveau de complexité de la procédure augmente.

6.1. Contribution à l'avancement des connaissances

Tel que mentionné précédemment, à ce jour, aucun outil informatique n'existe pour quantifier le niveau de complexité d'une procédure. Or, puisque SPARK lite produit des scores de complexité suffisamment proches (écart moyen inférieur à 20%) de ceux du modèle de référence et qu'il est entièrement informatisé, nous pouvons dire que cet outil sera utile et facile à utiliser par toutes les organisations qui utilisent des procédures lors de la réalisation de tâches. Cet outil va leur permettre de quantifier le niveau de complexité de leur procédure et, lors d'un score trop élevé, indiquer aux responsables le besoin de les simplifier pour augmenter la performance humaine. En améliorant leurs procédures, ces organisations réduiront le temps d'exécution des tâches tout en réduisant le risque d'erreurs.

6.2. Limites de la recherche

Le présent projet de recherche s'inscrit dans le cadre du développement de l'outil FIT. Nous nous sommes limités à l'évaluation du module de la complexité des procédures. Nous avons considéré SPARK lite tel que conçu par Shumac, sans modifier les facteurs considérés. Nous savons maintenant que d'autres facteurs auraient pu être inclus pour quantifier le niveau de complexité des procédures, mais notre tâche consistait à évaluer le module tel que créé par Shumac et vérifier s'il produit des scores représentatifs. Nous avions la liberté de modifier le poids des deux facteurs mais pas la nature de ceux-ci. C'est au chapitre 5 que nous avons regardé si les facteurs considérés affectent réellement la performance humaine et s'ils méritent de faire partie de l'équation.

6.3. Voies de recherche à explorer

Puisque SPARK lite ne considère que deux des 15 facteurs affectant la complexité des procédures, il serait intéressant, dans un autre projet, d'inclure d'autres facteurs dans notre modèle. De cette façon, nous pourrions vérifier si ces nouveaux facteurs rendent les scores de SPARK lite encore plus précis face au modèle de référence.

Par ailleurs, Shumac a émis l'hypothèse qu'une équation de forme Ax+By = C permettrait de trouver le score de complexité d'une procédure. Notre chapitre de comparaison semble confirmer le choix de cette forme, mais il pourrait être intéressant d'essayer une autre forme d'équation. Par exemple, dans le modèle de référence, Park (2009) calcule le score de complexité d'une procédure en trouvant la résultante de trois vecteurs dans un espace tridimensionnel. Dans un projet futur, nous pourrions tester ce type d'équation pour obtenir le score de complexité de SPARK lite.

Lorsque vient le moment d'évaluer le niveau de complexité d'une procédure, SPARK lite se limite aux procédures présentées sous forme écrite. Il ne considère pas les procédures présentées sous forme schématique, ni les procédures sonores. De plus, il ne considère pas les procédures accomplies en équipe. Il pourrait être pertinent d'ajouter un indice dans l'équation si la procédure doit être exécutée en équipe.

Il pourrait également être intéressant d'inclure SPARK lite à un outil de création de procédures. Cet outil pourrait offrir un gabarit formel de présentation pour toutes les procédures présentes dans une organisation. Dans son livre *Ergonomie cognitive du dialogue*, Falzon (1989) présente le langage comme la combinaison de trois parties : lexicale, syntaxique et sémantique. Le lexique renferme tous les mots employés, la syntaxe définie les règles d'articulation des mots les uns aux autres et la sémantique permet de donner un sens aux mots et aux phrases. L'outil de création de procédures pourrait avoir un lexique prédéfini comportant tous les verbes d'actions nécessaires et tous les mots acceptés dans une organisation. Ce lexique permettrait de créer un langage spécialisé commun, afin que chaque mot ait un sens unique et connu pour éviter toute ambiguïté qui créerait de la complexité inutile. Tout au long de la création de la procédure, SPARK lite pourrait produire un score de complexité et proposer des pistes d'amélioration pour rendre la procédure plus simple.

CHAPITRE 7. RÉFÉRENCES

BAILEY, W.P. (1996). *Human Performance engineering – Designing high quality professional user interfaces for computer products, applications and systems* (3rd edition). New Jersey: Prentice Hall PTR.

BOGDANICH, W. (2010). *Radiation Offers New Cures, and Ways to do Harm*. The New York Times. Consulté le 4 juin 2010, tiré de http://www.nytimes.com/2010/01/24/health/24radiation.html?_r=2&scp=1&sq=radiotherapy%20death&st=cse

CAP 716 *Aviation Maintenance Human Factors* (JAA JAR145). Civil Aviation Authority.

CLERC, O. (2010). *Dans un bloc opératoire comme dans un cockpit*. Lien multimédia. Consulté le 4 juin 2010, tiré de http://www.lienmultimedia.com/article.php3?id_article=24074

DAWSON, D., REID, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment. *Nature, 388*, 235-237.

FALZON, P. (1989). *Ergonomie cognitive du dialogue*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

FERGUSON, G.A., TAKANE, Y. (1989). Statistical analysis in psychology and education (sixth edition). United States: McGraw-Hill series in psychology.

HIGHET, D. (2006). *Work Instructions – How to Develop Effective Work Instructions*. Grimo.com. Consulté le 30 mai 2010, tiré de http://www.grizmo.com/management_news_200607.html

KONZ, S., JOHNSON, S. (2000). *Work design – Industrial ergonomics* (5th edition). Scottsdale, Arizona: Holcomb Hayhaway.

LE DICTIONNAIRE. *Procédure*. Le Dictionnaire. Consulté le 30 mai 2010, tiré de http://www.le-dictionnaire.com/definition.php?mot=proc%E9dure

LECLAIR, C., SEBBAH, N. (2008). Rapport d'enquête – *Accident mortel survenu à un travailleur de Axima Services inc., le 4 août 2007 au 1000, de la Gauchetière Ouest à Montréal, arrondissement de Ville-Marie*. (EN003705). CSST.

LE PETIT LAROUSSE ILLUSTRÉ. (2008). *Consigne*. Page 239.

LE PETIT LAROUSSE ILLUSTRÉ. (2008). *Procédure*. Page 823.

MCCABE, T.J., BUTLER, C.W. (1989). *Design complexity measurement and testing*. Commun ACM 32(12): 1415-1425.

PAQUETTE, G. (2002). *Modélisation des connaissances et des compétences – Un langage graphique pour concevoir et apprendre*. Québec : Presses de l'Université du Québec.

PARK, J. (2009). *The Complexity of Proceduralized Tasks*. London: Springer.

RADIO-CANADA. *Ocean Ranger : la plate-forme engloutie*. Radio-Canada. Consulté le 5 juin 2010, tiré de http://archives.radio-canada.ca/environnement/catastrophes_naturelles/dossiers/266/

REECE, J.W., HILL, G.S. (1995). *Human Performance analysis of industrial radiography exposure events*. In Idaho National Engineering Laboratory.

ROOT CAUSE NETWORK NEWSLETTER. Knoxville, TN: Sept. 1997.

SANDERS, M., MCCORMICK, E.J. (1993). *Human factors in engineering and design* (7e édition). McGraw Hill.

SHAPPEL, S., DETWILER, C., HACKWORTH, C., BOQUET, A., WIEGMANN, D. (2006). *Human Error and Commercial Aviation Accidents: A Comprehensive, Fine Grained Analysis Using HFACS*. FAA, editor.

TRANSPORT CANADA. (2001). *TP 13739 – Introduction to safety management systems*.

WATSON, A.H., MCCABE, T.J. (1996). Structured Testing: A testing methodology using the cyclomatic complexity metric (NIST Special Publication 500-235 Contract 43NANB517266). Gaithersburg: Dolores R. Wallace Editor.

WIERINGA, D., MOORE, C., BARNES, V. (1998). *Procedure writing: Principles and practices* (2nd edition). Colombus, OH: Battelle Press.

ANNEXE A. EXEMPLE D'ÉVALUATION DE LA PROCÉDURE 8 PAR TACOM

Pour évaluer la complexité d'une procédure, Park (2009) propose une méthode en huit étapes.

1) Extraire une tâche procédurale

But : S'assurer d'avoir une procédure sous forme d'étapes et non pas sous forme descriptive. Par exemple, la procédure #8 est un parfait exemple d'une procédure sous forme d'étapes :

Procedure #8	
[1]	Click "On" to activate Batteries E-F.
[2]	Wait until the progress bar has finished progressing.
[3]	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.
[4]	Verify the result of the test.
[5]	IF the result of the performance test is ≥ 95% THEN go to step [10].
[6]	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.
[7]	Click "On" to retransfer the energy.
[8]	Wait until the progress bar has finished progressing.
[9]	Return to [4].
[10]	Click "Start" to activate the Inverter 2A.

2) Identifier les actions requises avec leur séquence

But : S'assurer que chaque étape de la procédure contient un verbe d'action, suivi d'un sujet et d'une spécification d'action. Pour ce faire, il faut transformer tous les « if » en « determine » et tous les « then » en « verify ».

De cette façon, nous obtenons le tableau suivant :

Tableau A-1 : Action par étape

	#	Procedure's step	Action verb	Object
Step 1	S1	Perform Step 1	Perform	Step 1
	2	Click "On" to activate Batteries E-F.	Click	"On"
	3	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 2	S2	Perform Step 2	Perform	Step 2
	4	Wait until the progess bar has finished progressing.	Wait	-
	5	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 3	S3	Perform Step 3	Perform	Step 3
	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Click	"Test"
	7	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 4	S4	Perform Step 4	Perform	Step 4
	8	Verify the result of the test.	Verify	the result of the test
	9	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step5	S5	Perform Step 5	Perform	Step 5
	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Verify	the result of the test
	11	Go to step [10].	Go to	step
	12	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 6	S6	Perform Step 6	Perform	Step 6
	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Click	"Off"
	14	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 7	S7	Perform Step 7	Perform	Step 7
	15	Click "On" to retransfer the energy.	Click	"On"
	16	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 8	S8	Perform Step 8	Perform	Step 8
	17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Wait	-
	18	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 9	S9	Perform Step 9	Perform	Step 9
	19	Return to [4].	Return	step
	20	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step
Step 10	S10	Perform Step 10	Perform	Step 10
	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Click	"Start"
	22	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step

Une fois que nous avons identifié le verbe d'action (action verb) et le sujet (object) pour chacune des étapes de la procédure, nous devons représenter la séquence d'action à effectuer à l'aide de diagramme comme ceux-ci :

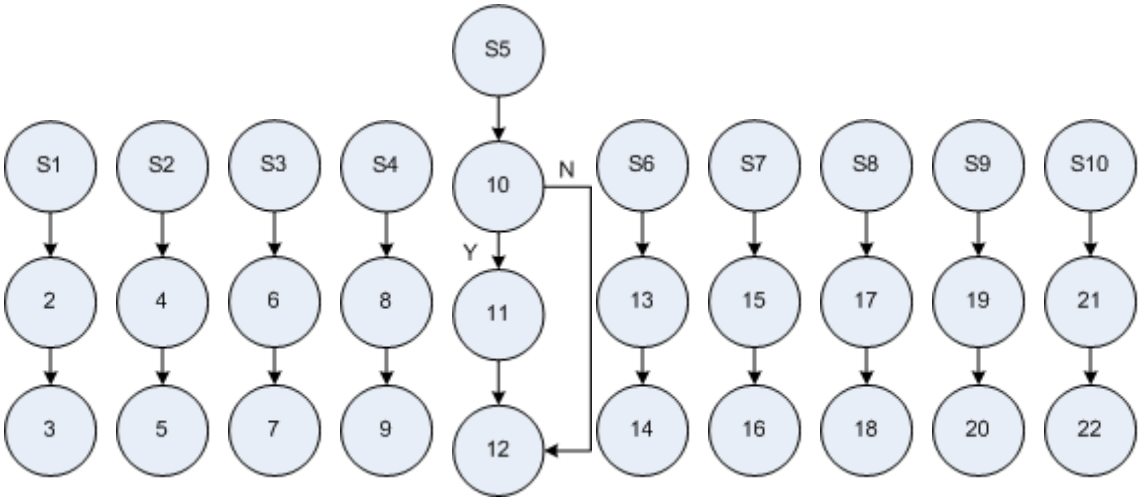


Figure A-1 : Séquence d'action pour chacune des étapes

3) Identifier les actions distinctes

But : S'assurer de lister toutes les informations distinctes se trouvant dans la procédure.

Pour accomplir cette étape, nous devons identifier les caractéristiques des actions de chaque étape. Nous devons identifier le type de signification (means), le type de critère d'acceptation (acceptance criterion), le type de contrainte (constraint) et le type de particularité (peculiarity) pour chaque étape.

Voici la liste des caractéristiques types que nous devons choisir.

Means :

- DEG (designated means) si c'est précisé avec quel outil il faut accomplir l'action.
  Ex. : Cool down the temperature of the RCS to 275°C using valve A.
- INH (inherent means) si c'est implicite avec quel outil il faut accomplir l'action.
  Ex. : Close valve A.
- NM (no means) si ce n'est pas précisé avec quel outil il faut accomplir l'action.
  Ex. : Cool down the temperature of the RCS to 270°C.

- LO (local operation) si c’est précisé d’aller voir un opérateur ou un département précis pour accomplir l’action.

  Ex. : Ensure that a field operator stopped pump C.

Acceptance criterion:

- OBJ (objective criterion) si le critère de réussite est objectif, car c’est soit binaire, discret, dans une échelle explicite de données ou c’est une tendance définie.

  Ex. : Verify that pump A is close (c’est binaire, elle est soit ouverte ou fermée).
- RI (reference information) si le critère de réussite fait référence à quelque chose, soit le temps, une figure, un graphique, une table, un tableau, une liste, une équation, une formule, une configuration statique ou dynamique.

  Ex. : Verify sufficient safety injection (SI) flow is delivered to RCS (refer to SI delivery curve).
- SUB (subjective criterion) si le critère de réussite est subjectif.

  Ex. : Verify pressurizer pressure is abnormally decreasing.
- NC (no criterion) s’il n’y a pas de critère de réussite d’établit.

Constraint :

- OBJ_C (objective constraint) s’il y a une contrainte objective.
- RI_C (reference information) s’il y a une contrainte avec une référence.
- SUB_C (subjective constraint) s’il y a une contrainte subjective.
- NL (no limitation) s’il n’y a pas de contrainte.

Peculiarity :

- SEL (selection) s’il y a une sélection d’élément à faire.

  Ex. : If necessary, perform any of the following: ...
- CC (continuous control) si c’est inscrit de faire une action continue.

  Ex. : Cool down the temperature of RCS to 275°C using valve A.

Lorsque chaque caractéristique a été déterminée, nous obtenons le tableau suivant.

Tableau A-2 : Caractéristique de chaque action

	DA	#	Procedure's step	Action verb	Object	Means	Acceptance criterion	Constraint	Peculiarity
Step 1	S1	S1	Perform Step 1	Perform	Step 1	INH	OBJ	NL	-
	DA1	2	Click "On" to activate Batteries E-F.	Click	"On"	INH	OBJ	NL	-
	DA2	3	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 2	S2	S2	Perform Step 2	Perform	Step 2	INH	OBJ	NL	-
	DA3	4	Wait until the progess bar has finished progressing.	Wait	-	DEG	OBJ	RI	-
	DA2	5	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 3	S3	S3	Perform Step 3	Perform	Step 3	INH	OBJ	NL	-
	DA4	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Click	"Test"	INH	OBJ	NL	-
	DA2	7	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 4	S4	S4	Perform Step 4	Perform	Step 4	INH	OBJ	NL	-
	DA5	8	Verify the result of the test.	Verify	the result of the test	INH	NC	NL	-
	DA2	9	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 5	S5	S5	Perform Step 5	Perform	Step 5	INH	OBJ	NL	-
	DA6	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Verify	the result of the test	INH	OBJ	NL	-
	DA7	11	Go to step [10].	Go to	step	INH	OBJ	NL	-
	DA2	12	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 6	S6	S6	Perform Step 6	Perform	Step 6	INH	OBJ	NL	-
	DA8	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Click	"Off"	INH	OBJ	NL	-
	DA2	14	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 7	S7	S7	Perform Step 7	Perform	Step 7	INH	OBJ	NL	-
	DA1	15	Click "On" to retransfer the energy.	Click	"On"	INH	OBJ	NL	-
	DA2	16	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 8	S8	S8	Perform Step 8	Perform	Step 8	INH	OBJ	NL	-
	DA3	17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Wait	-	DEG	OBJ	RI	-
	DA2	18	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 9	S9	S9	Perform Step 9	Perform	Step 9	INH	OBJ	NL	-
	DA9	19	Return to [4].	Return	step	INH	OBJ	NL	-
	DA2	20	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-
Step 10	S10	S10	Perform Step 10	Perform	Step 10	INH	OBJ	NL	-
	DA10	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Click	"Start"	INH	OBJ	NL	-
	DA2	22	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-

Avec ce tableau, nous pouvons ainsi voir toutes les informations distinctes. Nous avons inscrit un numéro de DA (distinctive action) identique pour toutes les actions qui avaient les mêmes : action verb, object, means, acceptance criterion, constraint et peculiarity.

4) Identifier l'information nécessaire

But : Identifier toutes les informations qui sont nécessaires pour accomplir l'action avec succès. Pour ce faire, nous devons retranscrire, dans le tableau suivant, toutes les DA que nous avons

listées à l'étape précédente en n'oubliant pas d'indiquer le nom des indicateurs ou des contrôleurs avec lesquels l'opérateur doit interagir pour accomplir l'action.

Tableau A-3 : Indicateurs et contrôleurs nécessaires pour chaque DA

DA	#	Procedure's step	Indicator/Controller
DA1	2,15	Click "On" to activate Batteries E-F.	Button "On"
DA2	3,5,7,	Go to the next procedural step	-
DA3	4,17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Progress bar
DA4	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Button "Test"
DA5	8	Verify the result of the test.	Result indicator
DA6	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Result indicator
DA7	11	Go to step [10].	-
DA8	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Button "Off"
DA9	19	Return to [4].	-
DA10	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Button "Start"

Ensuite, nous devons identifier pour chaque DA si la spécification d'action est de type :

- B (boolean) si la spécification de l'action est booléen.
- F (float) si la spécification de l'action est une valeur réelle.
- I (integer) si la spécification de l'action est une valeur entière.
- AB (array of boolean) si la spécification de l'action est une série booléenne.
- AF (array of float) si la spécification de l'action est une série de valeur réelle.

Nous obtenons donc le tableau suivant :

Tableau A-4 : Type de spécification de l'action

DA	#	Procedure's step	Indicator/Controller	Means Type
DA1	2,15	Click "On" to activate Batteries E-F.	Button "On"	B
DA2	3,5,7,	Go to the next procedural step	-	-
DA3	4,17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Progress bar	F
DA4	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Button "Test"	B
DA5	8	Verify the result of the test.	Result indicator	F
DA6	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Result indicator	F
DA7	11	Go to step [10].	-	-
DA8	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Button "Off"	B
DA9	19	Return to [4].	-	-
DA10	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Button "Start"	B

Avec ce tableau, nous pouvons recenser toute l'information distincte (DI). Le tableau qui suit a été obtenu en inscrivant un numéro de DI identique pour toutes les DA qui ont les mêmes indicator/controller et le même means type.

Tableau A-5 : Identification des DI

DI	DA	#	Procedure's step	Indicator/Controller	Means Type
DI1	DA1	2,15	Click "On" to activate Batteries E-F.	Button "On"	B
	DA2	3,5,7,	Go to the next procedural step	-	-
DI2	DA3	4,17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Progress bar	F
DI3	DA4	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Button "Test"	B
DI4	DA5	8	Verify the result of the test.	Result indicator	F
DI4	DA6	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Result indicator	F
	DA7	11	Go to step [10].	-	-
DI5	DA8	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Button "Off"	B
	DA9	19	Return to [4].	-	-
DI6	DA10	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Button "Start"	B

5) Assigner le niveau de connaissance requis

But : Établir le niveau de connaissance que l'opérateur doit avoir pour accomplir l'action. Pour ce faire, nous devons attribuer pour chaque DA le niveau d'abstraction qui lui correspond parmi cette liste :

- AF (abstract function)
- PF (process function)
- SF (system function)
- CF (component function)

Nous obtenons ainsi :

Tableau A-6 : Identification du niveau d'abstraction

	DA	#	Procedure's step	Action verb	Object	Means	Acceptance criterion	Constraint	Peculiarity	Level of domain knowledge
Step 1	S1	S1	Perform Step 1	Perform	Step 1	INH	OBJ	NL	-	-
	DA1	2	Click "On" to activate Batteries E-F.	Click	"On"	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	3	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 2	S2	S2	Perform Step 2	Perform	Step 2	INH	OBJ	NL	-	-
	DA3	4	Wait until the progess bar has finished progressing.	Wait	-	DEG	OBJ	RI	-	CF
	DA2	5	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 3	S3	S3	Perform Step 3	Perform	Step 3	INH	OBJ	NL	-	-
	DA4	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Click	"Test"	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	7	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 4	S4	S4	Perform Step 4	Perform	Step 4	INH	OBJ	NL	-	-
	DA5	8	Verify the result of the test.	Verify	the result of the test	INH	NC	NL	-	CF
	DA2	9	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step5	S5	S5	Perform Step 5	Perform	Step 5	INH	OBJ	NL	-	-
	DA6	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Verify	the result of the test	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA7	11	Go to step [10].	Go to	step	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	12	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 6	S6	S6	Perform Step 6	Perform	Step 6	INH	OBJ	NL	-	-
	DA8	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Click	"Off"	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	14	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 7	S7	S7	Perform Step 7	Perform	Step 7	INH	OBJ	NL	-	-
	DA1	15	Click "On" to retransfer the energy.	Click	"On"	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	16	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 8	S8	S8	Perform Step 8	Perform	Step 8	INH	OBJ	NL	-	-
	DA3	17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Wait	-	DEG	OBJ	RI	-	CF
	DA2	18	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 9	S9	S9	Perform Step 9	Perform	Step 9	INH	OBJ	NL	-	-
	DA9	19	Return to [4].	Return	step	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	20	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF
Step 10	S10	S10	Perform Step 10	Perform	Step 10	INH	OBJ	NL	-	-
	DA10	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Click	"Start"	INH	OBJ	NL	-	CF
	DA2	22	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF

6) Assigner le niveau de décision

But : Établir le niveau de clarté lorsque l'opérateur doit prendre une décision. Pour ce faire, nous devons identifier pour chacune des actions le niveau de décision requise parmi la liste qui suit :

- ED-1 si l'action peut être accomplit en ayant recours à une décision simple avec un critère de décision clair et établit.
- ED-2 si l'action force l'opérateur à devoir intégrer des connaissances de bas niveau afin de prendre une décision.
- ED-3 si l'action force l'opérateur à identifier des situations ou des conditions basées sur des processus de haut niveau qui vont lui permettre d'intégrer différents types

d'informations afin de prendre une décision éclairée ou lorsque l'action force l'opérateur à assurer un control continu.

- ED-4 si l'action force l'opérateur à sélectionner une mesure qu'ils jugent la plus adéquate possible sans pour autant être certain de la bonne décision à prendre.

Tableau A-7 : Identification du niveau de décision

	DA	#	Procedure's step	Action verb	Object	Means	Acceptance criterion	Constraint	Peculiarity	Level of domain knowledge	Assigned level
Step 1	S1	S1	Perform Step 1	Perform	Step 1	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA1	2	Click "On" to activate Batteries E-F.	Click	"On"	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	3	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 2	S2	S2	Perform Step 2	Perform	Step 2	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA3	4	Wait until the progess bar has finished progressing.	Wait	-	DEG	OBJ	RI	-	CF	ED-1
	DA2	5	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 3	S3	S3	Perform Step 3	Perform	Step 3	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA4	6	Click "Test" to verify the performance of the Batteries E-F.	Click	"Test"	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	7	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 4	S4	S4	Perform Step 4	Perform	Step 4	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA5	8	Verify the result of the test.	Verify	the result of the test	INH	NC	NL	-	CF	ED-1
	DA2	9	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 5	S5	S5	Perform Step 5	Perform	Step 5	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA6	10	Verify the result of the performance test is ≥ 95%.	Verify	the result of the test	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA7	11	Go to step [10].	Go to	step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	12	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 6	S6	S6	Perform Step 6	Perform	Step 6	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA8	13	Click "Off" to deactivate the Batteries E-F.	Click	"Off"	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	14	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 7	S7	S7	Perform Step 7	Perform	Step 7	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA1	15	Click "On" to retransfer the energy.	Click	"On"	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	16	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 8	S8	S8	Perform Step 8	Perform	Step 8	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA3	17	Wait until the progress bar has finished progressing.	Wait	-	DEG	OBJ	RI	-	CF	ED-1
	DA2	18	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 9	S9	S9	Perform Step 9	Perform	Step 9	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA9	19	Return to [4].	Return	step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	20	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
Step 10	S10	S10	Perform Step 10	Perform	Step 10	INH	OBJ	NL	-	-	-
	DA10	21	Click "Start" to activate the Inverter 2A.	Click	"Start"	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1
	DA2	22	Go to the next procedural step	Go to	the next procedural step	INH	OBJ	NL	-	CF	ED-1

7) Construire les 4 types de graphiques

But : Construire les 4 graphiques qui nous permettront de calculer l'entropie pour chacune des actions.

Graphique #1 – ACG (action control graph)

Ce graphique est le même que celui présenté à la figure A-1, sauf que nous avons remplacé le numéro des actions par le numéro de DA.

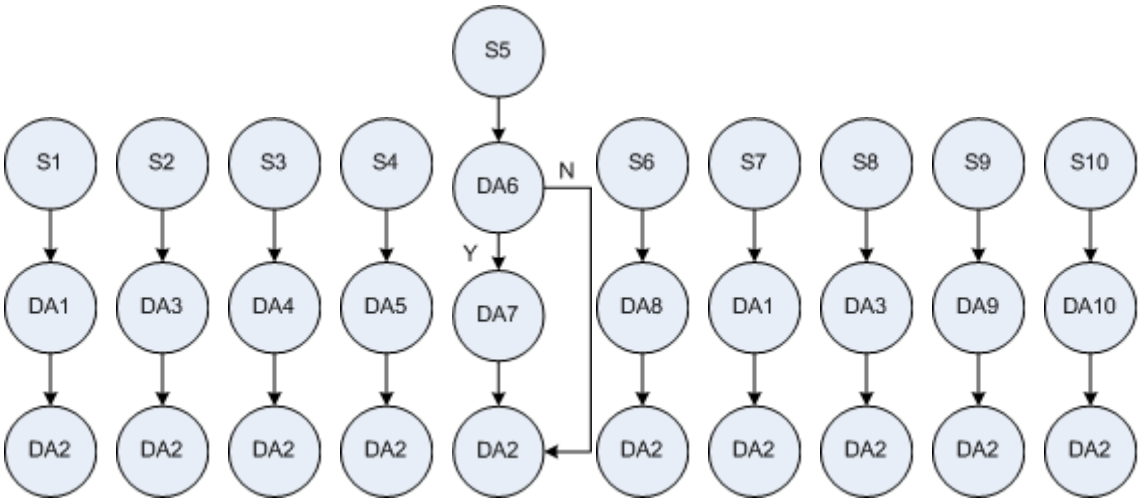


Figure A-2 : Graphiques ACG

Graphique #2 – ISG (information structure graph)

Ces graphiques montrent la structure de toutes les DI.

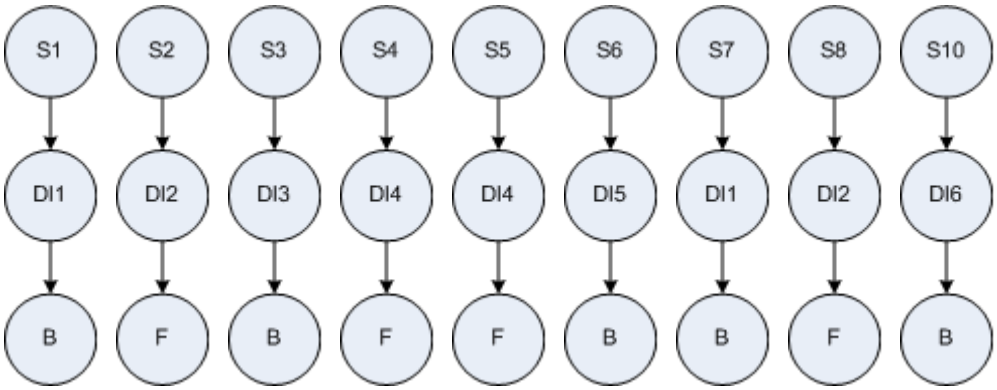


Figure A-3 : Graphiques ISG

Graphique #3 – AHG (abstraction hierarchy graph)

Ces graphiques montrent la structure des connaissances requises que l'opérateur doit posséder pour accomplir la procédure.

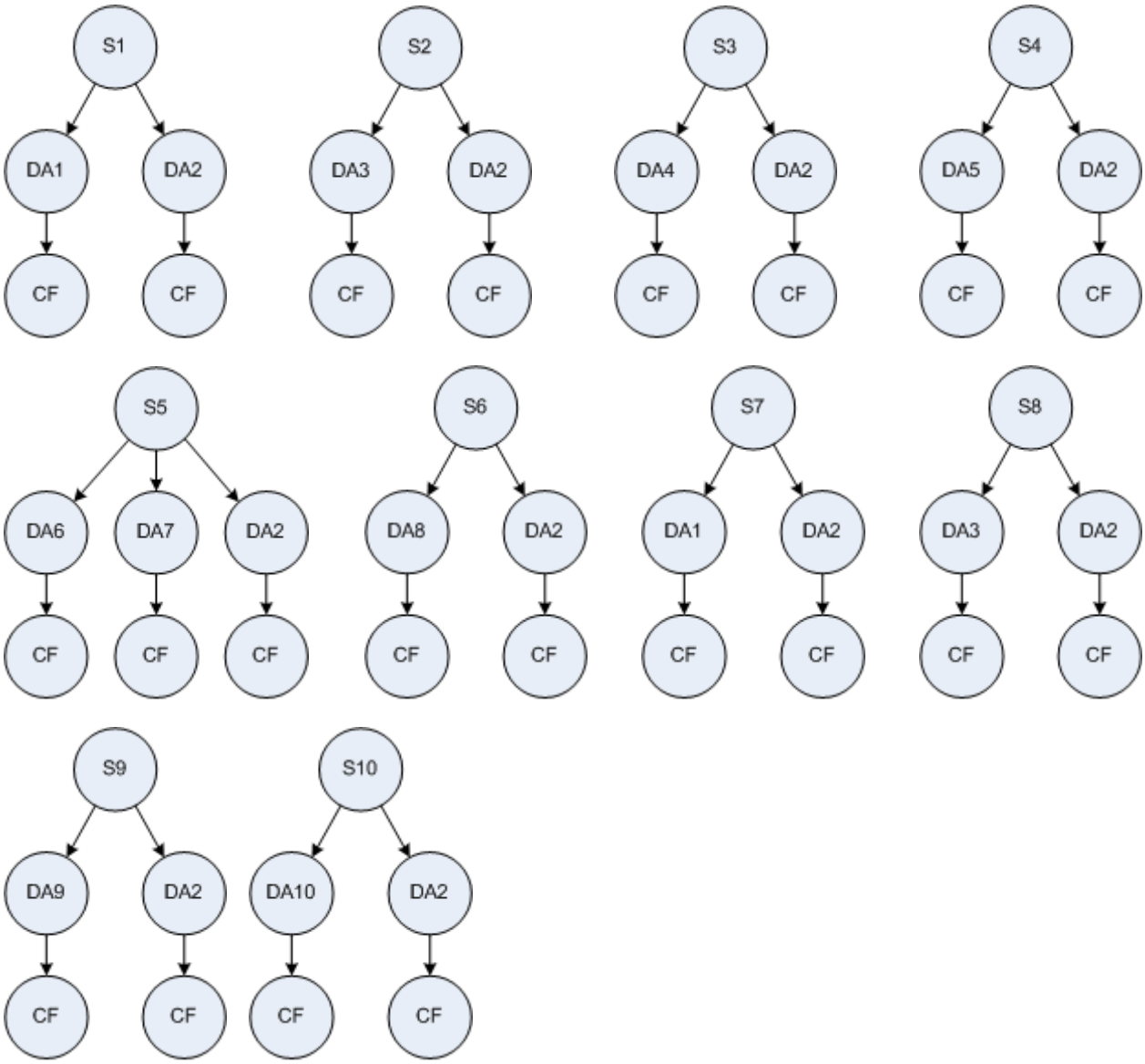


Figure A-4 : Graphiques AHG

Graphique #4 – EDG (engineering decision graph)

Ces graphiques montrent la structure des décisions que l'opérateur va devoir prendre.

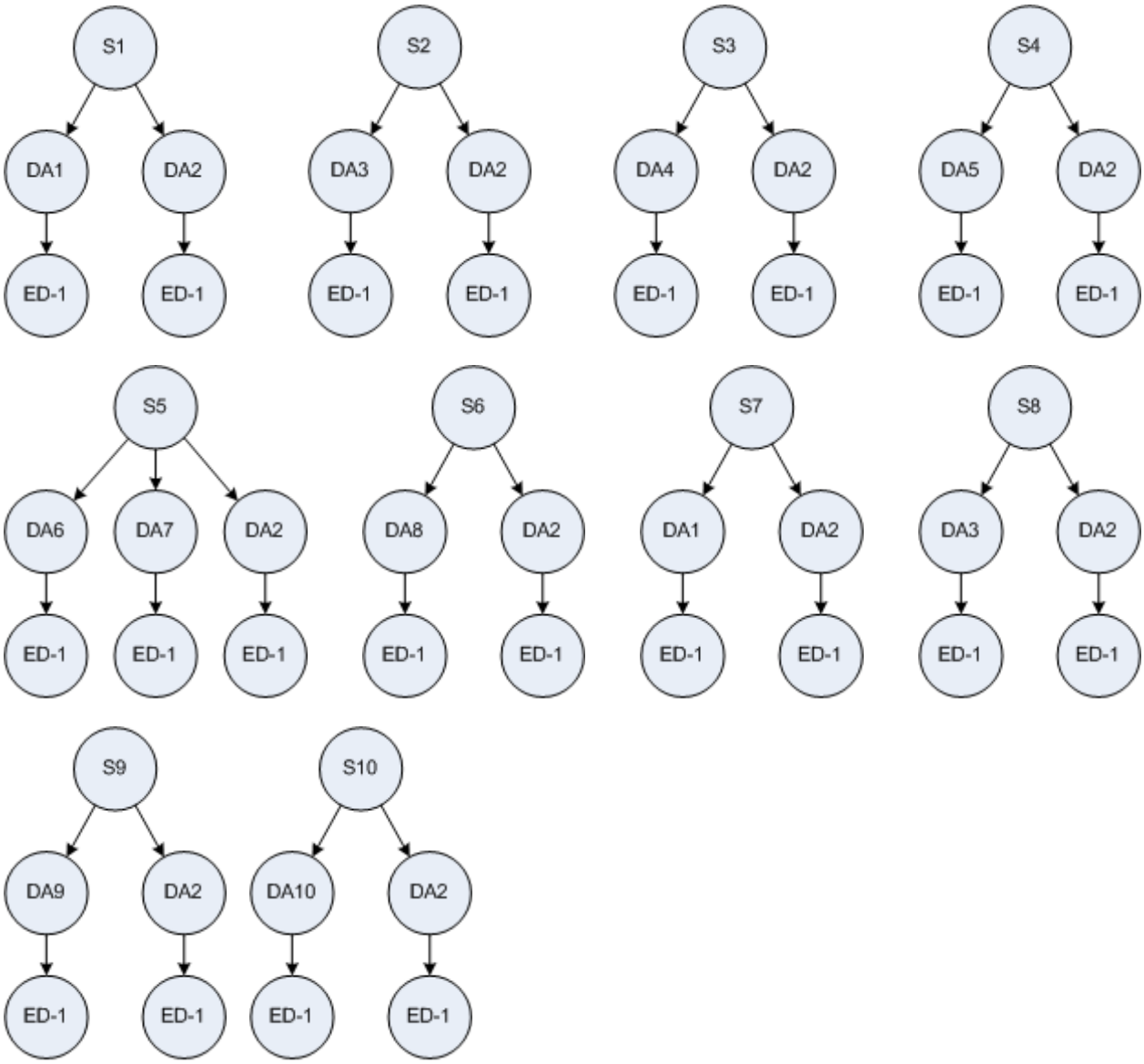


Figure A-5 : Graphiques EDG

8) Quantifier les cinq facteurs d'influence de la complexité

But : Calculer l'entropie de chaque graphique et calculer le score global de la complexité de la procédure.

Avec le graphique #1 de la figure A-2, nous pouvons calculer le premier degré d'entropie du facteur « logical entanglement » caractérisé par la variable SLC (step logic complexity). Nous calculons le premier degré d'entropie d'un graphique en comptant tous les arcs qui entrent et qui sortent de chacun des nœuds. Nous obtenons donc le tableau suivant :

Tableau A-8 : Arcs entrant et sortant de la figure A-2

	Entrant	Sortant
S1	0	1
DA1	1	1
DA2	1	0
S2	0	1
DA3	1	1
DA2	1	0
S3	0	1
DA4	1	1
DA2	1	0
S4	0	1
DA5	1	1
DA2	1	0
S5	0	1
DA6	1	2
DA7	1	1
DA2	2	0
S6	0	1
DA8	1	1
DA2	1	0
S7	0	1
DA1	1	1
DA2	1	0
S8	0	1
DA3	1	1
DA2	1	0
S9	0	1
DA9	1	1
DA2	1	0
S10	0	1
DA10	1	1
DA2	1	0

Nous pouvons résumer le tableau A-8 avec le tableau qui suit :

Tableau A-9 : Sommaire de tous les arcs entrant et sortant de la figure A-2

Classe	Noeud	Entrant	Sortant
I	S1, S2, S3, S4, S5, S6 ,S7, S8, S9, S10	0	1
II	DA1, DA3, DA4, DA5, DA7, DA8, DA1, DA3, DA9, DA10	1	1
III	DA2, DA2, DA2, DA2, DA2, DA2, DA2, DA2, DA2	1	0
IV	DA6	1	2
V	DA2	2	0

L'entropie est calculée avec l'équation suivante :

$$Entropie = -\sum_{i=1}^{h} p_i * \log_2 p_i$$

Où :

- h = nombre de classe (number of class)
- $p_i = A_i/N$
- A_i = nombre de nœuds distincts dans une classe
- N = nombre total de nœud

Alors voici l'équation pour calculer la variable SLC :

$$SLC = -\sum_{i=1}^{5} \left(\frac{10}{31}\right) + \log_2\left(\frac{10}{31}\right) + \left(\frac{10}{31}\right) * \log_2\left(\frac{10}{31}\right) + \left(\frac{9}{31}\right) * \log_2\left(\frac{9}{31}\right) + \left(\frac{1}{31}\right) * \log_2\left(\frac{1}{31}\right) + \left(\frac{1}{31}\right) * \log_2\left(\frac{1}{31}\right) = 1{,}89$$

Avec le même graphique #1 de la figure A-2 nous pouvons calculer le second degré d'entropie qui va nous permettre de quantifier le facteur « number of actions » caractérisé par la variable SSC (step size complexity). Pour ce faire, nous devons identifier les voisins de tous les nœuds.

Tableau A-10 : Voisins de tous les nœuds de la figure A-2

	Voisin
S1	DA1
DA1	S1, DA2
DA2	DA1
S2	DA3
DA3	S2, DA2
DA2	DA3
S3	DA4
DA4	S3, DA2
DA2	DA4
S4	DA5
DA5	S4, DA2
DA2	DA5
S5	DA6
DA6	S5, DA7, DA2
DA7	DA6, DA2
DA2	DA7, DA6
S6	DA8
DA8	S6,DA2
DA2	DA8
S7	DA1
DA1	S7, DA2
DA2	DA1
S8	DA3
DA3	S8, DA2
DA2	DA3
S9	DA9
DA9	S9, DA2
DA2	DA9
S10	DA10
DA10	S10, DA2
DA2	DA10

Nous pouvons résumer le tableau A-10 avec le tableau qui suit :

Tableau A-11 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-2

Classe	Noeud	Voisin
I	S1, DA2, S7, DA2	DA1
II	DA1	S1, DA2
III	S2, DA2, S8, DA2	DA3
IV	DA3	S2, DA2
V	S3, DA2	DA4
VI	DA4	S3, DA2
VII	S4, DA2	DA5
VIII	DA5	S4, DA2
IX	S5	DA6
X	DA6	S5, DA7, DA2
XI	DA7	DA6, DA2
XII	DA2	DA7, DA6
XIII	S6, DA2	DA8
XIV	DA8	S6, DA2
XV	DA1	S7, DA2
XVI	DA3	S8, DA2
XVII	S9, DA2	DA9
XVIII	DA9	S9,DA2
XIX	S10, DA2	DA10
XX	DA10	S10, DA2

L'équation pour obtenir la valeur de SSC est :

$$SSC = -\sum_{i=1}^{20}\left(\frac{1}{31}\right) * \log_2\left(\frac{1}{31}\right) * 13 + \left(\frac{2}{31}\right) * \log_2\left(\frac{2}{31}\right) * 5 + \left(\frac{4}{31}\right) * \log_2\left(\frac{4}{31}\right) * 2 = 4{,}12$$

Avec le graphique #2 de la figure A-3, nous pouvons calculer le second degré d'entropie du facteur « amount of information » caractérisé par la variable SIC (step information complexity). Pour ce faire, nous devons identifier les voisins de tous les nœuds.

Tableau A-12 : Voisins de tous les nœuds de la figure A-3

	Voisin
S1	DI1
DI1	S1, B
B	DI1
S2	DI2
DI2	S2, F
F	DI2
S3	DI3
DI3	S3, B
B	DI3
S4	DI4
DI4	S4, F
F	DI4
S5	DI4
DI4	S5, F
F	DI4
S6	DI5
DI5	S6, B
B	DI5
S7	DI1
DI1	S7, B
B	DI1
S8	DI2
DI2	S8, F
F	DI2
S10	DI6
DI6	S10, B
B	DI6

Nous pouvons résumer le tableau A-12 avec le tableau qui suit :

Tableau A-13 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-3

Classe	Noeud	Voisin
I	S1, B, S7, B	DI1
II	DI1	S1, B
III	S2, F, S8, F	DI2
IV	DI2	S2, F
V	S3, B	DI3
VI	DI3	S3, B
VII	S4, F, S5, F	DI4
VIII	DI4	S4, F
IX	DI4	S5, F
X	S6, B	DI5
XI	DI5	S6, B
XII	DI1	S7, B
XIII	DI2	S8, F
XIV	S10, B	DI6
XV	DI6	S10, B

L'équation pour obtenir la valeur de SIC est :

$$SIC = -\sum_{i=1}^{15}\left(\frac{1}{27}\right) * \log_2\left(\frac{1}{27}\right) * 9 + \left(\frac{2}{27}\right) * \log_2\left(\frac{2}{27}\right) * 3 + \left(\frac{4}{27}\right) * \log_2\left(\frac{4}{27}\right) * 3 = 3{,}64$$

Avec le graphique #3 de la figure A-4, nous pouvons calculer le second degré d'entropie du facteur « amount of domain knowledge » caractérisé par la variable AHC (abstraction hierarchy complexity). Pour ce faire, nous devons identifier les voisins de tous les nœuds.

Tableau A-14 : Voisins des tous les nœuds de la figure A-4

	Voisin
S1	DA1, DA2
DA1	S1, CF
DA2	S1, CF
CF	DA1
CF	DA2
S2	DA3, DA2
DA3	S2, CF

DA2	S2, CF
CF	DA3
CF	DA2
S3	DA4, DA2
DA4	S3, CF
DA2	S3, CF
CF	DA4
CF	DA2
S4	DA5, DA2
DA5	S4, CF
DA2	S4, CF
CF	DA5
CF	DA2
S5	DA6, DA7, DA2
DA6	S5, CF
DA7	S5, CF
DA2	S5, CF
CF	DA6
CF	DA7
CF	DA2
S6	DA8, DA2
DA8	S6, CF
DA2	S6, CF
CF	DA8
CF	DA2
S7	DA1, DA2
DA1	S7, CF
DA2	S7, CF
CF	DA1
CF	DA2
S8	DA3, DA2
DA5	S8, CF
DA2	S8, CF
CF	DA3
CF	DA2
S9	DA9, DA2
DA9	S9, CF
DA2	S9, CF
CF	DA9
CF	DA2
S10	DA10, DA2
DA10	S10, CF
DA2	S10, CF
CF	DA10
CF	DA2

Nous pouvons résumer le tableau A-14 avec le tableau qui suit :

Tableau A-15 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-4

Classe	Noeud	Voisin
I	S1, S7	DA1, DA2
II	DA1, DA2	S1, CF
III	CF, CF	DA1
IV	CF, CF, CF, CF, CF, CF, CF, CF, CF, CF	DA2
V	S2, S8	DA3, DA2
VI	DA3, DA2	S2, CF
VII	CF, CF	DA3
VIII	S3	DA4, DA2
IX	DA4, DA2	S3, CF
X	CF	DA4
XI	S4	DA5, DA2
XII	DA5, DA2	S4, CF
XIII	CF	DA5
XIV	S5	DA6, DA7, DA2
XV	DA6, DA7, DA2	S5, CF
XVI	CF	DA6
XVII	CF	DA7
XVIII	S6	DA8, DA2
XIX	DA8, DA2	S6, CF
XX	CF	DA8
XXI	DA1, DA2	S7, CF
XXII	DA5, DA2	S8, CF
XXIII	S9	DA9, DA2
XXIV	DA9, DA2	S9, CF
XXV	CF	DA9
XXVI	S10	DA10, DA2
XXVII	DA10, DA2	S10, CF
XXVIII	CF	DA10

L'équation pour obtenir la valeur de AHC est :

$$AHC = -\sum_{i=1}^{28}\left(\frac{1}{52}\right) * \log_2\left(\frac{1}{52}\right) * 13 + \left(\frac{2}{52}\right) * \log_2\left(\frac{2}{52}\right) * 13 + \left(\frac{3}{52}\right) * \log_2\left(\frac{3}{52}\right) * 1 + \left(\frac{10}{52}\right) * \log_2\left(\frac{10}{52}\right) * 1 = 4{,}47$$

Avec le graphique #4 de la figure A-5, nous pouvons calculer le second degré d'entropie du facteur « level of engineering decision » caractérisé par la variable EDC (engineering decision complexity). Pour ce faire, nous devons identifier les voisins de tous les nœuds.

Tableau A-16 : Voisins des tous les nœuds de la figure A-5

	Voisin
S1	DA1, DA2
DA1	S1, ED-1
DA2	S1, ED-1
ED-1	DA1
ED-1	DA2
S2	DA3, DA2
DA3	S2, ED-1
DA2	S2, ED-1
ED-1	DA3
ED-1	DA2
S3	DA4, DA2
DA4	S3, ED-1
DA2	S3, ED-1
ED-1	DA4
ED-1	DA2
S4	DA5, DA2
DA5	S4, ED-1
DA2	S4, ED-1
ED-1	DA5

ED-1	DA2
S5	DA6, DA7, DA2
DA6	S5, ED-1
DA7	S5, ED-1
DA2	S5, ED-1
ED-1	DA6
ED-1	DA7
ED-1	DA2
S6	DA8, DA2
DA8	S6, ED-1
DA2	S6, ED-1
ED-1	DA8
ED-1	DA2
S7	DA1, DA2
DA1	S7, ED-1
DA2	S7, ED-1
ED-1	DA1
ED-1	DA2
S8	DA3, DA2
DA5	S8, ED-1
DA2	S8, ED-1
ED-1	DA3
ED-1	DA2
S9	DA9, DA2
DA9	S9, ED-1
DA2	S9, ED-1
ED-1	DA9
ED-1	DA2
S10	DA10, DA2
DA10	S10, ED-1
DA2	S10, ED-1
ED-1	DA10
ED-1	DA2

Nous pouvons résumer le tableau A-16 avec le tableau qui suit :

Tableau A-17 : Sommaire des voisins des nœuds de la figure A-5

Classe	Noeud	Voisin
I	S1, S7	DA1, DA2
II	DA1, DA2	S1, ED-1
III	ED-1, ED-1	DA1
IV	ED-1, ED-1, ED-1, ED-1, ED-1, ED-1, ED-1, ED-1, ED-1, ED-1	DA2
V	S2, S8	DA3, DA2
VI	DA3, DA2	S2, ED-1
VII	ED-1, ED-1	DA3
VIII	S3	DA4, DA2
IX	DA4, DA2	S3, ED-1
X	ED-1	DA4
XI	S4	DA5, DA2
XII	DA5, DA2	S4, ED-1
XIII	ED-1	DA5
XIV	S5	DA6, DA7, DA2
XV	DA6, DA7, DA2	S5, ED-1
XVI	ED-1	DA6
XVII	ED-1	DA7
XVIII	S6	DA8, DA2
XIX	DA8, DA2	S6, ED-1
XX	ED-1	DA8
XXI	DA1, DA2	S7, ED-1
XXII	DA5, DA2	S8, ED-1
XXIII	S9	DA9, DA2
XXIV	DA9, DA2	S9, ED-1
XXV	ED-1	DA9
XXVI	S10	DA10, DA2
XXVII	DA10, DA2	S10, ED-1
XXVIII	ED-1	DA10

L'équation pour obtenir la valeur de EDC est :

$$EDC = -\sum_{i=1}^{28}\left(\frac{1}{52}\right) * \log_2\left(\frac{1}{52}\right) * 13 + \left(\frac{2}{52}\right) * \log_2\left(\frac{2}{52}\right) * 13 + \left(\frac{3}{52}\right) * \log_2\left(\frac{3}{52}\right) * 1 + \left(\frac{10}{52}\right) * \log_2\left(\frac{10}{52}\right) * 1 = 4{,}47$$

Maintenant que nous avons quantifié le score de complexité de chacun des cinq facteurs d'influence considérés par Park, nous pouvons calculer le score global de complexité à l'aide de l'équation suivante :

$$TACOM = \sqrt{0{,}621 * TS^2 + 0{,}239 * TR^2 + 0{,}14 * TU^2}$$

Où:

$TS = 0{,}716 * SIC + 0{,}284 * SSC$

$TR = 0{,}891 * SLC + 0{,}109 * AHC$

$TU = EDC$

Nous obtenons les valeurs suivantes :

$TS = 0{,}716 * 3{,}64 + 0{,}284 * 4{,}12 = 3{,}78$

$TR = 0{,}891 * 1{,}89 + 0{,}109 * 4{,}47 = 2{,}17$

$TU = 4{,}47$

$$TACOM = \sqrt{0{,}621 * (3{,}78)^2 + 0{,}239 * (2{,}17)^2 + 0{,}14 * (4{,}47)^2} = 3{,}58$$

Si nous transformons ce score en pourcentage, nous obtenons :

$$TACOM\ (\%) = \frac{TACOM - 1}{4} * 100 = \frac{3{,}58 - 1}{4} * 100 = 64{,}4\%$$

ANNEXE B. ANALYSE DE SENSIBILITÉ

Les scores de TACOM utilisés pour cette analyse de sensibilité sont les suivants :

Tableau B-1 : Scores de TACOM sans la variable EDC

	TACOM	TACOM (%)
Procédure #1	3,42	60,43%
Procédure #2	3,44	61,00%
Procédure #3	2,57	39,16%
Procédure #4	2,78	44,48%
Procédure #5	3,10	52,46%
Procédure #6	3,50	62,54%
Procédure #7	3,15	53,68%
Procédure #8	3,36	59,11%
Procédure #9	3,56	63,99%
Procédure #10	4,39	84,84%

Comparaison #1 – Sans imbrication

Voici les valeurs de Flesch et de la variable *cyclo*.

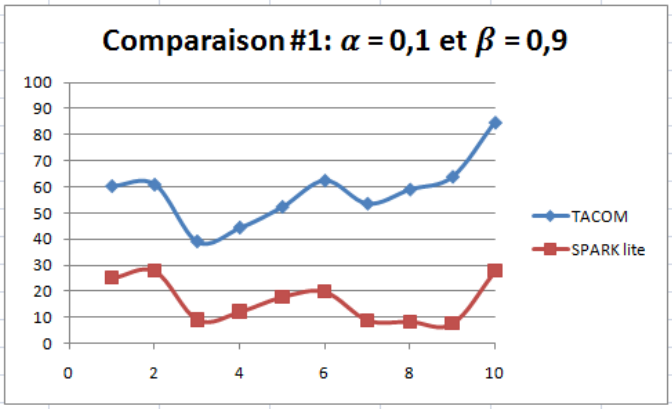
N.B. La variable *cyclo* a été obtenue en additionnant +1 à chaque fois qu'une des conditions suivantes étaient rencontrée dans la procédure : if, when, else, case, while, repeat, and.

Tableau B-2 : Variables de SPARK lite comparaison #1

	Flesch	*cyclo*
Procédure 1	47,80	8
Procédure 2	36,46	8
Procédure 3	78,81	2
Procédure 4	77,73	4
Procédure 5	49,91	4
Procédure 6	53,84	6
Procédure 7	68,52	1
Procédure 8	67,18	1
Procédure 9	72,13	1
Procédure 10	41,32	11

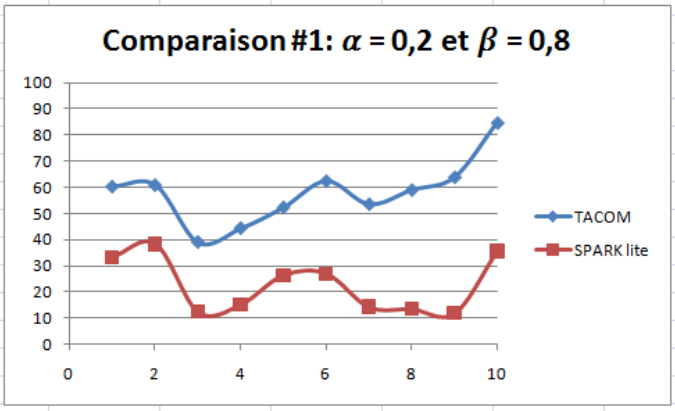
SPARK lite = 0,1*(100-Flesch) + 0,9*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	25,1327326	35,2955933
Procédure 2	61,0026029	27,7957018	33,2069012
Procédure 3	39,1620946	9,09245283	30,0696417
Procédure 4	44,4848938	12,2303814	32,2545124
Procédure 5	52,461532	17,9415094	34,5200226
Procédure 6	62,5442015	19,8478442	42,6963574
Procédure 7	53,6845097	8,99693126	44,6875785
Procédure 8	59,1095272	8,47077597	50,6387513
Procédure 9	63,9944429	7,64454577	56,3498971
Procédure 10	84,8370489	27,7795152	57,0575338
		Moyenne:	41,6776789



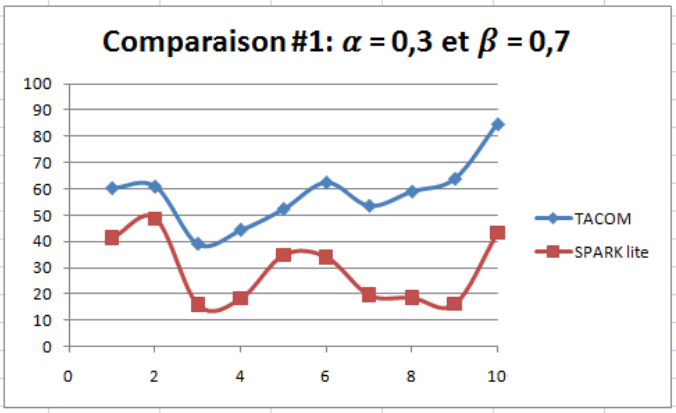
SPARK lite = 0,2*(100-Flesch) + 0,8*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	33,2843331	27,1439928
Procédure 2	61,0026029	38,2837113	22,7188917
Procédure 3	39,1620946	12,5245283	26,6375663
Procédure 4	44,4848938	15,3698537	29,1150401
Procédure 5	52,461532	26,4490566	26,0124754
Procédure 6	62,5442015	26,9684156	35,5757859
Procédure 7	53,6845097	14,3574989	39,3270109
Procédure 8	59,1095272	13,6082186	45,5013086
Procédure 9	63,9944429	11,9557582	52,0386847
Procédure 10	84,8370489	35,5590303	49,2780186
		Moyenne:	35,3348775



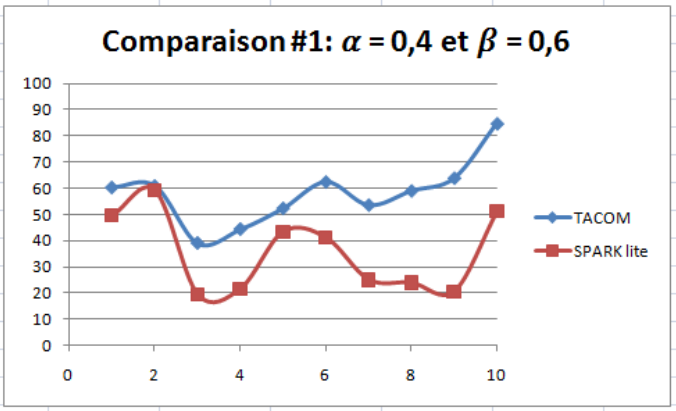
SPARK lite = 0,3*(100-Flesch) + 0,7*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	41,4359335	18,9923923
Procédure 2	61,0026029	48,7717207	12,2308822
Procédure 3	39,1620946	15,9566038	23,2054908
Procédure 4	44,4848938	18,5093259	25,9755678
Procédure 5	52,461532	34,9566038	17,5049282
Procédure 6	62,5442015	34,088987	28,4552145
Procédure 7	53,6845097	19,7180665	33,9664432
Procédure 8	59,1095272	18,7456613	40,363866
Procédure 9	63,9944429	16,2669707	47,7274722
Procédure 10	84,8370489	43,3385455	41,4985035
		Moyenne:	28,9920761



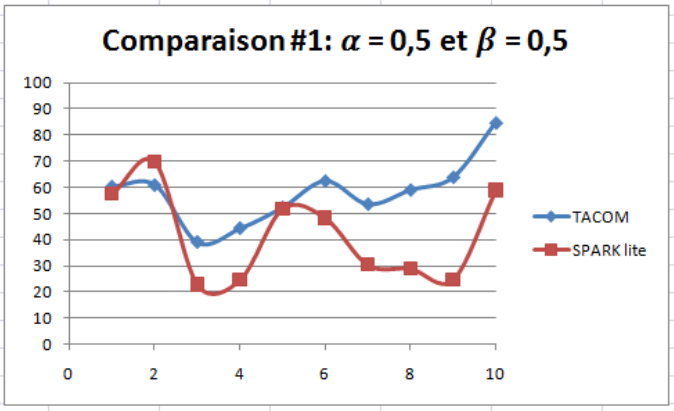
SPARK lite = 0,4*(100-Flesch) + 0,6*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	49,587534	10,8407918
Procédure 2	61,0026029	59,2597302	1,74287274
Procédure 3	39,1620946	19,3886792	19,7734153
Procédure 4	44,4848938	21,6487982	22,8360955
Procédure 5	52,461532	43,4641509	8,99738108
Procédure 6	62,5442015	41,2095584	21,3346431
Procédure 7	53,6845097	25,0786341	28,6058756
Procédure 8	59,1095272	23,8831039	35,2264233
Procédure 9	63,9944429	20,5781831	43,4162598
Procédure 10	84,8370489	51,1180606	33,7189883
		Moyenne:	22,6492747



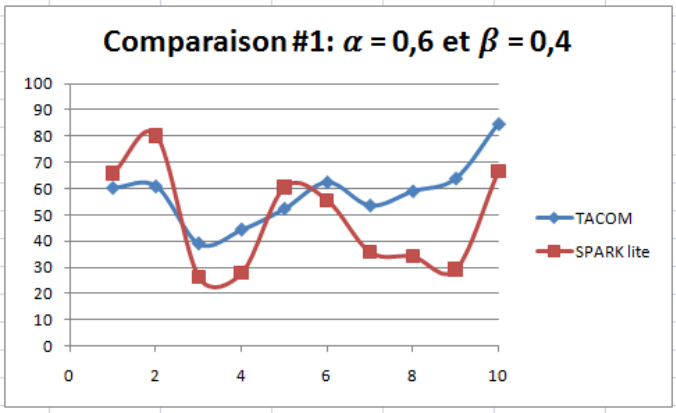
SPARK lite = 0,5*(100-Flesch) + 0,5*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	57,7391345	2,68919131
Procédure 2	61,0026029	69,7477397	8,74513673
Procédure 3	39,1620946	22,8207547	16,3413399
Procédure 4	44,4848938	24,7882705	19,6966233
Procédure 5	52,461532	51,9716981	0,48983391
Procédure 6	62,5442015	48,3301299	14,2140717
Procédure 7	53,6845097	30,4392018	23,245308
Procédure 8	59,1095272	29,0205465	30,0889807
Procédure 9	63,9944429	24,8893955	39,1050473
Procédure 10	84,8370489	58,8975758	25,9394732
		Moyenne:	18,0555006



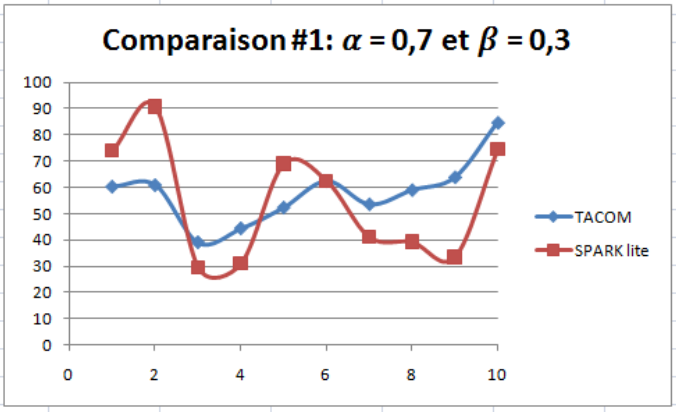
SPARK lite = 0,6*(100-Flesch) + 0,4*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	65,890735	5,46240918
Procédure 2	61,0026029	80,2357491	19,2331462
Procédure 3	39,1620946	26,2528302	12,9092644
Procédure 4	44,4848938	27,9277428	16,557151
Procédure 5	52,461532	60,4792453	8,01771326
Procédure 6	62,5442015	55,4507013	7,09350024
Procédure 7	53,6845097	35,7997694	17,8847403
Procédure 8	59,1095272	34,1579892	24,951538
Procédure 9	63,9944429	29,200608	34,7938349
Procédure 10	84,8370489	66,6770909	18,159958
		Moyenne:	16,5063256



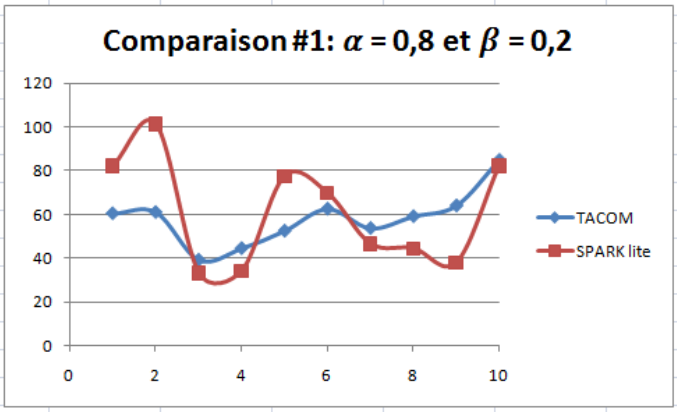
SPARK lite = 0,7*(100-Flesch) + 0,3*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	74,0423355	13,6140097
Procédure 2	61,0026029	90,7237586	29,7211557
Procédure 3	39,1620946	29,6849057	9,47718891
Procédure 4	44,4848938	31,0672151	13,4176787
Procédure 5	52,461532	68,9867925	16,5252604
Procédure 6	62,5442015	62,5712727	0,02707119
Procédure 7	53,6845097	41,160337	12,5241727
Procédure 8	59,1095272	39,2954318	19,8140954
Procédure 9	63,9944429	33,5118204	30,4826225
Procédure 10	84,8370489	74,4566061	10,3804429
		Moyenne:	15,5983698



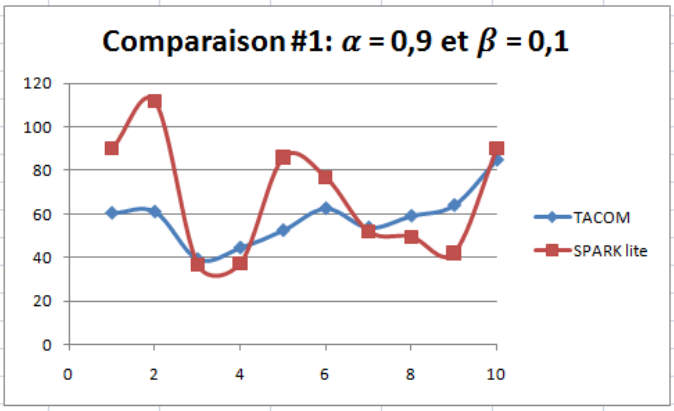
SPARK lite = 0,8*(100-Flesch) + 0,2*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	82,193936	21,7656102
Procédure 2	61,0026029	101,211768	40,2091651
Procédure 3	39,1620946	33,1169811	6,04511344
Procédure 4	44,4848938	34,2066874	10,2782064
Procédure 5	52,461532	77,4943396	25,0328076
Procédure 6	62,5442015	69,6918442	7,14764262
Procédure 7	53,6845097	46,5209047	7,16360509
Procédure 8	59,1095272	44,4328745	14,6766528
Procédure 9	63,9944429	37,8230329	26,17141
Procédure 10	84,8370489	82,2361212	2,60092772
		Moyenne:	16,1091141



SPARK lite = 0,9*(100-Flesch) + 0,1*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	90,3455365	29,9172106
Procédure 2	61,0026029	111,699778	50,6971746
Procédure 3	39,1620946	36,5490566	2,61303797
Procédure 4	44,4848938	37,3461596	7,13873412
Procédure 5	52,461532	86,0018868	33,5403548
Procédure 6	62,5442015	76,8124156	14,2682141
Procédure 7	53,6845097	51,8814723	1,80303746
Procédure 8	59,1095272	49,5703171	9,53921013
Procédure 9	63,9944429	42,1342453	21,8601976
Procédure 10	84,8370489	90,0156364	5,17858743
		Moyenne:	17,6555759



Pour la comparaison #1, nous obtenons le meilleur ajustement lorsque α = 0,7 et β = 0,3, car c'est avec ces valeurs que la différence est la plus petite.

Comparaison #2 – Avec imbrication +2

Voici les valeurs de Flesch et de la variable *cyclo*.

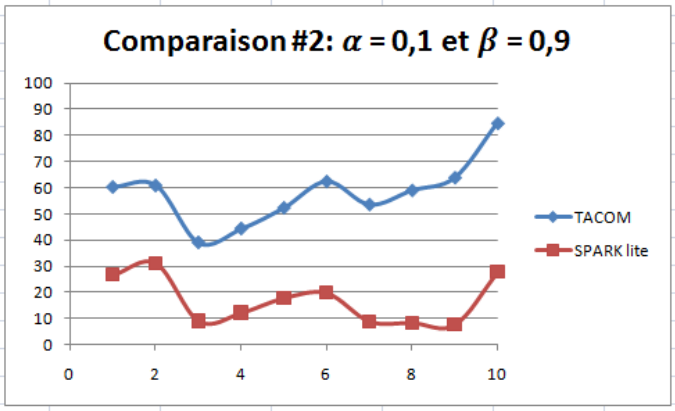
N.B. La variable *cyclo* a été obtenue en additionnant +1 à chaque fois qu'une des conditions suivantes étaient rencontrée dans la procédure : if, when, else, case, while, repeat, and. De plus, nous l'avons incrémenté de +2 chaque fois qu'un « if » était imbriqué dans un autre « if ».

Tableau B-3 : Variables de SPARK lite comparaison #2

	Flesch	***cyclo***
Procédure 1	47,80	9
Procédure 2	36,46	10
Procédure 3	78,81	2
Procédure 4	77,73	4
Procédure 5	49,91	4
Procédure 6	53,84	6
Procédure 7	68,52	1
Procédure 8	67,18	1
Procédure 9	72,13	1
Procédure 10	41,32	11

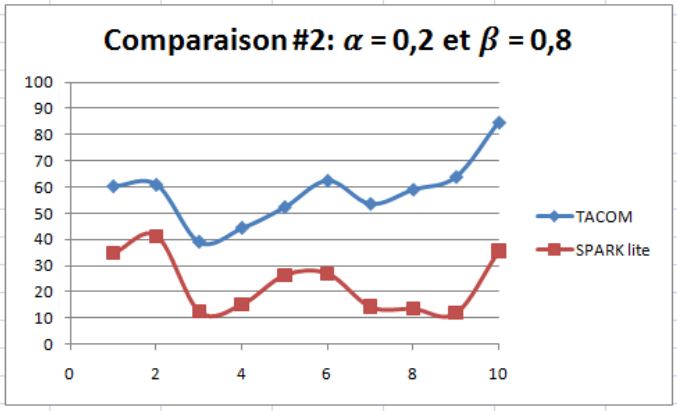
SPARK lite = 0,1*(100-Flesch) + 0,9*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	26,8308458	33,5974801
Procédure 2	61,0026029	31,2572402	29,7453627
Procédure 3	39,1620946	9,09245283	30,0696417
Procédure 4	44,4848938	12,2303814	32,2545124
Procédure 5	52,461532	17,9415094	34,5200226
Procédure 6	62,5442015	19,8478442	42,6963574
Procédure 7	53,6845097	8,99693126	44,6875785
Procédure 8	59,1095272	8,47077597	50,6387513
Procédure 9	63,9944429	7,64454577	56,3498971
Procédure 10	84,8370489	27,7795152	57,0575338
		Moyenne:	41,1617137



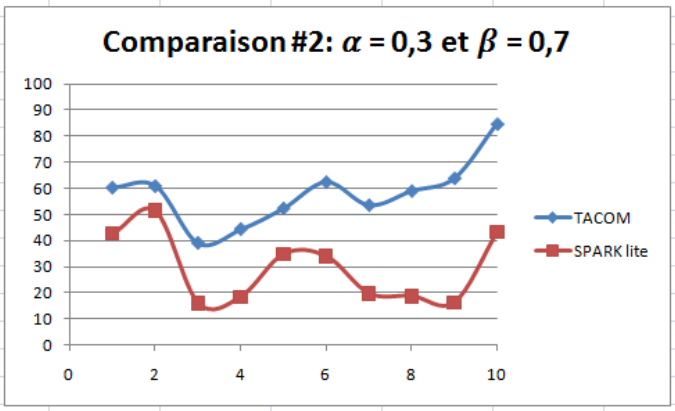
SPARK lite = 0,2*(100-Flesch) + 0,8*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	34,793767	25,6345588
Procédure 2	61,0026029	41,3606343	19,6419686
Procédure 3	39,1620946	12,5245283	26,6375663
Procédure 4	44,4848938	15,3698537	29,1150401
Procédure 5	52,461532	26,4490566	26,0124754
Procédure 6	62,5442015	26,9684156	35,5757859
Procédure 7	53,6845097	14,3574989	39,3270109
Procédure 8	59,1095272	13,6082186	45,5013086
Procédure 9	63,9944429	11,9557582	52,0386847
Procédure 10	84,8370489	35,5590303	49,2780186
		Moyenne:	34,8762418



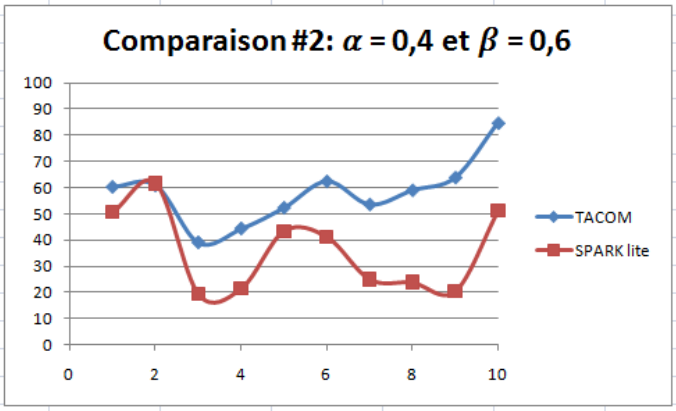
SPARK lite = 0,3*(100-Flesch) + 0,7*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	42,7566883	17,6716376
Procédure 2	61,0026029	51,4640284	9,53857452
Procédure 3	39,1620946	15,9566038	23,2054908
Procédure 4	44,4848938	18,5093259	25,9755678
Procédure 5	52,461532	34,9566038	17,5049282
Procédure 6	62,5442015	34,088987	28,4552145
Procédure 7	53,6845097	19,7180665	33,9664432
Procédure 8	59,1095272	18,7456613	40,363866
Procédure 9	63,9944429	16,2669707	47,7274722
Procédure 10	84,8370489	43,3385455	41,4985035
		Moyenne:	28,5907698



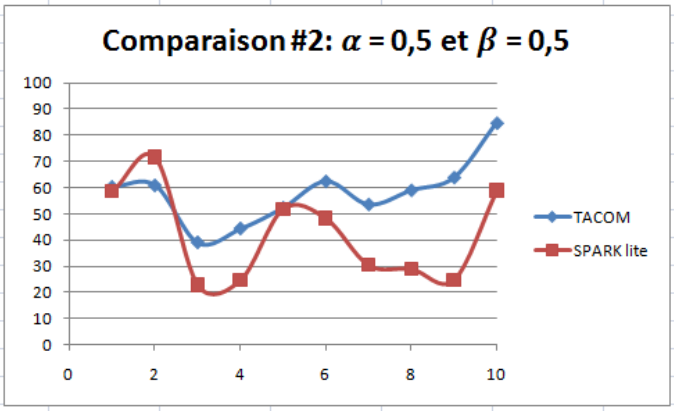
SPARK lite = 0,4*(100-Flesch) + 0,6*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	50,7196095	9,70871632
Procédure 2	61,0026029	61,5674225	0,56481957
Procédure 3	39,1620946	19,3886792	19,7734153
Procédure 4	44,4848938	21,6487982	22,8360955
Procédure 5	52,461532	43,4641509	8,99738108
Procédure 6	62,5442015	41,2095584	21,3346431
Procédure 7	53,6845097	25,0786341	28,6058756
Procédure 8	59,1095272	23,8831039	35,2264233
Procédure 9	63,9944429	20,5781831	43,4162598
Procédure 10	84,8370489	51,1180606	33,7189883
		Moyenne:	22,4182618



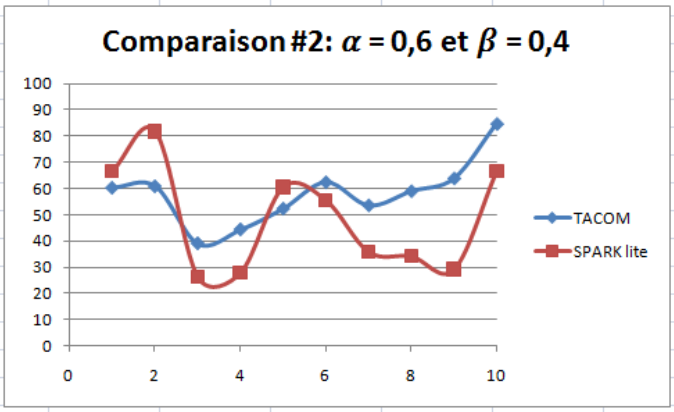
SPARK lite = 0,5*(100-Flesch) + 0,5*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	58,6825307	1,74579508
Procédure 2	61,0026029	71,6708166	10,6682137
Procédure 3	39,1620946	22,8207547	16,3413399
Procédure 4	44,4848938	24,7882705	19,6966233
Procédure 5	52,461532	51,9716981	0,48983391
Procédure 6	62,5442015	48,3301299	14,2140717
Procédure 7	53,6845097	30,4392018	23,245308
Procédure 8	59,1095272	29,0205465	30,0889807
Procédure 9	63,9944429	24,8893955	39,1050473
Procédure 10	84,8370489	58,8975758	25,9394732
		Moyenne:	18,1534687



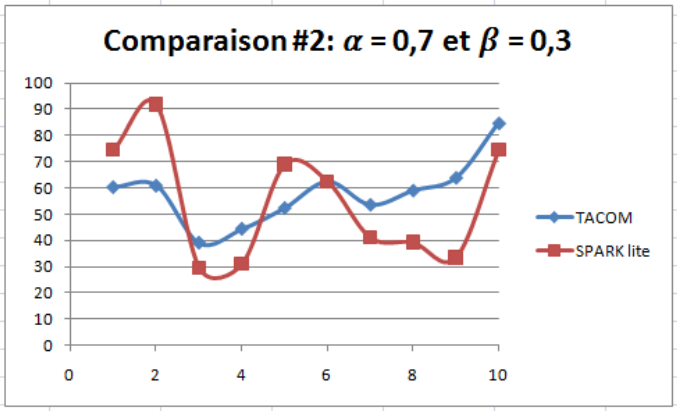
SPARK lite = 0,6*(100-Flesch) + 0,4*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	66,645452	6,21712616
Procédure 2	61,0026029	81,7742107	20,7716077
Procédure 3	39,1620946	26,2528302	12,9092644
Procédure 4	44,4848938	27,9277428	16,557151
Procédure 5	52,461532	60,4792453	8,01771326
Procédure 6	62,5442015	55,4507013	7,09350024
Procédure 7	53,6845097	35,7997694	17,8847403
Procédure 8	59,1095272	34,1579892	24,951538
Procédure 9	63,9944429	29,200608	34,7938349
Procédure 10	84,8370489	66,6770909	18,159958
		Moyenne:	16,7356434



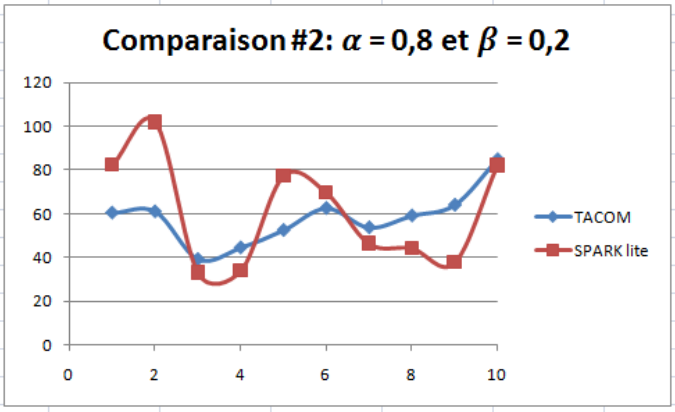
SPARK lite = 0,7*(100-Flesch) + 0,3*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	74,6083732	14,1800474
Procédure 2	61,0026029	91,8776048	30,8750018
Procédure 3	39,1620946	29,6849057	9,47718891
Procédure 4	44,4848938	31,0672151	13,4176787
Procédure 5	52,461532	68,9867925	16,5252604
Procédure 6	62,5442015	62,5712727	0,02707119
Procédure 7	53,6845097	41,160337	12,5241727
Procédure 8	59,1095272	39,2954318	19,8140954
Procédure 9	63,9944429	33,5118204	30,4826225
Procédure 10	84,8370489	74,4566061	10,3804429
		Moyenne:	15,7703582



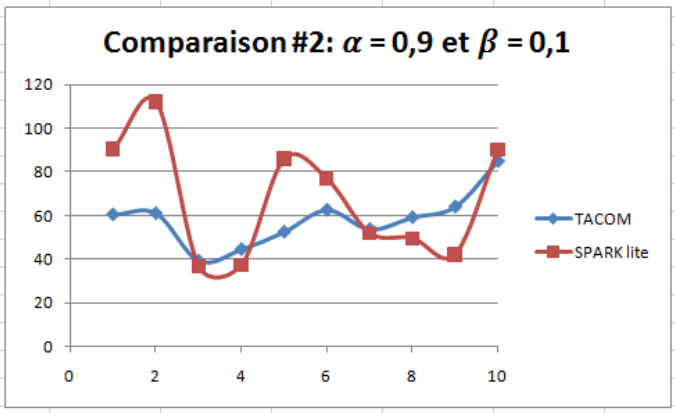
SPARK lite = 0,8*(100-Flesch) + 0,2*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	82,5712945	22,1429686
Procédure 2	61,0026029	101,980999	40,9783959
Procédure 3	39,1620946	33,1169811	6,04511344
Procédure 4	44,4848938	34,2066874	10,2782064
Procédure 5	52,461532	77,4943396	25,0328076
Procédure 6	62,5442015	69,6918442	7,14764262
Procédure 7	53,6845097	46,5209047	7,16360509
Procédure 8	59,1095272	44,4328745	14,6766528
Procédure 9	63,9944429	37,8230329	26,17141
Procédure 10	84,8370489	82,2361212	2,60092772
		Moyenne:	16,223773



SPARK lite = 0,9*(100-Flesch) + 0,1*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	90,5342157	30,1058899
Procédure 2	61,0026029	112,084393	51,08179
Procédure 3	39,1620946	36,5490566	2,61303797
Procédure 4	44,4848938	37,3461596	7,13873412
Procédure 5	52,461532	86,0018868	33,5403548
Procédure 6	62,5442015	76,8124156	14,2682141
Procédure 7	53,6845097	51,8814723	1,80303746
Procédure 8	59,1095272	49,5703171	9,53921013
Procédure 9	63,9944429	42,1342453	21,8601976
Procédure 10	84,8370489	90,0156364	5,17858743
		Moyenne:	17,7129053



Pour la comparaison #2, nous obtenons le meilleur ajustement lorsque α = 0,7 et β = 0,3, car c'est avec ces valeurs que la différence est la plus petite.

Comparaison #3 – Avec imbrication +3

Voici les valeurs de Flesch et de la variable *cyclo*.

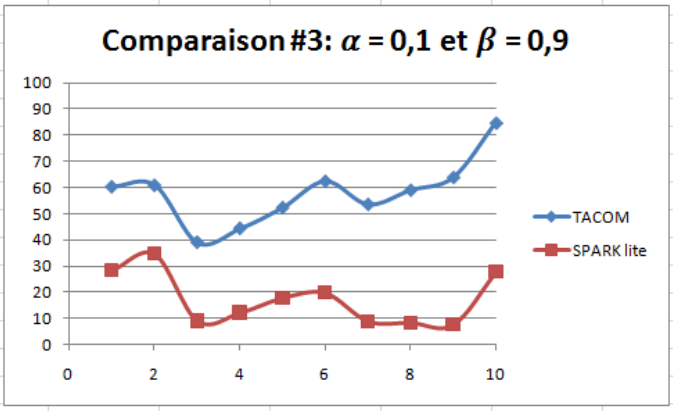
N.B. La variable *cyclo* a été obtenue en additionnant +1 à chaque fois qu'une des conditions suivantes étaient rencontrée dans la procédure : if, when, else, case, while, repeat, and. De plus, nous l'avons incrémenté de +3 chaque fois qu'un « if » était imbriqué dans un autre « if ».

Tableau B-4 : Variables de SPARK lite comparaison #3

	Flesch	***cyclo***
Procédure 1	47,80	10
Procédure 2	36,46	12
Procédure 3	78,81	2
Procédure 4	77,73	4
Procédure 5	49,91	4
Procédure 6	53,84	6
Procédure 7	68,52	1
Procédure 8	67,18	1
Procédure 9	72,13	1
Procédure 10	41,32	11

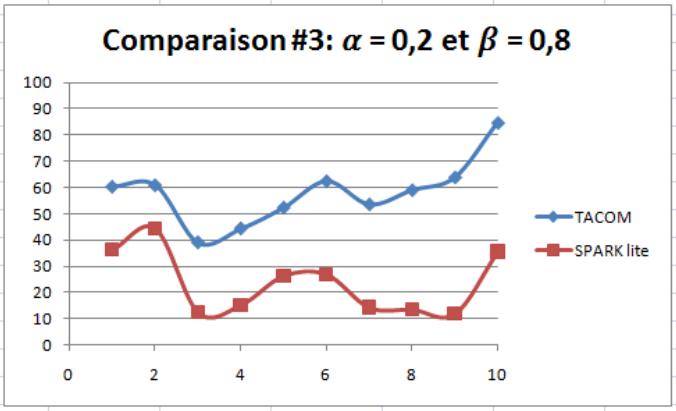
SPARK lite = 0,1*(100-Flesch) + 0,9*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	28,528959	31,8993668
Procédure 2	61,0026029	34,7187787	26,2838242
Procédure 3	39,1620946	9,09245283	30,0696417
Procédure 4	44,4848938	12,2303814	32,2545124
Procédure 5	52,461532	17,9415094	34,5200226
Procédure 6	62,5442015	19,8478442	42,6963574
Procédure 7	53,6845097	8,99693126	44,6875785
Procédure 8	59,1095272	8,47077597	50,6387513
Procédure 9	63,9944429	7,64454577	56,3498971
Procédure 10	84,8370489	27,7795152	57,0575338
		Moyenne:	40,6457486



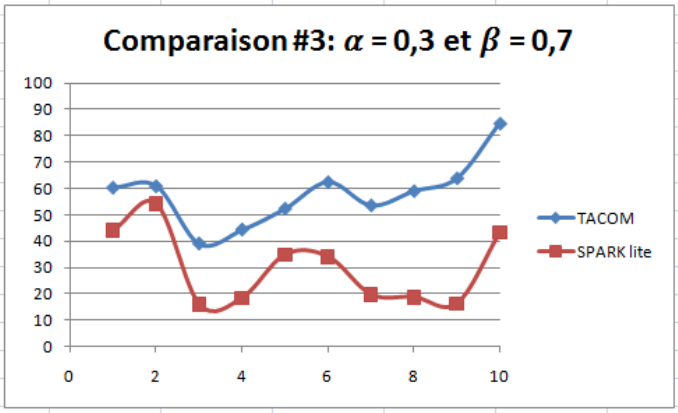
SPARK lite = 0,2*(100-Flesch) + 0,8*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	36,303201	24,1251248
Procédure 2	61,0026029	44,4375574	16,5650455
Procédure 3	39,1620946	12,5245283	26,6375663
Procédure 4	44,4848938	15,3698537	29,1150401
Procédure 5	52,461532	26,4490566	26,0124754
Procédure 6	62,5442015	26,9684156	35,5757859
Procédure 7	53,6845097	14,3574989	39,3270109
Procédure 8	59,1095272	13,6082186	45,5013086
Procédure 9	63,9944429	11,9557582	52,0386847
Procédure 10	84,8370489	35,5590303	49,2780186
		Moyenne:	34,4176061



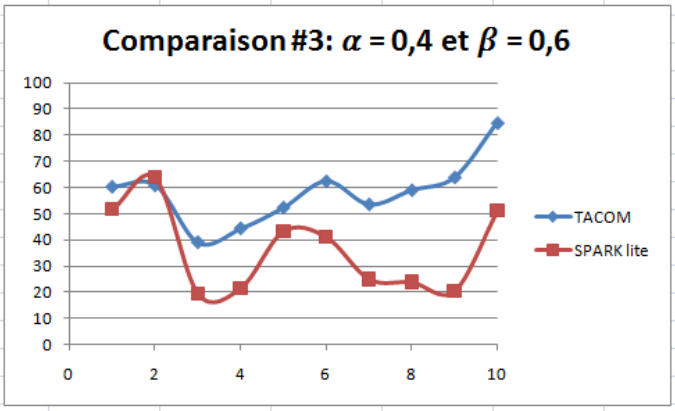
SPARK lite = 0,3*(100-Flesch) + 0,7*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	44,077443	16,3508828
Procédure 2	61,0026029	54,1563361	6,84626683
Procédure 3	39,1620946	15,9566038	23,2054908
Procédure 4	44,4848938	18,5093259	25,9755678
Procédure 5	52,461532	34,9566038	17,5049282
Procédure 6	62,5442015	34,088987	28,4552145
Procédure 7	53,6845097	19,7180665	33,9664432
Procédure 8	59,1095272	18,7456613	40,363866
Procédure 9	63,9944429	16,2669707	47,7274722
Procédure 10	84,8370489	43,3385455	41,4985035
		Moyenne:	28,1894636



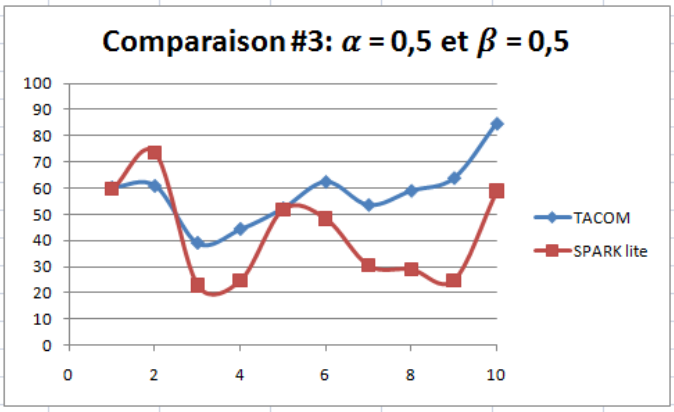
SPARK lite = 0,4*(100-Flesch) + 0,6*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	51,851685	8,57664085
Procédure 2	61,0026029	63,8751148	2,87251188
Procédure 3	39,1620946	19,3886792	19,7734153
Procédure 4	44,4848938	21,6487982	22,8360955
Procédure 5	52,461532	43,4641509	8,99738108
Procédure 6	62,5442015	41,2095584	21,3346431
Procédure 7	53,6845097	25,0786341	28,6058756
Procédure 8	59,1095272	23,8831039	35,2264233
Procédure 9	63,9944429	20,5781831	43,4162598
Procédure 10	84,8370489	51,1180606	33,7189883
		Moyenne:	22,5358235



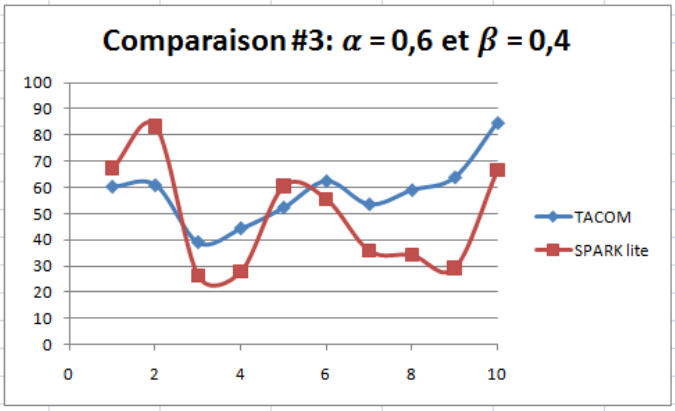
SPARK lite = 0,5*(100-Flesch) + 0,5*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	59,625927	0,80239885
Procédure 2	61,0026029	73,5938935	12,5912906
Procédure 3	39,1620946	22,8207547	16,3413399
Procédure 4	44,4848938	24,7882705	19,6966233
Procédure 5	52,461532	51,9716981	0,48983391
Procédure 6	62,5442015	48,3301299	14,2140717
Procédure 7	53,6845097	30,4392018	23,245308
Procédure 8	59,1095272	29,0205465	30,0889807
Procédure 9	63,9944429	24,8893955	39,1050473
Procédure 10	84,8370489	58,8975758	25,9394732
		Moyenne:	18,2514367



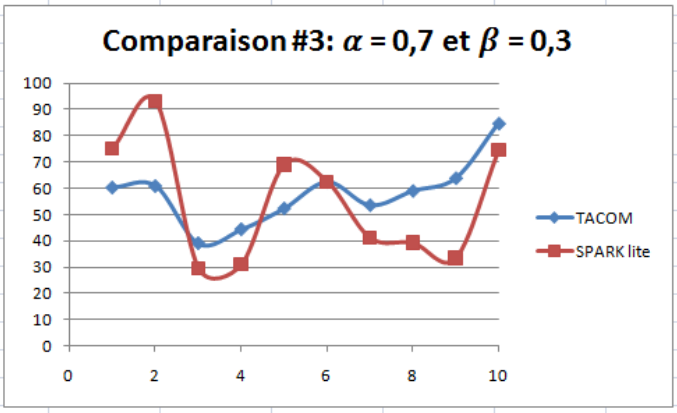
SPARK lite = 0,6*(100-Flesch) + 0,4*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	67,400169	6,97184314
Procédure 2	61,0026029	83,3126722	22,3100693
Procédure 3	39,1620946	26,2528302	12,9092644
Procédure 4	44,4848938	27,9277428	16,557151
Procédure 5	52,461532	60,4792453	8,01771326
Procédure 6	62,5442015	55,4507013	7,09350024
Procédure 7	53,6845097	35,7997694	17,8847403
Procédure 8	59,1095272	34,1579892	24,951538
Procédure 9	63,9944429	29,200608	34,7938349
Procédure 10	84,8370489	66,6770909	18,159958
		Moyenne:	16,9649613



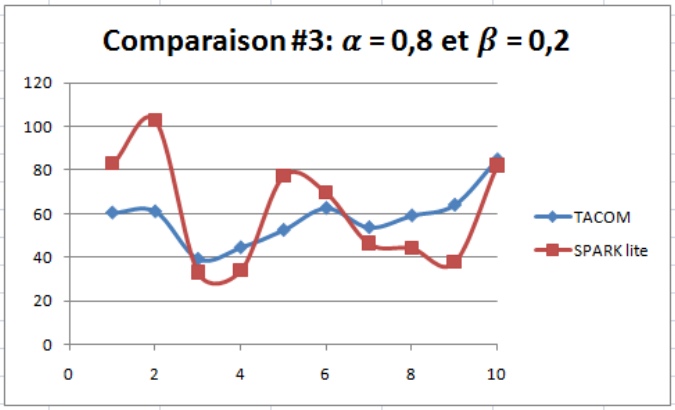
SPARK lite = 0,7*(100-Flesch) + 0,3*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	75,174411	14,7460851
Procédure 2	61,0026029	93,0314509	32,028848
Procédure 3	39,1620946	29,6849057	9,47718891
Procédure 4	44,4848938	31,0672151	13,4176787
Procédure 5	52,461532	68,9867925	16,5252604
Procédure 6	62,5442015	62,5712727	0,02707119
Procédure 7	53,6845097	41,160337	12,5241727
Procédure 8	59,1095272	39,2954318	19,8140954
Procédure 9	63,9944429	33,5118204	30,4826225
Procédure 10	84,8370489	74,4566061	10,3804429
		Moyenne:	15,9423466



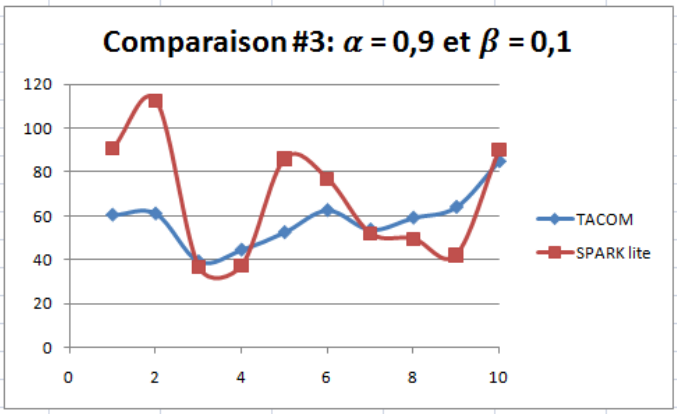
SPARK lite = 0,8*(100-Flesch) + 0,2*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	82,948653	22,5203271
Procédure 2	61,0026029	102,75023	41,7476267
Procédure 3	39,1620946	33,1169811	6,04511344
Procédure 4	44,4848938	34,2066874	10,2782064
Procédure 5	52,461532	77,4943396	25,0328076
Procédure 6	62,5442015	69,6918442	7,14764262
Procédure 7	53,6845097	46,5209047	7,16360509
Procédure 8	59,1095272	44,4328745	14,6766528
Procédure 9	63,9944429	37,8230329	26,17141
Procédure 10	84,8370489	82,2361212	2,60092772
		Moyenne:	16,3384319



SPARK lite = 0,9*(100-Flesch) + 0,1*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	90,722895	30,2945691
Procédure 2	61,0026029	112,469008	51,4664054
Procédure 3	39,1620946	36,5490566	2,61303797
Procédure 4	44,4848938	37,3461596	7,13873412
Procédure 5	52,461532	86,0018868	33,5403548
Procédure 6	62,5442015	76,8124156	14,2682141
Procédure 7	53,6845097	51,8814723	1,80303746
Procédure 8	59,1095272	49,5703171	9,53921013
Procédure 9	63,9944429	42,1342453	21,8601976
Procédure 10	84,8370489	90,0156364	5,17858743
		Moyenne:	17,7702348



Pour la comparaison #3, nous obtenons le meilleur ajustement lorsque α = 0,7 et β = 0,3, car c'est avec ces valeurs que la différence est la plus petite.

Comparaison #4 – Avec imbrication +4

Voici les valeurs de Flesch et de la variable *cyclo*.

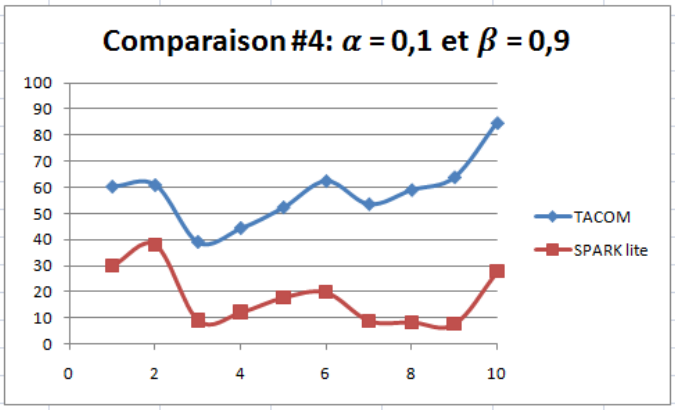
N.B. La variable *cyclo* a été obtenue en additionnant +1 à chaque fois qu'une des conditions suivantes étaient rencontrée dans la procédure : if, when, else, case, while, repeat, and. De plus, nous l'avons incrémenté de +4 chaque fois qu'un « if » était imbriqué dans un autre « if ».

Tableau B-5 : Variables de SPARK lite comparaison #4

	Flesch	***cyclo***
Procédure 1	47,80	11
Procédure 2	36,46	14
Procédure 3	78,81	2
Procédure 4	77,73	4
Procédure 5	49,91	4
Procédure 6	53,84	6
Procédure 7	68,52	1
Procédure 8	67,18	1
Procédure 9	72,13	1
Procédure 10	41,32	11

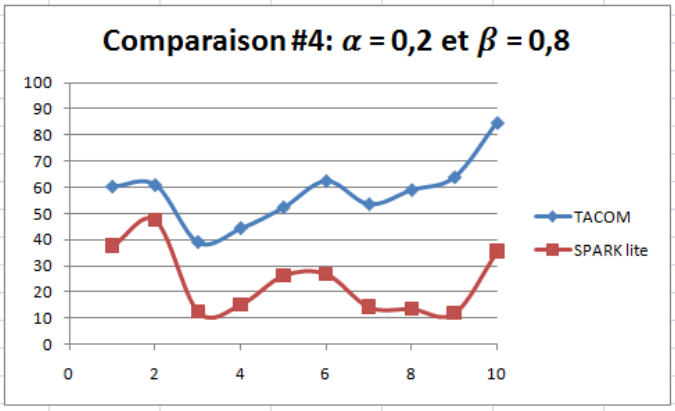
SPARK lite = 0,1*(100-Flesch) + 0,9*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	30,2270722	30,2012536
Procédure 2	61,0026029	38,1803172	22,8222858
Procédure 3	39,1620946	9,09245283	30,0696417
Procédure 4	44,4848938	12,2303814	32,2545124
Procédure 5	52,461532	17,9415094	34,5200226
Procédure 6	62,5442015	19,8478442	42,6963574
Procédure 7	53,6845097	8,99693126	44,6875785
Procédure 8	59,1095272	8,47077597	50,6387513
Procédure 9	63,9944429	7,64454577	56,3498971
Procédure 10	84,8370489	27,7795152	57,0575338
		Moyenne:	40,1297834



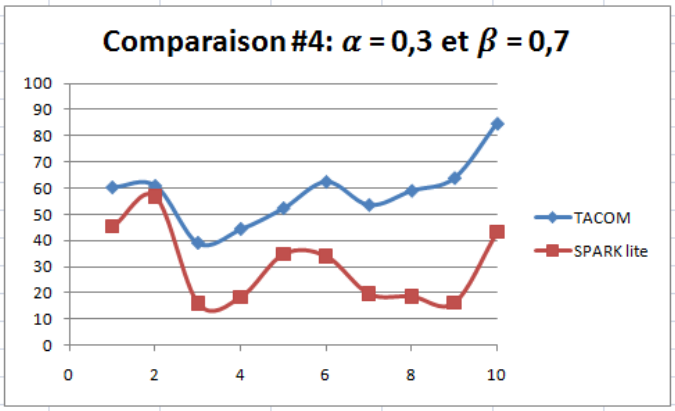
SPARK lite = 0,2*(100-Flesch) + 0,8*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	37,8126349	22,6156909
Procédure 2	61,0026029	47,5144805	13,4881225
Procédure 3	39,1620946	12,5245283	26,6375663
Procédure 4	44,4848938	15,3698537	29,1150401
Procédure 5	52,461532	26,4490566	26,0124754
Procédure 6	62,5442015	26,9684156	35,5757859
Procédure 7	53,6845097	14,3574989	39,3270109
Procédure 8	59,1095272	13,6082186	45,5013086
Procédure 9	63,9944429	11,9557582	52,0386847
Procédure 10	84,8370489	35,5590303	49,2780186
		Moyenne:	33,9589704



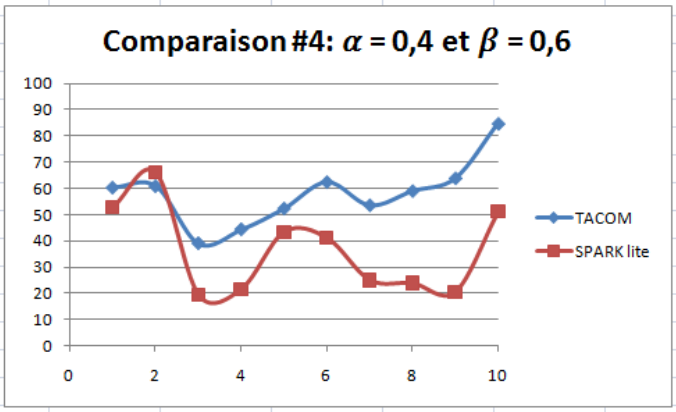
SPARK lite = 0,3*(100-Flesch) + 0,7*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	45,3981977	15,0301281
Procédure 2	61,0026029	56,8486438	4,15395913
Procédure 3	39,1620946	15,9566038	23,2054908
Procédure 4	44,4848938	18,5093259	25,9755678
Procédure 5	52,461532	34,9566038	17,5049282
Procédure 6	62,5442015	34,088987	28,4552145
Procédure 7	53,6845097	19,7180665	33,9664432
Procédure 8	59,1095272	18,7456613	40,363866
Procédure 9	63,9944429	16,2669707	47,7274722
Procédure 10	84,8370489	43,3385455	41,4985035
		Moyenne:	27,7881574



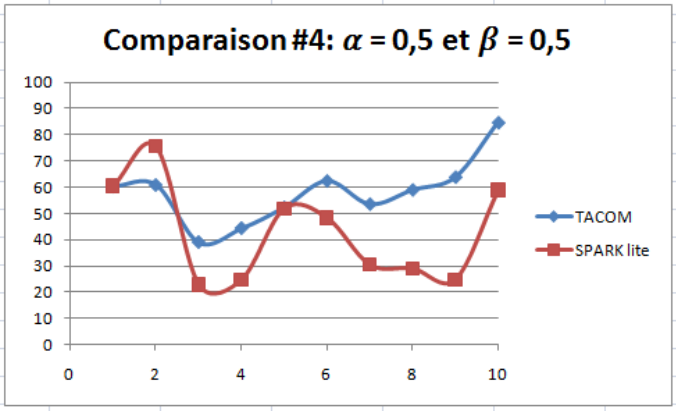
SPARK lite = 0,4*(100-Flesch) + 0,6*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	52,9837604	7,44456538
Procédure 2	61,0026029	66,1828071	5,18020418
Procédure 3	39,1620946	19,3886792	19,7734153
Procédure 4	44,4848938	21,6487982	22,8360955
Procédure 5	52,461532	43,4641509	8,99738108
Procédure 6	62,5442015	41,2095584	21,3346431
Procédure 7	53,6845097	25,0786341	28,6058756
Procédure 8	59,1095272	23,8831039	35,2264233
Procédure 9	63,9944429	20,5781831	43,4162598
Procédure 10	84,8370489	51,1180606	33,7189883
		Moyenne:	22,6533852



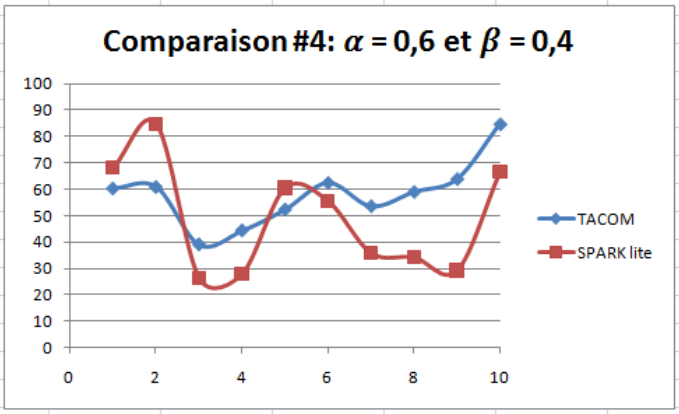
SPARK lite = 0,5*(100-Flesch) + 0,5*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	60,5693232	0,14099737
Procédure 2	61,0026029	75,5169704	14,5143675
Procédure 3	39,1620946	22,8207547	16,3413399
Procédure 4	44,4848938	24,7882705	19,6966233
Procédure 5	52,461532	51,9716981	0,48983391
Procédure 6	62,5442015	48,3301299	14,2140717
Procédure 7	53,6845097	30,4392018	23,245308
Procédure 8	59,1095272	29,0205465	30,0889807
Procédure 9	63,9944429	24,8893955	39,1050473
Procédure 10	84,8370489	58,8975758	25,9394732
		Moyenne:	18,3776043



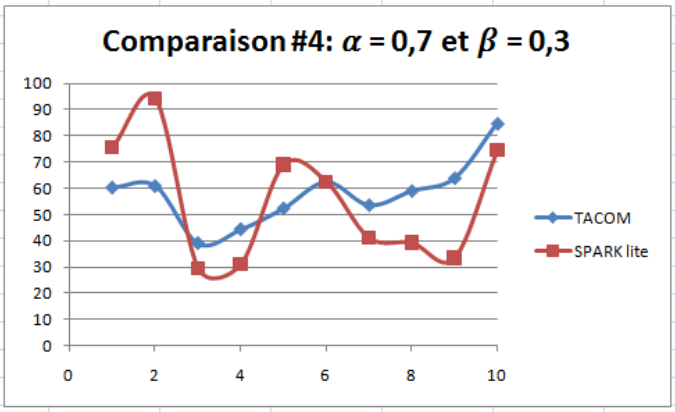
SPARK lite = 0,6*(100-Flesch) + 0,4*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	68,1548859	7,72656013
Procédure 2	61,0026029	84,8511338	23,8485308
Procédure 3	39,1620946	26,2528302	12,9092644
Procédure 4	44,4848938	27,9277428	16,557151
Procédure 5	52,461532	60,4792453	8,01771326
Procédure 6	62,5442015	55,4507013	7,09350024
Procédure 7	53,6845097	35,7997694	17,8847403
Procédure 8	59,1095272	34,1579892	24,951538
Procédure 9	63,9944429	29,200608	34,7938349
Procédure 10	84,8370489	66,6770909	18,159958
		Moyenne:	17,1942791



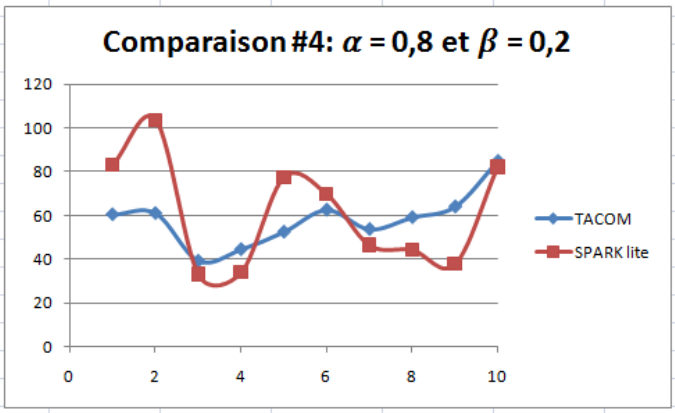
SPARK lite = 0,7*(100-Flesch) + 0,3*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	75,7404487	15,3121229
Procédure 2	61,0026029	94,1852971	33,1826941
Procédure 3	39,1620946	29,6849057	9,47718891
Procédure 4	44,4848938	31,0672151	13,4176787
Procédure 5	52,461532	68,9867925	16,5252604
Procédure 6	62,5442015	62,5712727	0,02707119
Procédure 7	53,6845097	41,160337	12,5241727
Procédure 8	59,1095272	39,2954318	19,8140954
Procédure 9	63,9944429	33,5118204	30,4826225
Procédure 10	84,8370489	74,4566061	10,3804429
		Moyenne:	16,114335



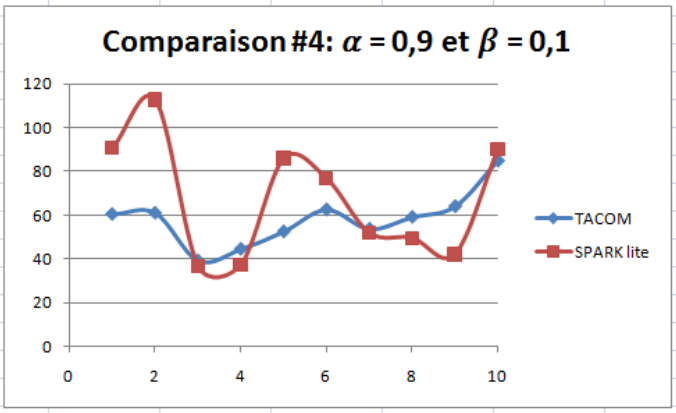
SPARK lite = 0,8*(100-Flesch) + 0,2*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	83,3260115	22,8976856
Procédure 2	61,0026029	103,51946	42,5168575
Procédure 3	39,1620946	33,1169811	6,04511344
Procédure 4	44,4848938	34,2066874	10,2782064
Procédure 5	52,461532	77,4943396	25,0328076
Procédure 6	62,5442015	69,6918442	7,14764262
Procédure 7	53,6845097	46,5209047	7,16360509
Procédure 8	59,1095272	44,4328745	14,6766528
Procédure 9	63,9944429	37,8230329	26,17141
Procédure 10	84,8370489	82,2361212	2,60092772
		Moyenne:	16,4530909



SPARK lite = 0,9*(100-Flesch) + 0,1*(cyclo+1)

	TACOM %	SPARK %	Différence
Procédure 1	60,4283258	90,9115742	30,4832484
Procédure 2	61,0026029	112,853624	51,8510208
Procédure 3	39,1620946	36,5490566	2,61303797
Procédure 4	44,4848938	37,3461596	7,13873412
Procédure 5	52,461532	86,0018868	33,5403548
Procédure 6	62,5442015	76,8124156	14,2682141
Procédure 7	53,6845097	51,8814723	1,80303746
Procédure 8	59,1095272	49,5703171	9,53921013
Procédure 9	63,9944429	42,1342453	21,8601976
Procédure 10	84,8370489	90,0156364	5,17858743
		Moyenne:	17,8275643



Pour la comparaison #4, nous obtenons le meilleur ajustement lorsque α = 0,7 et β = 0,3, car c'est avec ces valeurs que la différence est la plus petite.

ANNEXE C. 6 PROCÉDURES DE L'EXPÉRIENCE DE CHIMIE

Voici les instructions qui ont été données à chaque participant avant l'exécution des tâches de chimie :

Instructions
• Do one step at a time. Do not read the next step before having finished the previous one. • Make a check at the end of each sentence **after** doing the appropriate action. • After you use a bottle, immediately place it back to its correct place and position. • After the use of the pipette or the spoon, clean it and put it at its correct place before going to the next step. • Note: when you see "solution" in the procedure, it means a liquid product already mixed. You should find it in the pill bottles or in the dark glass bottle.

Voici maintenant les 4 procédures utilisées dans le bloc 2, en commençant par les 2 ayant un indice de Flesch simple (supérieur à 60), suivi des 2 ayant un indice de Flesch complexe (inférieur ou égal à 60) :

Chemistry #12: Carbon rod

[1] Take a measuring cup (the one without the handle).

[2] Fill half the measuring cup with water.

[3] Take a piece of aluminum paper.

[4] Put the piece of aluminum paper on the side of the cup, holding on the rim of the cup. The aluminum paper should be mostly inside the cup, vertical, going under the water line.

[5] Put the carbon rode in the water.

[6] Take the battery.

[7] Connect the battery to the blue plastic connector, linked to the red and black wires.

[8] Connect these battery wires to the other individual black wires.

[9] Attach the black wire linked to the red wire of the battery to the carbon rode.

[10] Attach the black wire linked to the other black wire of the battery to the aluminum.

[11] IF nothing happens
THEN verify all connections.

[12] Look closely and put your ear near the cup. Wait at least 30 seconds. Write down the results here: _____

[13] IF not done already, clean all equipment and put everything back to its original place.

———— END ————

Flesch = 67,98 > 60 où mots = 164
phrases = 16
syllables = 249

Complexité cyclomatique = 2

Chemistry #3: Litmus sodium solution

[1] Take a new clean test tube.

[2] Fill the test tube with 5 cm of water.

[3] Add 1 half-spoonful of Sodium carbonate with the small spoon.

[4] Add 5 drops of the Litmus solution.

[5] Put on the cork.

[6] Mix the content of the test tube with circular movements.

[7] Write down the result here: _____

[8] Take another test tube. Make sure it is dry. You can use the soft sponge to dry it completely.

[9] Add 1 small spoonful of Sodium hydrogen sulfate.

[10] Take the first test tube (the one you did first in this experiment) and add it to the content of the second test tube (the one with the powder).

[11] Put on the cork.

[12] Mix the content of the test tube with circular movements.

[13] Write down the result here: _____

[14] You will now take a picture of your experiment. Read carefully the following instructions to take the correct picture:

****

WARNING

The instructions for the Photograph procedures are different. Read every instruction in full and carefully before proceeding.

****

NOTE: Follow the instructions exactly as written, read one instruction at the time, put a check mark in the "Read" column of the procedure AFTER you have READ it, execute it and then read the next one.

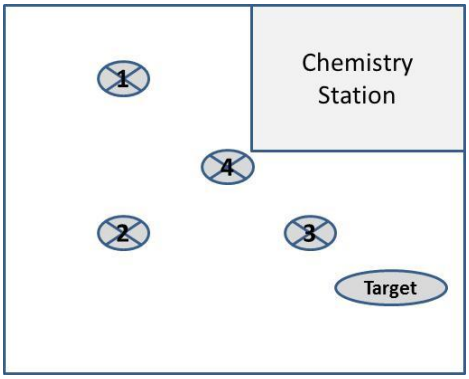
[15] Install the target on the ground and directly on the center of the X of marker 1.

[16] Put the flashlight on the ground on the center of the X of marker 4, turn it on and point it towards the target.

[17] Ensure that the camera is turned on, go to marker 3, position the camera in front of your eyes and hold it steady.

[18] Take the picture when ready.

[19] Take the target, the flashlight and the camera and put them on marker 2, with the flashlight located between the camera and the chemistry table.



[20] Clean all equipment and put everything back to its original place.

———— END ————

Flesch = 78,98 > 60 où mots = 305
phrases = 26
syllables = 418

Complexité cyclomatique = 0

Chemistry #6: Smell experiment

[1] You are now starting a new experiment, so make sure all the equipment is cleaned and at the right place. You need to take a new clean test tube from the grey tray and make sure it is completely clean.

[2] Using either the measuring cup or by putting the test tube directly in the clean water bowl, you need to add five centimetres of water in the test tube; try to be as precise as possible in your quantities by using the ruler.

[3] With your test tube containing five centimetres of water, you now have to add two big spoons of Ammonium chloride;
IF the big spoon doesn't fit in the bottle
THEN use four small spoons instead of two big spoons.

NOTE: Using the spoon, always make sure you read the instructions correctly, because if you use the wrong side of the spoon, you may fail the experiment.

[4] Find the grey cork and put it on the test tube by pressing firmly to make sure that it is sealed correctly.

[5] Being careful, mix the content of the test tube with slow circular movements, mix till all products are mixed completely.

[6] You now have to find the Sodium carbonate and take two big spoons of the product and dissolve it in the test tube;
IF the big spoon doesn't fit in the bottle
THEN use four small spoons instead of two big spoons.

[7] Find the grey cork and put it on the test tube by pressing firmly to make sure that it is sealed correctly.

[8] Being careful, mix the content of the test tube with slow circular movements, mix till all products are mixed completely.

****

WARNING

You now have to slowly remove the cork and smell the content, but do not take a deep breath of the solution because it may cause headache or stun.

****

[9] What does it smell like (like a product, like a place)? Describe the smell here:
_____

[10] Put that solution in a small identified glass (Ammonium iron sulphate solution).

———— **END** ————		
Flesch = 56,76 $\leq$ 60	où	mots = 325 phrases = 14 syllables = 486
Complexité cyclomatique = 2		

Chemistry #7: Cooper ammonium solution

[1] You're now starting a new experiment, so make sure all instruments are in their correct place on the table and in the box.

[2] You first need to fill a test tube with three centimetres of clean water. You need to be as precise as possible, and for that, you can measure the water using the ruler that you will find on the table.

[3] You now have to add one half-spoonful of Cooper sulfate with the small spoon. You need to use the small spoon to measure the one half-spoonful and after you have put the chemical in your test tube; you can put it in the grey tray.

NOTE: The spoon has an extremity with a big spoon and an extremity with a small spoon, so make sure you read the procedure correctly and use the correct spoon.

[4] You made Ammonium iron sulphate solution in the previous experiment, you put it in a small identified glass; take that solution and add half of it to the current solution.

[5] Before mixing the solutions, put the grey cork on the test tub and push firmly on it to seal it completely.

[6] Being careful, mix the content of the test tube with circular movements, mix till all products are mixed completely.

[7] Look at what happened in the test tube, did the color change? Write down the result here: _____

[8] Put that test tub in the grey tray, at the far right, first row, and take a clean new test tube.

NOTE: You need to take care in memorizing the place where you put your solutions in the stand, you may have to reuse it later or in another experience.

[9] You first need to fill a new clean test tube with three centimetres of clean water, you need to be as precise as possible, and for that, you can measure the water using the ruler that you will find on the table.

[10] Now you can add one small spoon of Sodium hydrogen sulfate in that test tube already containing the three centimetres of water.

[11] Now be careful and add this solution to the first one, the blue.

[12] Before mixing the two solutions together, put on the grey cork and press firmly on it in order to seal it completely.

[13] Being careful, mix the content of the test tube with circular movements, mix till all

products are mixed completely.

[14] Look closely at the mixed content; do you see any difference, what happened? Write down the result here: _____

[15] You will now take a picture of your experiment, read carefully the following instructions to take the correct picture:

****

WARNING

The instructions for the Photograph procedures are different, read every instruction in full and carefully before proceeding.

****

NOTE: To carry out this procedure, it is imperative that you follow the instructions exactly as written without deviating and that you read only the instruction at the time and then that you carry out the instruction BEFORE reading the next instruction and that you put a check mark in the "Done" column of the procedure AFTER you have EXECUTED the instruction.

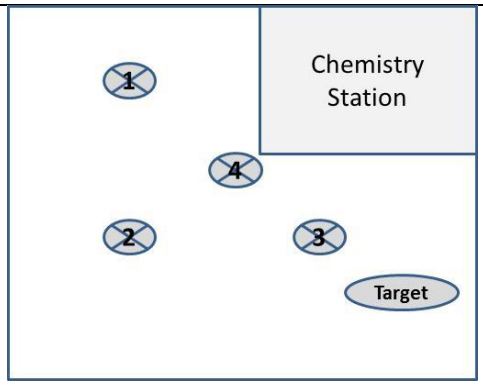
[16] In order to enable you to photograph the target with the level of clarity that is required for documenting the results from this part of the experiment, you will need to firstly install the target on the ground and directly on the center of the X for the marker designated as number four.

[17] The second step in achieving the required quality of photograph will consist in installing the LED flashlight on the ground and on the center of the X for the marker designated as number one and turning it on with the luminous end of this flashlight pointing directly in the direction of the target.

[18] Thirdly you will take the camera and ensure that it is turned on and then you will walk to marker number two where you will stand and position the camera in front of your eyes so that you will hold it steady in your hands.

[19] In this next step you will point the camera to the target and will take a photograph when you are ready to take it.

[20] Lastly you will take the target and the flashlight and will put them as well as the camera on the marker designated as number three while ensuring that the camera is located between the flashlight and the chemistry table.



[21] The experiment is now finished, clean all equipment and put everything back to its original place.

****

WARNING

Take care to empty all the test tubes in the waste bowl and to use the rinsing water to clean the instrument;
IF ever you mix chemicals in the clean water bowl by accident
THEN you will need to empty that bowl and fill it again with clean water.

****

——— END ———

Flesch = 58,83 $\leq$ 60 où mots = 786
phrases = 30
syllables = 1128

Complexité cyclomatique = 1

ANNEXE D. 2 PROCÉDURES DE L'EXPÉRIENCE DE SURVEILLANCE DE SYSTÈME

Voici les deux procédures qui ont été créées pour vérifier l'impact de la complexité cyclomatique sur la performance d'un utilisateur. La première étant la procédure ayant un score de complexité cylomatique nul et la seconde, celle ayant un score égal à 112.

Procédure #5-B

[1]	To estimate of the Total Pressure in the system, calculate Total Pressure: P4 + P2: _____
[2]	To estimate the Current Temperature in the system now, use the value for Temperature: T3 + 1: _____
[3]	To obtain the estimate for the High Pressure in the system, use the following value: High Pressure: P3: _____
[4]	To obtain the Estimated System Temperature for the system, you must use the following: Estimated System Temperature: T2: _____
[5]	Go to the next step which is step 7.
[6]	The estimated value for the level will be calculated as follows: L1 + L4: _____
[7]	The value for the Temperature is obtained by carrying out the calculation: Temperature: 1 + T1: _____

[8]	To calculate the next answer, carry out the calculation that follows: T3 - 4: _____
[9]	The next answer will be calculated by computing the following sum: T1 + T2 + T3 + T4: _____
[10]	In order to calculate the correct answer for this step, you will need to carry out the calculation that follows. Limit for the level: L1 + L2 +L3 + L4: _____
[11]	To calculate the temperature required, you have to perform the following calculation: Average Temperature: (T2 + T3 + T4) / 3: _____
[12]	To calculate the answer, perform the following calculation: Limit: P3 + P2: _____
[13]	For this step, carry out the following calculation Limit: L3: _____
[14]	To calculate the answer, perform the following calculation: Correct Limit: L1 + L2: _____
[15]	To calculate the answer, you will need to carry out the calculation that follows. Limit: L2 + L4: _____

[16]	To calculate the answer, carry out the following calculation. The Temperature will be: Temperature : T1 + T2 - T3: _____
[17]	At this step, to calculate the new targets in this step, you need to perform the following: Target1 : T2 + T4 : _____ Target2 : -(L2 + L4) : _____
[18]	To obtain the correct value, carry out the following calculation: Limit: (P1 + P2 + P3) / 3: _____
[19]	To calculate the value for Target in this step, you have to perform the following calculation: Target: (L3 + 14) / 2: _____
[20]	To obtain the value for the Limit, carry out the following calculation: Limit: (L1 + L4) - (L2 + L3): _____
[21]	For this step, carry out the calculation: Target: 15 + 25: _____
[22]	Carry out the following calculations. The Targets are given by the following expression: Target1 : (T2 + T4) - 5 : _____ Target2 : (L2 + L4) - 5 : _____
[23]	In this step, perform the following calculation for the Limit: Limit: (P1 + P3 + P4) / 3: _____
[24]	Here, carry out the calculation that follows. The Target will be given by calculating the expression: New Target: (5 + 5 + 15 – 10) : _____

[25]	To estimate for the value of the Limit for this parameter of the system, you need to use the following: Limit: (L3 + L4 – L1): _____
[26]	Here, the Total Pressure will be given by calculating: Total Pressure is: P3 + P4: _____
[27]	To calculate the appropriate value for the Current Temperature, you have to calculate: Current Temperature is: T2 + 12: _____
[28]	In this step, you will now have to calculate the correct answer by using the following expression: High Pressure : P3 / 2: _____
[29]	To calculate the Current Temperature in this step, you have to perform the following calculation: Estimated System Temperature: T2+ 17: _____
[30]	To obtain the estimate of the Limit in the system: Limit: L3: _____
[31]	For this step, the Limit will be obtained by calculating the following: Limit: (L1 + L2) / 4: _____
[32]	To calculate the value for the Limit, perform the following: Limit: (P1 + P2 + P3) / 3: _____
[33]	To calculate the value for the Limit, use: Target : L1:____
[34]	To calculate the appropriate value for the Limit, perform the following calculation. The correct value will be obtained with: Limit: (L3 + L4 + L1): _____

[35]	For this step, the Total Pressure is calculated by the following: Total Pressure is: P4 + P2: _____
[36]	The appropriate Current Temperature is given by calculating the value of the expression: Current Temperature is: (T2 - T4) / 2: _____
[37]	To calculate the answer, carry out the calculation where The High Pressure will be given by the following: High Pressure: P2 - 7: _____
[38]	For this step, the appropriate value for the system Limit will be given by calculating the value of the expression: Limit: (L2 + L4 – L1): _____
[39]	To calculate the Total Pressure, perform the following calculation: Total Pressure is: P1 + P4: _____
[40]	To calculate the correct Current Temperature for the system, carry out the calculation: Current Temperature is: (17 + 14 + 21) / 2: _____

Procédure #4-A

[1]	IF P4 is GREATER OR EQUAL to P2 THEN Total Pressure is: P4 + P2: _____ ELSE Total Pressure is: P4: _____
[2]	IF T3 is EQUAL to T4 OR T1 is LESS than T2 THEN Current Temperature is: T3: _____ ELSE Current Temperature is: T3 + 1: _____
[3]	IF P2 is GREATER than P4 THEN High Pressure : P2: _____ ELSE IF P3 is GREATER than P2 THEN High Pressure : P3: _____ ELSE High Pressure: P3 + 7
[4]	IF P3 is GREATER than 50 kPa AND L3 is LOWER than L2 THEN: Estimated System Temperature: T2: _____ ELSE Estimated System Temperature: T3: _____
[5]	IF T2 is LOWER than T4, GOTO step 7
[6]	IF L1 AND L4 are GREATER than L2 THEN Maximum Level: L1 + L4: _____ ELSE Maximum Level: L1 + 1: _____
[7]	IF T1 AND T2 AND T3 GREATER OR LOWER than 16 THEN Temperature : 1 + T1: _____ ELSE Temperature: 2 + T2: _____
[8]	IF T1 = 25 OR T2 GREATER than 25 THEN Answer : T3 - 4: _____ ELSE Answer: T3 + 4: _____

[9]	IF T3 EQUAL TO 30 THEN Temperature: T3 + 20: _____ ELSE T2 SMALLER than 30 THEN Temperature: T3 + 5: _____ ELSE T4 EQUAL 50 THEN Temperature : T1 + T2 + T3: _____ ELSE Temperature: T1 + T2: _____
[10]	IF L1 LOWER than 35 C OR L1 GREATER than 15 C THEN Limit for Level: L2 + L3 + L4: _____ ELSE P2 GREATER than 40 AND P3 GREATER than 55 THEN Limit for Pressure: P1 + P3 + P4: _____
[11]	IF T2 AND T3 AND T4 EQUAL OR GREATER than 20 THEN Average Temperature : (T2 + T3 + T4) / 3: _____ ELSE Limit : T2 + T3 :_____
[12]	IF P3 – P2 GREATER than 20 THEN Limit : P3 – P2: _____ ELSE Limit: P3 + P2: _____
[13]	IF L3 – L4 LESS than 18 THEN Limit: L3: _____ ELSE Limit: P4: _____
[14]	IF T1 GREATER than 12 C AND P4 LESS than 10 kPa THEN Limit: L1 + L2: _____ ELSE Limit: L2 + L3: _____
[15]	IF T4 – T3 – T1 GREATER than 25 THEN Limit: (P1 + P2 + P3) / 3: _____ ELSE Limit: L2 + L4: _____
[16]	IF T3 EQUAL TO 30

	THEN Temperature: T3 + 20: _____ ELSE T2 OR T1 LOWER than 30 THEN Temperature: T3 + 5: _____ ELSE T4 EQUAL 50 THEN Temperature : T1 + T2 - T3: _____ ELSE Temperature: T2 + T3: _____
[17]	IF P1 GREATER THAN 15 AND T2 GREATER THAN 15 AND L3 GREATER THAN 25 THEN Target1: T2+T4: _____ Target2: -(L2 + L4): _____ ELSE Target1 : -(T2 + T4): _____ Target2 : (L2 + L4): _____
[18]	IF P4 – P3 – P1 GREATER than 11 THEN Limit: (P1 + P2 + P3) / 3: _____ ELSE Limit: (L2 + L4)/2: _____
[19]	IF P4 GREATER than 13 AND L1 LESS than 7 AND T3 GREATER than 10 THEN Target: (L3 + 14) / 2: _____ ELSE Target: (L2 + 14) / 2: _____

[20]	IF (L1 + L3) / 2 LESS than (L2 + L4)
	THEN
	Limit: (L1 + L4) - (L2 + L3): _____
	ELSE
	Limit: (L2+L3) - (L1 + L4): _____

[21]	IF P1 GREATER than 28 kPa THEN Target: 25 + 15: _____ ELSE Target: 15+25: _____
[22]	IF L1 GREATER THAN 15 AND L2 GREATER THAN 15 AND L3 LOWER THAN 25 THEN Target1: L2+L4: _____ Target2: T1 + T3: _____ ELSE Target1 : (T2 + T4) - 5 : _____

	Target2 : (L2 + L4) – 5 : _____
[23]	IF T4 + T3 + T1 GREATER than 57 THEN Limit: (P1 + P3 + P4) / 3: _____ ELSE Limit: (L1 + L4) * 2: _____
[24]	IF P1 GREATER than 10 AND P1 LOWER than P3 AND T2 LOWER than T1 THEN New Target: (7 + 5 + 15 – 10) : _____ ELSE New Target: (7 + 5 – 15 + 10): _____

[25]	IF (L3 + L4) GREATER than (L 1 + L4) AND (P2 + P4) LOWER than (P3 – P4)
	THEN
	Limit: (L3 + L4 – L1): _____
	ELSE
	Limit: (P3 + P4 – P2): _____

[26]	IF P4 is GREATER OR EQUAL to P1 THEN Total Pressure is: P4 + P1: _____ ELSE Total Pressure is: P3 + P4: _____
[27]	IF T3 is EQUAL to T1 OR T1 is LESS than T4 THEN Current Temperature is: T2 + 12: _____ ELSE Current Temperature is: T1 + 1: _____
[28]	IF P1 GREATER than P4 AND P4 LOWER than P3 THEN High Pressure : (P2 + 6) / 2: _____ ELSE P3 is GREATER than P2 THEN High Pressure : P3 / 2: _____ ELSE High Pressure: P3 + 17: ____
[29]	IF P3 is GREATER than 40 kPa AND L3 is LOWER than L2 THEN: Estimated System Temperature: T2 + 17: _____ ELSE Estimated System Temperature: T3+ 17: _____
[30]	IF L3 – L4 LESS than (18 + L1) THEN Limit: L3: _____ ELSE

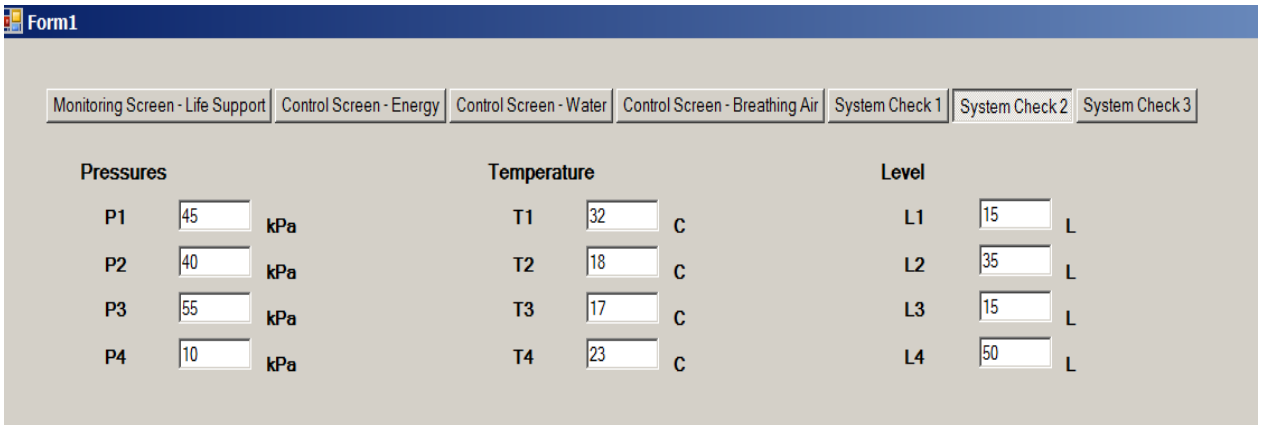
	Limit: P4: _____
[31]	IF T1 GREATER than 16 AND P4 LESS than 14 kPa THEN Limit: (L1 + L2) / 4: _____ ELSE Limit: (L2 + L3)/2: _____
[32]	IF T4 – T3 – T1 GREATER than 15 THEN Limit: (P1 + P2 + P3) / 3: _____ ELSE Limit: (L2 + L4)/2: _____

[33]	IF (L1 / 2) GREATER than 13
	THEN
	Target : L1:____
	ELSE
	Target: L2:____

[34]	IF (L1 + L4) GREATER than (L 2 + L4) AND (P1 + P4) LOWER than (P2 – 10)
	THEN
	Limit: (L3 + L4 + L1): _____
	ELSE
	Limit: (P3 + P4 + P2): _____

[35]	IF P4 is GREATER OR EQUAL to P3 THEN Total Pressure is: P4 + P2: _____ ELSE Total Pressure is: (P1 + P3) / 2: _____
[36]	IF T3 is EQUAL to T2 OR T2 is LESS than T4 THEN Current Temperature is: (T2- T4) / 2: _____ ELSE Current Temperature is: (T1 + 1) / 2: _____
[37]	IF P1 GREATER than P2 AND P2 LOWER than P3 THEN High Pressure : (P1 + 6) / 2: _____ ELSE IF P3 is GREATER than P1 THEN High Pressure : P2 - 7: _____ ELSE High Pressure: P2 + 17: ____
[38]	IF (L1 + L4) GREATER than (L 2 + L4) AND (P3 + P4) LOWER than (P3 – P4) THEN Limit: (L2 + L4 – L1): _____

	ELSE Limit: (P2 + P4 – P3): _____
[39]	IF P4 is GREATER OR EQUAL to P2 THEN Total Pressure is: P2 + P1: _____ ELSE Total Pressure is: P1 + P4: _____
[40]	IF T1 is EQUAL to T2 OR T2 is LESS than T4 THEN Current Temperature is: (17 + 14 + 21) / 2: _____ ELSE Current Temperature is: (27 + 14 + 21) / 2: _____

Voici l'interface du système qui a été créé afin d'accomplir les deux procédures ci-haut :

Interface bloc 2