



**UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION DE TABLEAUX DE BORD POUR LE GÉNIE
LOGICIEL**

PAR RAPHAEL FERNANDES BARBOSA

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI EN VUE
DE L'OBTENTION DU GRADE DE MAÎTRE ÈS SCIENCES (M.Sc.) EN
INFORMATIQUE**

QUÉBEC, CANADA

© RAPHAEL FERNANDES BARBOSA, 2022

RÉSUMÉ

Au cours de la dernière décennie, le volume de données et de technologies ne cesse d'augmenter de manière accrue et accélérée. Les dirigeants d'entreprise cherchent à visualiser les informations de façon détaillée et efficace, afin de prendre des décisions basées sur des faits. Ils ont besoin des données correctes, livrées par un moyen fiable et accessible. L'évolution des technologies de l'analyse de données a permis la création d'outils qui analysent les logiciels des entreprises, offrant une visualisation de plusieurs aspects liés au développement et l'utilisation de logiciels. Ayant pour objectif la remise de données comme information utile destinée au décideur, le tableau de bord constitue l'un des moyens les plus indiqués. Toutefois, comment peut-on évaluer quel tableau de bord est le meilleur pour exécuter une telle tâche ?

Cette étude vise à comprendre les concepts et les caractéristiques du développement de tableaux de bord à la lumière de la littérature, dans le but d'évaluer et d'offrir du soutien nécessaire à la prise de décision sur quel tableau de bord est adéquat pour chaque scénario d'application en génie logiciel. Pour ce faire, nous exécutons un mappage systématique à la recherche d'études sur l'évaluation de tableaux de bord en génie logiciel. Grâce à ce premier pas, nous avons pu visualiser comme l'analyse de données a avancé au cours des dernières années et comment l'utilisation d'outils de visualisation est en cours d'application. L'application et l'utilisation des tableaux de bord dans les divers sous-domaines de génie logiciel, comme des critères, qualité et test de logiciel sont de plus en plus communs. L'analyse de la recherche menée a rendu possible l'identification des principales caractéristiques pour qu'un tableau de bord soit en accord avec les bonnes pratiques de développement, selon la littérature.

Dans le cadre de cette étude, nous avons été capables de construire une méthode d'évaluation de tableaux de bord en utilisant l'analyse hiérarchique de procédés (AHP), grâce à laquelle c'est possible d'aider des développeurs, des gestionnaires et des entreprises à définir quel est le meilleur tableau de bord pour leur projet. Nous apportons également une étude de cas dans laquelle a été utilisée la méthode développée au sein de notre recherche. En outre, nous avons élaboré l'évaluation en détails tout en exemplifiant et en démontrant la consistance de notre méthode.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS	ix
REMERCIEMENTS	x
CHAPITRE I – INTRODUCTION	1
1.1 CONTEXTE	1
1.2 PROBLÈMES ET MOTIVATIONS	4
1.3 OBJECTIF	5
1.4 CONTRIBUTIONS	6
1.5 ORGANISATION	6
CHAPITRE II – REVUE DE LA LITTÉRATURE	8
2.1 PLAN D'ÉTUDES	10
2.1.1 PROCÉDURE DE RECHERCHE ET SÉLECTION	11
2.1.2 EXTRACTION DES DONNÉES	14
2.1.3 SYNTHÈSE DES DONNÉES	15
2.2 RÉSULTATS	19
CHAPITRE III – CRITÈRES D'ÉVALUATION	25
3.1 SÉLECTION DE CRITÈRES	26
3.1.1 PROCÉDURE DE RECHERCHE DANS LA LITTÉRATURE	26
3.2 CRITÈRES SÉLECTIONNÉS	32
CHAPITRE IV – MODÈLE D'ÉVALUATION DE TABLEAUX DE BORD	33
4.1 MÉTHODE AHP	33
4.2 SÉLECTION DE CRITÈRES	35
4.2.1 COMMUNICATION	35

4.2.2	ACCESSIBILITÉ	36
4.2.3	COHÉSION	39
4.2.4	FACILITÉ	39
4.2.5	COUVERTURE	39
4.3	DÉFINITION DES PARAMÈTRES DES CRITÈRES	40
4.3.1	COMMUNICATION	40
4.3.2	ACCESSIBILITÉ	40
4.3.3	COHÉSION	41
4.3.4	FACILITÉ	41
4.3.5	COUVERTURE	42
4.4	L'UTILISATION DE LA MÉTHODE AHP	42
4.4.1	CONSTRUCTION DE LA HIÉRARCHIE DE DÉCISION	43
4.4.2	ÉVALUATION PAIRE-À-PAIRE DES CRITÈRES	44
4.4.3	ESTIMATION DE L'IMPORTANCE RELATIVE AUX CRITÈRES	46
4.4.4	CALCUL DU RATIO DE COHÉRENCE	47
4.4.5	DÉTERMINATION DU NIVEAU DE PRÉFÉRENCE DES ALTERNATIVES	49
4.4.6	ÉVALUATION GLOBALE DES ALTERNATIVES	49
CHAPITRE V – ÉVALUATION DE TABLEAUX DE BORD DE QUALITÉ DE LOGICIEL		51
5.1	SCÉNARIO DE L'ÉTUDE DE CAS	51
5.2	ÉVALUATION DES CRITÈRES	52
5.3	ÉVALUATION DES ALTERNATIVES	56
5.3.1	COMMUNICATION	58
5.3.2	ACCESSIBILITÉ	61
5.3.3	COHÉSION	65
5.3.4	FACILITÉ	67
5.3.5	COUVERTURE	69

5.4	RÉSULTATS DE L'APPLICATION DU MODÈLE D'ÉVALUATION	71
CONCLUSION	76
BIBLIOGRAPHIE	79

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2.1 :	LISTE D'ÉTUDES DU RÉSULTAT DU MAPPAGE.	20
TABLEAU 3.1 :	LISTE DE DIRECTIVES DE BONNES PRATIQUES.	27
TABLEAU 3.2 :	LISTE D'ÉTUDES RÉFÉRENCIANT LES DIRECTIVES.	29
TABLEAU 3.3 :	TABLEAU DE CRITÈRES ET DIRECTIVES.	31
TABLEAU 3.4 :	TABLEAU DE CRITÈRES SÉLECTIONNÉS.	32
TABLEAU 4.1 :	ÉCHELLE FONDAMENTALE DE COMPARAISON BINAIRE DE SAATY.	44
TABLEAU 4.2 :	MODÈLE DE MATRICE DE COMPARAISON BINAIRE ENTRE DES ÉLÉMENTS.	46
TABLEAU 4.3 :	MODÈLE DE TABLEAU POUR CALCUL D'AUTOVECTEUR MAXIMAL.	47
TABLEAU 4.4 :	TABLEAU DE COHÉRENCE ALÉATOIRE DE SAATY.	49
TABLEAU 4.5 :	MODÈLE DE SÉLECTION DE TABLEAU DE BORD.	50
TABLEAU 5.1 :	LISTE DE CRITÈRES.	52
TABLEAU 5.2 :	MATRICE DE COMPARAISON PAIR-À-PAIR ENTRE CRITÈRES.	54
TABLEAU 5.3 :	MATRICE NORMALISÉE ET DE CALCUL D'AUTOVECTEUR MAXIMAL.	55
TABLEAU 5.4 :	MATRICE DE COMPARAISON BINAIRE ENTRE DES ÉLÉ- MENTS DU CRITÈRE COMMUNICATION.	61
TABLEAU 5.5 :	MATRICE D'AUTOVECTEUR DU CRITÈRE COMMUNICA- TION.	61
TABLEAU 5.6 :	MATRICE DE COMPARAISON BINAIRE ENTRE DES ÉLÉ- MENTS DU CRITÈRE ACCESSIBILITÉ.	65
TABLEAU 5.7 :	MATRICE D'AUTOVECTEUR DU CRITÈRE ACCESSIBILITÉ. . .	65

TABLEAU 5.8 : MATRICE DE COMPARAISON BINAIRE ENTRE DES ÉLÉMENTS DU CRITÈRE COHÉSION..	66
TABLEAU 5.9 : MATRICE D'AUTOVECTEUR DU CRITÈRE COHÉSION.	67
TABLEAU 5.10 : MATRICE DE COMPARAISON BINAIRE ENTRE DES ÉLÉMENTS DU CRITÈRE FACILITÉ..	68
TABLEAU 5.11 : MATRICE D'AUTOVECTEUR DU CRITÈRE FACILITÉ.	69
TABLEAU 5.12 : MATRICE DE COMPARAISON BINAIRE ENTRE DES ÉLÉMENTS DU CRITÈRE COUVERTURE.	70
TABLEAU 5.13 : MATRICE D'AUTOVECTEUR DU CRITÈRE COUVERTURE.. . . .	71
TABLEAU 5.14 : TABLEAU DE RÉSULTATS DES AUTOVECTEURS DES CRITÈRES ET DES TABLEAUX DE BORD..	72
TABLEAU 5.15 : TABLEAU DE RÉSULTATS DE SÉLECTION DE TABLEAU DE BORD..	73

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1 – PANNEAU D’UN VÉHICULE.	1
FIGURE 1.2 – TABLEAU DE BORD RÉCENT.	2
FIGURE 2.1 – PROCÉDURE DE MAPPAGE SYSTÉMATIQUE.	12
FIGURE 2.2 – ÉTUDES DU MAPPAGE SYSTÉMATIQUE PAR DOMAINE.	21
FIGURE 2.3 – ÉTUDES DU MAPPAGE SYSTÉMATIQUE PAR AN.	22
FIGURE 3.1 – GRAPHIQUE DE QUANTITÉ D’ÉTUDES PAR DIRECTIVE.	28
FIGURE 3.2 – GRAPHIQUE DE QUANTITÉ DE DIRECTIVES PAR CRITÈRE.	30
FIGURE 4.1 – STRUCTURE HIÉRARCHIQUE AHP CLASSIQUE.	34
FIGURE 4.2 – EXEMPLE DE COULEURS INCLUSIVES.	37
FIGURE 4.3 – EXEMPLE DE COULEURS NON INCLUSIVES.	38
FIGURE 4.4 – STRUCTURE HIÉRARCHIQUE DU MODÈLE D’ÉVALUATION DE TABLEAU DE BORD.	43
FIGURE 5.1 – TABLEAU DE BORD SONARQUBE.	57
FIGURE 5.2 – TABLEAU DE BORD CODESCENE.	58
FIGURE 5.3 – DÉTAIL SONARQUBE « COMMUNICATION ».	59
FIGURE 5.4 – DÉTAIL CODESCENE « COMMUNICATION ».	60
FIGURE 5.5 – ÉVALUATION TABLEAU DE BORD SONARQUBE DALTONISME.	63
FIGURE 5.6 – EVALUATION DASHBOARD CODESCENE DALTONISME	64
FIGURE 5.7 – GRAPHIQUE D’ÉVALUATION DE COUVERTURE.	70
FIGURE 5.8 – GRAPHIQUE DE RÉSULTATS DE SÉLECTION DE TABLEAU DE BORD.	74

LISTE DES ABRÉVIATIONS

KPI	Indicateur Clé de Performance
CDN	Réseau de Diffusion de Contenu
QaSD	Quality-aware Strategic Dashboard
IoT	Internet des Objets
BIM	Bâti Immobilier Modélisé
QR	Question de Recherche
SLA	Accord sur les Niveaux de Service
IDE	Environnement de Développement Intégré
AHP	Analyse Hiérarchique de Procédés

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je ne peux manquer de remercier mon directeur de recherche, Fabio Petrillo, pour toute la patience, la confiance, l'engagement et le sens pratique avec lesquels il m'a toujours guidé dans ce travail.

Je tiens également à remercier tous mes collègues du maîtrise, dont le soutien et l'amitié ont été de tous les instants présents.

Enfin, je tiens à remercier mes parents, Sergio et Marilza, et mon frère Sergio, vous étiez essentiels dans cette réalisation, merci beaucoup. Je voudrais aussi remercier ma fiancée Sheila, merci pour le soutien que vous m'avez apporté tout au long de cette étape de ma vie.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

L'utilisation d'outils pour l'analyse de données et de technologies de visualisation, comme les tableaux de bord, a permis l'évolution du contrôle sur les actions dans la prise de décision basée sur données [1], en améliorant les choix adoptés pour les rendre plus assertifs en raison des plus nombreux fondements que ces analyses mettent à disposition.



FIGURE 1.1 : Panneau d'un véhicule [2].

Image libre de droits.

Les panneaux sont composés par des indicateurs de performance, connus comme des KPIs [1], comme dans le panneau d'un véhicule (figure 1.1), où s'affichent, pour l'utilisateur, les informations de vitesse, température du moteur, niveau de combustible du véhicule, entre autres [1]. Les KPIs sont utilisés depuis les premiers tableaux de bord, comme dans le cas des panneaux pour les automobiles jusqu'aux plus actuels, tels les tableaux de bord dans les logiciels de grandes entreprises de plusieurs secteurs (figure 1.2).

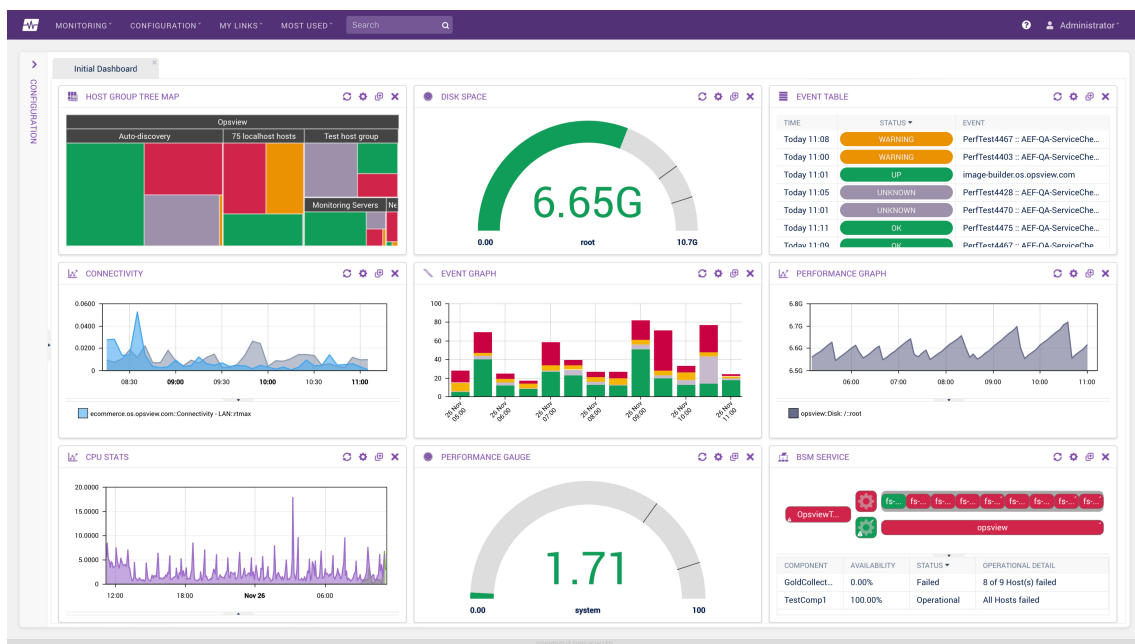


FIGURE 1.2 : Tableau de bord récent [3].
Image Creative Commons.

Les tableaux de bord utilisés dans les domaines d'activité des grandes, moyennes et petites entreprises, permettent de regrouper les principales données et les KPIs importants de l'entreprise dans un panneau, permettant aux utilisateurs de surveiller certains processus ou opérations [4] et extraire des informations à utiliser dans différentes stratégies liées au domaine d'activité de l'entreprise.

Les tableaux de bord sont un ensemble d'affichages visuels et d'informations présentés dans un panneau, où ils sont organisés dans une combinaison de texte et de graphiques, en mettant l'accent prédominant sur les graphiques [5]. Selon Few [5], le cerveau humain peut traiter des « attributs pré-attentifs » en quelques millisecondes, tels que les différences entre les couleurs, les tailles et les formes des objets. Par conséquent, la présentation graphique des informations atteint souvent une communication avec une plus grande efficacité et pertinence que ce qui se produirait dans une présentation des informations à travers des textes simples et sans graphiques [6].

Selon Few [5], un tableau de bord est un affichage surtout visuel d'informations qui sont utilisées pour surveiller rapidement certaines conditions qui exigent une réponse rapide pour remplir une fonction spécifique. Wexler et al. [6] fournit une définition plus large, les tableaux de bord étant un affichage visuel des données utilisées pour surveiller les conditions et/ou faciliter la compréhension des informations.

Au fil des ans, la technologie a évolué et subi des changements, ainsi que les outils utilisés pour y accéder. Selon Sarikaya et al. [7], le concept de tableau de bord a évolué d'une visualisation unique d'écrans de rapports pour inclure des interfaces interactives avec de multiples visualisations et objectifs, y compris la communication, l'apprentissage et la motivation, en plus des notions classiques de suivi et d'aide à la décision. Cependant, un tableau de bord est essentiellement une forme de présentation plutôt qu'un type spécifique d'information ou de technologie. En gardant cette distinction claire au moment de la construction, le développeur sera libre de se concentrer sur ce qui compte vraiment : concevoir des panneaux pour communiquer [5].

1.2 PROBLÈMES ET MOTIVATIONS

L'activité première des développeurs est de maintenir la cohésion des données entre la source, qui sont les logiciels et les bases de données d'où les données sont extraites, avec la destination, qui sont les bases intermédiaires ou internes de l'outil de développement des tableaux de bord [1]. De cette façon, il est possible d'être sûr que les informations et les perceptions obtenues grâce à ces données seront conformes à l'origine. Ceci est extrêmement important car si les données sont incorrectes à la source, cela entraînera des visualisations incorrectes. Par conséquent, une telle erreur peut conduire à de mauvaises décisions basées sur ces informations et cela peut coûter très cher à l'entreprise qui dépend de cet outil.

Les interfaces de tableau de bord sont généralement développées dans le segment des technologies de l'information, dans des équipes d'un domaine appelé Intelligence d'affaires, où elles sont conçues en fonction des exigences commerciales et des KPIs demandés par les clients et qui peuvent être destinées à différents segments, comme dans les domaines de la surveillance, de l'éducation ou de qualité. Ces exigences peuvent provenir d'une liste de contrôle des fonctions, des exécutions, du classement, de l'analyse des performances, entre autres [1]. Chaque domaine a ses directives et ses exigences spécifiques pour le mappage et la conception de leurs tableaux de bord.

Dans tous les cas, ces interfaces sont développées pour répondre à certaines questions commerciales, voire donner le moyen aux utilisateurs de tout niveau, développeurs ou gestionnaires, d'explorer les informations disponibles dans ces panneaux et de développer de nouvelles questions commerciales. En plus, identifier les problèmes de productivité, des idées pour de nouvelles approches de gestion, ou toute autre indication que l'accès à ces informations peut révéler à ses utilisateurs, contribuant toujours à améliorer la compréhension des

informations contenues dans vos données d'entreprise, et offrant ainsi une bonne prise de décision [4].

Dans le domaine de génie logiciel, les tableaux de bord sont couramment utilisés dans l'analyse de données et les solutions logicielles, fournissant des informations visuelles aux décideurs sur l'état de leurs indicateurs, les outils d'analyse logicielle fournissent également des capacités d'analyse de données et des tableaux de bord pour soutenir l'évaluation de la qualité des logiciels [8]. Certains de ces outils ont connu une augmentation significative de la popularité et ont aidé des développeurs de différents niveaux d'expérience à mesurer la qualité de leurs logiciels dans le monde entier, en détectant d'éventuels problèmes dans le code et dans certains outils, des tableaux de bord sont utilisés pour afficher les résultats de ces analyses [9].

Actuellement, l'adoption d'outils pour mesurer la qualité des logiciels a augmenté dans le génie logiciel [9] et plusieurs de ces outils utilisent des tableaux de bord pour afficher et évaluer les informations extraites des données, qui sont collectées à partir de différentes sources de données. Ces visualisations orientées vers l'utilisateur ont pour objectif principal de transmettre les informations de leurs résultats d'analyse de la qualité des logiciels de manière compréhensible. Il est donc extrêmement crucial que ces tableaux de bord soient développés de manière assertive ; ainsi, l'opportunité de développer une évaluation de ces tableaux de bord s'avère être une excellente option pour accroître la crédibilité et les performances de ces outils.

1.3 OBJECTIF

Notre étude vise à proposer une méthodologie d'évaluation des tableaux de bord de qualité de code en génie logiciel. Elle peut être utilisée pour évaluer les visualisations existantes

et actuellement utilisées dans les applications de qualité de logiciel, contribuant et permettant des améliorations dans des panneaux déjà développés, servant également de support pour de nouveaux tableaux de bord en conception ou en développement.

Pour la créer, nous allons d'abord passer en revue la littérature sur l'évaluation des tableaux de bord. Ensuite, nous étudierons dans la littérature sur les principales caractéristiques de bons tableaux de bord, et nous sélectionnerons les critères d'évaluation. Enfin, nous construirons la méthodologie et une étude de cas pour l'évaluer.

1.4 CONTRIBUTIONS

Cette étude présente les contributions suivantes :

- Une revue de la littérature sur l'évaluation de tableaux de bord en qualité en génie logiciel.
- La proposition d'une méthode d'évaluation de tableaux de bord de qualité de logiciel.
- Une évaluation de tableaux de bord effectuée en une étude de cas, afin de démontrer et évaluer notre méthode.

1.5 ORGANISATION

Cette étude est structurée en 4 chapitres. Cet chapitre vise à présenter l'étude de la méthodologie d'évaluation des tableaux de bord. Le deuxième chapitre présente une revue de la littérature sur le thème de l'évaluation des tableaux de bord. Au troisième chapitre, les critères d'évaluation sont sélectionnés et définis. Le quatrième chapitre présente une méthodologie d'évaluation des tableaux de bord de la qualité de logiciel. Dans le cinquième chapitre nous avons développé une étude de cas, puis nous avons utilisé la méthodologie

proposée au chapitre IV de notre étude pour aider à l'évaluation du meilleur tableau de bord.
Enfin, nous en présentons la conclusion.

CHAPITRE II

REVUE DE LA LITTÉRATURE

Au fil des ans, les tableaux de bord ont été inclus comme une partie essentielle des projets dans les entreprises de divers secteurs, tels que la vente, les banques, les compagnies aériennes et les établissements d'enseignement. À cette époque, l'objectif d'un tableau de bord s'est considérablement élargi, passant d'un simple tableau de bord opérationnel à une ressource complexe permettant de prendre des décisions aux niveaux supérieurs des entreprises. Pour chaque projet, l'utilisation prévue du tableau de bord conduit des choix dans sa conception visuelle et ses caractéristiques fonctionnelles.

Les tableaux de bord peuvent être classés en différents rôles selon leur fonction principale ; cette classification exprime le type d'activité qu'ils peuvent prendre en charge. Few [5], par exemple, divise les tableaux de bord en trois catégories : stratégique, analytique et opérationnel. Ils peuvent être créés pour aider une organisation, que ce soit pour évaluer une stratégie (par exemple « nous voulons que les utilisateurs du monde entier puissent faire des achats sur notre site »), affiner leurs tactiques (par exemple « notre CDN nous aide à maintenir notre site disponible dans le monde entier »), ou évaluer ses opérations (par exemple, « les utilisateurs de Seattle accèdent à un réseau de réponse lent ») [10], [5].

Les tableaux de bord stratégiques adoptent une vision plus large de l'actionnabilité, combinant des métriques de haut niveau, pour guider la prise de décision sur une échelle de temps plus longue [7]. Compte tenu de l'objectif d'orientation stratégique à long terme, les données en temps réel ne sont pas nécessaires pour réagir immédiatement au changement. Au contraire, ces tableaux de bord bénéficient de captures instantanées statiques générées

mensuellement, hebdomadairement ou quotidiennement. En général, ce sont des moniteurs unidirectionnels qui montrent simplement ce qui se passe [5].

Les tableaux de bord à visée analytique utilisent un éventail plus large de comparaisons et de KPIs. Comme les tableaux de bord stratégiques, ceux-ci utilisent également des données statiques tirées de captures instantanées, de sorte que les données ne changent pas constamment. Selon Few [5], les tableaux de bord analytiques doivent prendre en charge les interactions avec les données, pour approfondir les détails. Cela permet l'exploration nécessaire par l'utilisateur, permettant la visualisation des faits survenus et permettant l'examen des causes. Par exemple, il ne suffit pas de vérifier que les ventes diminuent lorsqu'un objectif est l'analyse. L'on doit comprendre le problème et l'explorer, découvrir ce qui cause la diminution et comment y remédier.

Les tableaux de bord opérationnels décrivent le passé actuel et le passé proche en termes de métriques immédiatement quantifiables pouvant être liées à leurs entités responsables. Par exemple, si un tableau de bord de gestion affiche un indicateur marquant une valeur de niveau critique, une action immédiate peut être entreprise pour corriger le problème [7]. Selon Few [5], la caractéristique des opérations qui influence le plus la conception des tableaux de bord est leur caractère dynamique et immédiat. Par conséquent, lors de la surveillance des opérations, ces tableaux de bord doivent avoir accès à des données d'activité et d'événement en constante évolution, pouvant exiger une attention et une réponse à tout moment.

Afin de vérifier l'état actuel des études disponibles dans la littérature sur l'évaluation des tableaux de bord en génie logiciel, nous réaliserons un mappage systématique suivant les recommandations de Petersen et al. [11]. Au moment d'identifier si une étude a été réalisée, nous aurons les moyens de savoir quelles études et quelles techniques, méthodes et critères ont été utilisés par eux pour effectuer les évaluations.

2.1 PLAN D'ÉTUDES

Cette étude utilisera l'outil de recherche de la base de données Scopus pour effectuer le mappage systématique. Avec cette base, nous pourrions accéder à plusieurs travaux scientifiques, une fois que Scopus est une base de données de résumés et de citations d'articles pour des revues académiques qui recouvre les titres des principaux éditeurs internationaux [12].

Cette recherche comprend les étapes suivantes : questions de recherche, processus de recherche et de sélection, extraction des données, synthèse des données et présentation des résultats.

Nous avons utilisé comme base de notre recherche 3 questions, pour atteindre notre objectif avec l'étude. Ces questions sont présentées ci-dessous :

QR1 : Existent-t-il des études sur l'évaluation des tableaux de bord qualité de logiciel dans la littérature ?

Pour répondre à la première question de recherche, nous allons effectuer un travail de recherche dans la littérature sur l'évaluation des tableaux de bord. Cela nous permettra d'avoir une base de connaissances sur ce qui a déjà été étudié sur le sujet et de comprendre quels modèles d'évaluation ont été utilisés et quelles caractéristiques ont été analysées par les évaluations de chaque étude.

QR2 : Quelles sont les principales propriétés d'une bonne visualisation ?

Pour répondre à cette question, nous allons rechercher les études sur les tableaux de bord déjà publiées dans la littérature. C'est important de retrouver les principales fonctionnalités du développement de tableaux de bord, en identifiant les meilleures pratiques utilisées pour construire des tableaux de bord, visant la qualité et l'efficacité. Cette question de recherche

sera d'une importance fondamentale car elle représente l'un des principes de réponse à notre dernière question de recherche.

QR3 : Comment réaliser une évaluation des tableaux de bord en s'appuyant sur les bonnes pratiques de la littérature ?

Pour répondre à la dernière question de recherche, nous utiliserons toutes les connaissances acquises par cette étude à partir des travaux liés à la littérature. En répondant à cette question, nous serons en mesure de proposer une méthode d'évaluation des tableaux de bord pour la qualité des logiciels. Cela se traduira par des avantages pour la communauté et les entreprises qui développent des tableaux de bord. L'utilisation de cette méthode peut générer des opportunités d'amélioration et d'évolution dans les tableaux de bord existants ou en cours de développement, les aidant à intégrer des attributs importants selon la littérature.

2.1.1 PROCÉDURE DE RECHERCHE ET SÉLECTION

Notre processus de recherche et de sélection se déroule en quelques étapes, comme le montre la figure 2.1 ci-dessous. L'application de ces étapes est d'une importance fondamentale, que ce soit pour identifier les études existantes dans la littérature, ou pour trouver des informations sur les tableaux de bord contenus dans ces études.

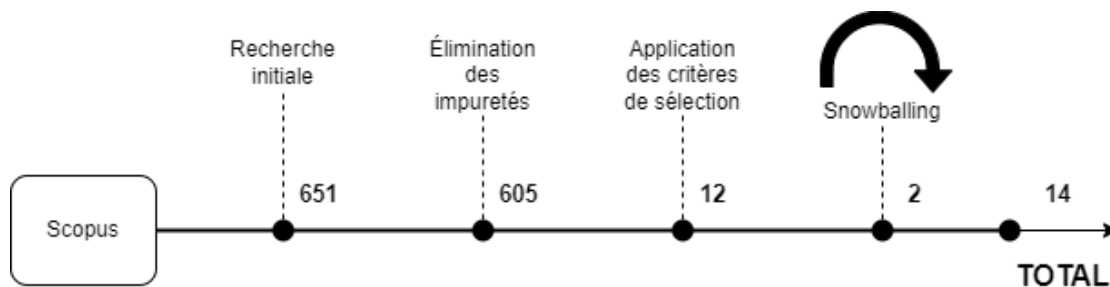


FIGURE 2.1 : Procédure de mappage systématique.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

1. Recherche initiale Comme déjà mentionné, notre processus de recherche initial a été effectué à l'aide de la base de données Scopus. Cette base de données indexe plusieurs articles scientifiques et recouvre un nombre important de travaux d'une grande pertinence dans le domaine de l'ingénierie informatique [12]. En accédant à la base de données, nous avons effectué notre recherche en utilisant les paramètres décrits ci-dessous, pour renvoyer une liste d'études sur le sujet.

**TITLE-ABS-KEY("dashboard" AND "software") AND
(LIMIT-TO(SUBJAREA,"COMP"))**

La recherche effectuée avec ces paramètres a renvoyé une liste contenant plusieurs études sur le thème des tableaux de bord liés aux logiciels et appartenant au domaine de l'informatique. À partir de ces résultats, nous avons pu analyser les articles scientifiques et identifier ceux qui étaient pertinents selon nos critères de sélection.

2. Élimination des impuretés Après avoir obtenu la liste des études directement de la base de données, nous avons extrait les données au format CSV et utilisé l'outil Microsoft Excel pour en visualiser, manipuler et filtrer les données. Avec le support de cet outil, nous avons pu

vérifier l'existence de données manquantes dans certains éléments de la liste extraite. Nous avons ensuite supprimé manuellement les enregistrements des éléments incomplets, ne laissant que les études contenant des informations correctes et complètes sur leur contenu.

3. Application des critères de sélection À ce stade du processus, des critères de sélection ont été appliqués pour éliminer les articles non désirés et inclure des études conformes au sujet et le but de la recherche. Nous avons utilisé les critères d'inclusion et d'exclusion définis dans la liste ci-dessous.

1. Inclusion : Toutes les études se référant à la qualité ou à l'évaluation des logiciels et qui utilisent des tableaux de bord.
2. Inclusion : Toutes les études qui évaluent les tableaux de bord
3. Exclusion : Toutes les études liées aux domaines autres que le génie logiciel.

4. Snowballing La recherche de mappage systématique s'est conclue par l'exécution de l'étape *snowballing* [13]. Cette étape a été effectuée pour vérifier une fois de plus s'il y avait des études liées au sujet qui n'avaient pas encore été trouvées. Nous avons utilisé une technique qui consiste à vérifier les références et les citations des études précédemment sélectionnées, en créant une nouvelle liste avec ces études. Ensuite, nous avons parcouru cette nouvelle liste d'études et utilisé les critères d'inclusion et d'exclusion pour identifier les études potentielles non vérifiées qui devraient être incluses dans ce travail.

À partir des 12 études sélectionnées jusqu'à présent, nous avons commencé la première série de *snowballing* [13] en arrière et en avant. Cette série consiste à lister les ouvrages cités en référence dans les 12 études sélectionnées et à regrouper avec la liste des ouvrages citant au moins 1 des 12 études sélectionnées. Après cette vérification nous avons obtenu un total de

264 fiches, au vue de ce retour nous avons pu commencer à filtrer et sélectionner les œuvres qui correspondent à notre recherche. Le résultat de cette action a abouti à 2 études, qui ont satisfait aux critères de recherche et ont été sélectionnées.

Basés sur 2 nouvelles études sélectionnées, nous avons commencé la deuxième série de *snowballing* [13] en arrière et en avant. Après avoir répertorié les citations et les références de ces ouvrages, nous avons obtenu un retour de 119 ouvrages, dont 2 ont ensuite été écartés pour avoir été répétés, et dont 117 œuvres étaient valides. Après filtrage et sélection de ces 117 études, nous n'avons identifié aucune étude répondant à nos critères de sélection pour être regroupée avec les études sélectionnées.

Par conséquent, notre étape *snowballing* [13] a été complétée par l'ajout de 2 nouveaux travaux à notre liste actuelle de 12 études sélectionnées, ce qui a résulté en un total de 14 études sélectionnées, comme le montre la figure 2.1.

2.1.2 EXTRACTION DES DONNÉES

L'étape d'extraction des données a été réalisée pour identifier et capturer les informations de chaque étude, en évaluant en détail les points focaux des travaux. L'extraction d'informations à partir de ces études sélectionnées nous fournit les connaissances nécessaires pour répondre à certaines questions de recherche dans notre travail. Nous visons alors à rechercher les arguments théoriques pour répondre aux 3 points suivants :

Évaluations existantes (QR1) Le paramètre considéré pour analyser et collecter des données sur les études existantes dans la littérature sur l'évaluation des tableaux de bord de qualité de logiciel était : Existent-t-il des études sur l'évaluation des tableaux de bord de qualité de logiciel dans la littérature ?

Principales propriétés (QR2) Le paramètre considéré pour analyser et collecter des données sur les principaux attributs et caractéristiques d'un tableau de bord bien conçu à la lumière de la littérature était : Quelles sont les principales propriétés d'une bonne visualisation ?

Modèle d'évaluation (QR3) Le paramètre pris en compte pour analyser et collecter des données sur les meilleures pratiques pour développer et exécuter une évaluation des tableaux de bord de qualité de logiciel était : comment réaliser une évaluation des tableaux de bord en utilisant les bonnes pratiques de la littérature ?

2.1.3 SYNTHÈSE DES DONNÉES

L'étape de synthèse des données est celle où l'information sur les études trouvées est recueillie, à travers la réalisation d'une synthèse de ces connaissances. Cette synthèse a été réalisée par la technique de synthèse narrative, où la lecture et une interprétation sont faites dans un résumé expliquant les principales informations contenues dans les études sélectionnées. Ensuite, nous pouvons observer la synthèse de chacun des 14 ouvrages, qui sont classés par ordre décroissant d'année de publication.

L'étude menée par López et al. [8] a présenté le QaSD, un tableau de bord stratégique de qualité qui aide les décideurs dans le développement de logiciel Agile. Le tableau de bord a été développé pour analyser les indicateurs liés à la qualité du logiciel, la qualité du code, la performance, en plus de mesurer, explorer, simuler et prédire les valeurs de ces indicateurs, générant une base d'informations pour soutenir la prise de décision. L'étude montre également les résultats d'une évaluation menée dans 4 entreprises, pour démontrer l'efficacité du tableau de bord dans un environnement réel.

Les travaux de Rosati et al. [14] visent à proposer une intégration entre les réseaux de capteurs IoT et BIM avec un accent particulier sur la surveillance des paramètres de la qualité

de l'air, en s'appuyant sur des approches évolutives. Grâce à un outil de visualisation appelé modeleur/tableau de bord BIM, les occurrences dans les capteurs IoT sont surveillées. Cette vérification peut être effectuée à la fois en temps réel et en analysant les données historiques. Ce projet de recherche a conduit à la création d'un hub BIM de détection et de modélisation pour démontrer la validité du concept.

Syed-Mohamad et Md. Akhir [15] ont prolongé les travaux antérieurs sur un modèle analytique basé sur la couverture des tests et des défauts. Cette étude a été utilisée avec succès pour déterminer l'état de préparation des versions logicielles dans les projets de développement de logiciels basés sur des demandes d'extraction. En développant l'étude précédente, les auteurs ont inclus des indicateurs de couverture des demandes d'extraction dans un prototype de tableau de bord. Cela a permis aux développeurs de prendre des décisions sur l'analyse des demandes dans un test effectué dans un environnement commercial.

Pavlinić et Skorin-Kapov [16] ont réalisé une étude qui analyse l'infrastructure du réseau déployée dans une école secondaire par un projet pilote appelé e-schools. Cette analyse est réalisée en conjonction avec un examen de la qualité de l'expérience dans trois scénarios, qui simulent le comportement habituel des étudiants et des enseignants, tout en observant le comportement de l'infrastructure du réseau via un tableau de bord du système. Cette évaluation servira de base pour développer une méthodologie de test appropriée à appliquer à d'autres écoles participant au programme e-schools.

Martínez-Fernández et al. [17] présentent dans cette étude un outil d'analyse logicielle Q-Rapids, conçu pour intégrer des modèles de qualité et mettre les résultats à la disposition des professionnels de la qualité de logiciel. L'outil a été mis en place par quatre entreprises, un groupe de professionnels a été sélectionné pour vérifier le niveau de réceptivité et d'utilisation.

Finalement, l'étude a montré des résultats positifs sur l'utilisation de l'outil et ses avantages pour l'adoption de modèles de qualité dans les outils d'analyse de logiciels.

L'étude de Putra et al. [18] a effectué une évaluation de l'utilisabilité dans les tableaux de bord d'analyse d'apprentissage pour comparer deux panneaux. Pour cela deux panneaux ont été développés, l'un organisé en fonction de la corrélation entre les métriques et l'autre dont l'organisation était définie de manière aléatoire. Les tableaux de bord ont été analysés à l'aide de techniques d'évaluation qualitatives et quantitatives, visant les résultats pour le domaine de l'éducation et cette évaluation a été faite à partir de la disposition des éléments du tableau de bord dans un projet de cours de développement de logiciels..

Ulan et al. [19] ont présenté une approche pour évaluer la qualité des logiciels basée sur des distributions conjointes de valeurs métriques. L'étude montre qu'en utilisant des visualisations pour analyser les distributions, l'utilisateur est capable d'explorer les caractéristiques de qualité des systèmes logiciels et d'effectuer de meilleures analyses. Cette approche a été explorée à travers deux cas d'utilisation réalisés dans cette étude et a donné des résultats positifs concernant la détection des problèmes de qualité.

Pham et al. [20] ont développé une étude basée sur la diffusion de la culture de test et une proposition pour rendre visible la culture de test de l'équipe, en intégrant un tableau de bord à l'IDE des développeurs juniors pour afficher de manière visible comment les développeurs seniors effectuent leurs tests. Une évaluation est effectuée auprès de quelques jeunes diplômés pour vérifier l'efficacité de la proposition.

Dans leur travail, Serhani et al. [21] ont proposé un schéma de surveillance du nuage pour surveiller la qualité de service. Au cours de l'étude, une évaluation expérimentale a été réalisée sur une plateforme au nuage réelle pour illustrer les performances. L'outil fonctionne des deux côtés, consommateur et fournisseur. Pour le consommateur, il surveille et détecte

les violations de SLA, pour le fournisseur, il existe un schéma de surveillance où un tableau de bord avec des indicateurs est disponible pour gérer les performances de leurs plateformes SaaS et visualiser les données de surveillance.

Limberger et al. [22] ont réalisé une étude portant sur un système de traitement basé sur le Web pour les cartes de logiciels, visant l'utilisation dans les référentiels de code source et les plateformes de collaboration. Le projet vise à corriger un problème qui existe actuellement, car les outils qui peuvent inclure des cartes de logiciels ne sont disponibles que comme des applications autonomes. Le système est intégré aux tableaux de bord pour démontrer que l'approche basée sur le Web rend les cartes de logiciels plus accessibles aux personnes intéressées par les projets de génie logiciel.

Clarke et al. [23] ont montré dans leur étude le Computational Sciences Environment (CSE), qui a été développé pour fournir une plateforme de développement standard pour l'analyse de données, la visualisation, les tests et l'évaluation de logiciels. Pour ce développement, un ensemble d'outils et d'applications d'analyse de données open source, d'outils de test et de gestion de logiciels, de référentiels de logiciels et de panneaux de contrôle de la qualité des logiciels en ligne ont été mis en place. L'objectif principal de l'outil est de soutenir les équipes de développement distribué.

Ramler et al. [24] ont réalisé une étude qui aborde les différents aspects des tableaux de bord dans l'environnement de contrôle des projets logiciels, depuis l'architecture, les fonctionnalités et leur implémentation avec un logiciel libre dans le domaine de l'Intelligence d'affaires. Puis son étude montre les enseignements tirés et l'évaluation des bénéfices du tableau de bord (appelé cockpit de logiciel) dans le cadre d'une société de développement logiciel.

Dans leur étude, Heidrich et Münch [25] ont observé et exploré l'approche Specula, qui est une approche systématique pour définir des composants de contrôle personnalisables, les instancier en fonction de différents objectifs et caractéristiques organisationnelles basées sur le paradigme de l'amélioration de la qualité. L'article analyse cette approche par rapport à d'autres et présente les résultats de l'évaluation d'usage dans le cadre d'études de cas d'utilisation industrielle.

McCoy [26] a développé un outil web de cas d'utilisation d'exigences multi-utilisateurs qui vise à aider les utilisateurs (gestionnaires, développeurs et personnes qualifiées) à évaluer la qualité des cas d'utilisation. L'outil sert également de référentiel de cas d'utilisation, fournit une série de métriques pour calculer des informations sur les relations entre les cas d'utilisation collectés et l'utilisation du tableau de bord afin de fournir aux gestionnaires la possibilité de faire une analyse rapide et concise d'un projet en visualisant divers cas d'utilisation métrique.

2.2 RÉSULTATS

Dans cette section, les résultats de ce que cette étude de mappage nous a apporté de connaissances sur le sujet sont présentés.

Avec les résultats obtenus par le mappage, nous avons acquis des informations et des bases théoriques pour répondre à certaines de nos questions de recherche ; même si elles ne sont pas toutes entièrement répondues dans ce chapitre, elles le seront dans les chapitres suivants.

TABLEAU 2.1 : Liste d'études du résultat du mappage.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Auteur	Titre	Année
López et al. [8]	QaSD : A Quality-aware Strategic Dashboard for supporting decision makers in Agile Software Development	2021
Rosati et al. [14]	Air Quality Monitoring in a BIM model by means of a IoT Sensors Network	2020
Syed-Mohamad et Md. Akhir [15]	SoReady : An Extension of the Test and Defect Coverage-Based Analytics Model for Pull-Based Software Development	2019
Pavlinić et Skorin-Kapov [16]	Network and service performance case study in a high school equipped in the scope of the pilot project E-schools	2019
Martínez-Fernández et al. [17]	Continuously Assessing and Improving Software Quality with Software Analytics Tools : A Case Study	2019
Putra et al. [18]	Evaluation of learning analytics metrics and dashboard in a software engineering project course	2018
Ulan et al. [19]	Quality Models Inside Out : Interactive Visualization of Software Metrics by Means of Joint Probabilities	2018
Pham et al. [20]	Communicating software testing culture through visualizing testing activity	2015
Serhani et al. [21]	Towards an adaptive QoS-driven monitoring of cloud SaaS	2014
Limberger et al. [22]	Interactive software maps for web-based source code analysis	2013
Clarke et al. [23]	A common computational science environment for high performance computing centers	2010
Ramler et al. [24]	Concept, implementation and evaluation of a web-based software cockpit	2010
Heidrich et Münch [25]	Goal-oriented customization of software cockpits	2010
McCoy [26]	Requirements Use case Tool (RUT)	2003

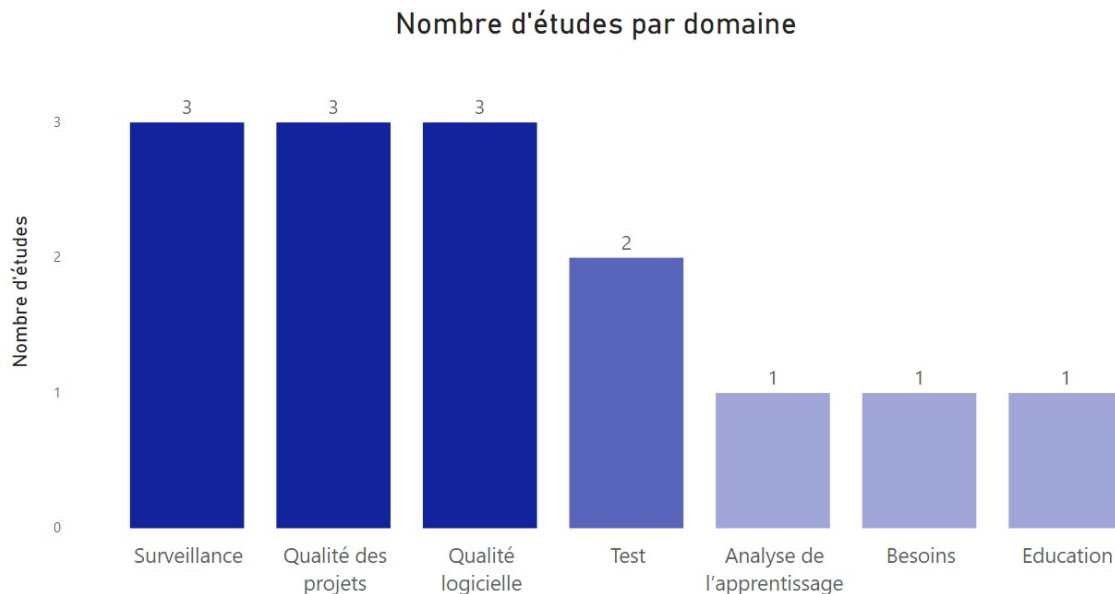


FIGURE 2.2 : Études du mappage systématique par domaine.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Comme le montre le graphique de la figure 2.2, nous trouvons des études qui parlent de l'utilisation, de l'évaluation et de la qualité des tableaux de bord dans divers domaines, tels que l'Analyse d'apprentissage, Qualité de Projets/Logiciel, Test Logiciel, Surveillance et dans le domaine de l'éducation. Bien qu'ils soient différents, ils ont tous un objectif commun, le développement d'un tableau de bord pour communiquer efficacement les données.

À partir du graphique de la figure 2.2 représentant les domaines d'activité parmi les études de notre mappage, nous pouvons voir que les domaines ayant le plus grand nombre de travaux étaient la qualité des logiciels, la qualité des projets et la surveillance, chacun avec 3 études développées. Puis, 2 études apparaissent dans le domaine des tests de logiciels et dans

les domaines de l'éducation, de l'analyse de l'apprentissage et des exigences avec 1 étude chacune. Cela montre que bien qu'il existe des domaines qui utilisent davantage les tableaux de bord, comme celui de la qualité de logiciel; ces visualisations sont également de plus en plus présentes dans d'autres domaines.

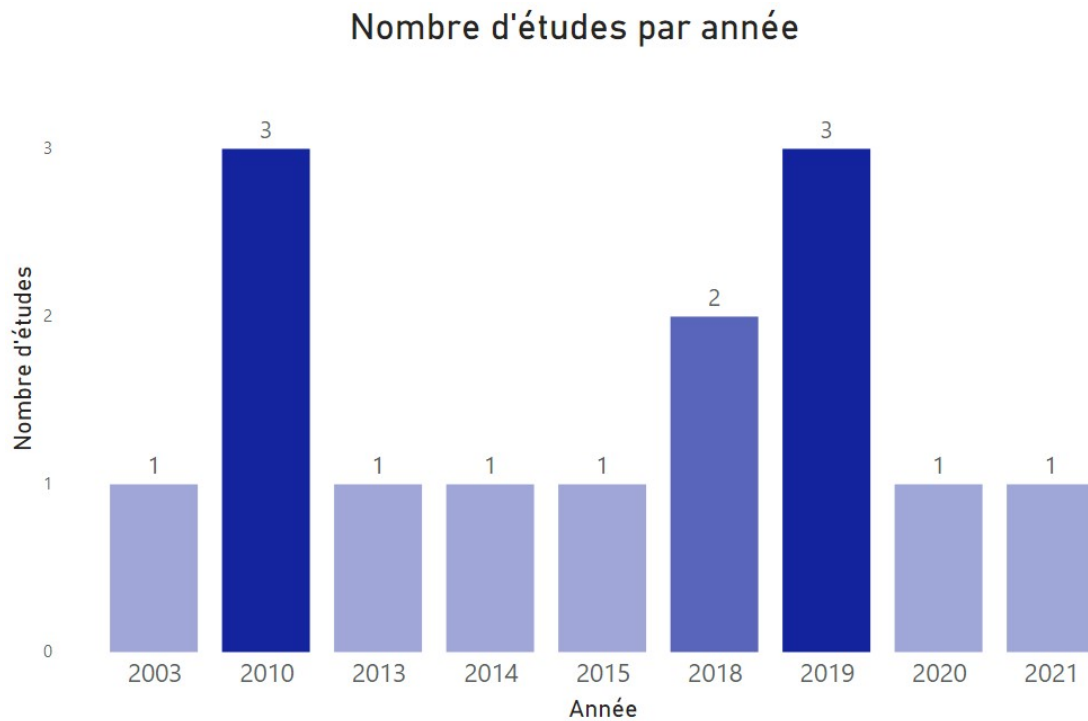


FIGURE 2.3 : Études du mappage systématique par an.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Après cette conclusion, nous nous sommes également intéressés à comprendre comment le milieu universitaire a accepté de nouveaux projets impliquant des tableaux de bord au fil des ans. Par conséquent, même avec les études sélectionnées ici, nous avons créé un nouveau graphique (figure 2.3) pour nous montrer comment les travaux sont disposés entre les années. Le résultat montre que le milieu universitaire a montré un plus grand intérêt ces dernières

années pour les études qui font une sorte d'évaluation sur des tableaux de bord ou celles qui utilisent des tableaux de bord pour améliorer la qualité de l'analyse des informations dans leurs projets.

Avec les informations obtenues jusqu'à présent dans cette étude, nous pouvons répondre à notre première question de recherche, (QR1) Existence-t-il des études évaluant les tableaux de bord de qualité de logiciel dans la littérature ?

L'un des principaux résultats de cette étude menée dans le cadre du mappage systématique est qu'il n'existe pas d'étude spécifique sur l'évaluation des tableaux de bord pour le domaine de génie logiciel. Il existe des études qui parlent de l'utilisation de tableaux de bord dans plusieurs domaines tels que l'analyse de l'apprentissage, la qualité des logiciels, la surveillance, entre autres tels que nous avons pu le voir sur la figure 2.2 et un seul des travaux implique une évaluation du tableau de bord. Cependant, cette étude a été réalisée pour tirer parti de l'analyse pour le domaine de l'éducation et l'évaluation était basée sur la disposition des éléments du tableau de bord, le changement de position des widgets et des filtres, mais sans tenir compte des bonnes pratiques pour le développement d'un tableau de bord.

Cela confirme que l'utilisation de tableaux de bord pour améliorer l'analyse de l'information continue d'être importante et présente, non seulement dans l'industrie mais aussi dans la littérature, avec plusieurs études citant et utilisant des tableaux de bord dans leurs projets, comme on peut le voir dans ce mappage systématique. Il est indiscutable que des tableaux de bord élaborés avec qualité et bien structurés sont cruciaux pour une communication efficace des informations.

Compte tenu de la popularité et de l'importance des tableaux de bord dans plusieurs projets de génie logiciel, cela réaffirme que notre recherche pour développer une méthodologie d'évaluation de ces tableaux de bord est un outil à fort potentiel d'importance, car il a

l'opportunité d'apporter une valeur ajoutée aux projets en cours et à venir, qui visent à évaluer, voire développer, des tableaux de bord de qualité respectant les bonnes pratiques décrites dans la littérature.

CHAPITRE III

CRITÈRES D'ÉVALUATION

Dans ce chapitre, nous cherchons à identifier les principales caractéristiques que doit avoir un tableau de bord pour être considéré comme bien développé et efficace selon les meilleures pratiques de la littérature. Avec les informations présentées dans ce chapitre, nous allons répondre à notre deuxième question de recherche (QR2).

Les études existantes sur les tableaux de bord dans la littérature nous montrent qu'il existe de nombreuses façons de développer un tableau de bord. Cependant, l'intention de ce chapitre est d'identifier les caractéristiques afin que le tableau de bord puisse accomplir l'une de ses principales ressources, apporter une bonne expérience de transmission d'informations à l'utilisateur final.

Les informations présentées par un tableau de bord sont d'une importance primordiale pour les utilisateurs, car à partir de ces informations, des décisions peuvent être prises et des stratégies élaborées pour l'évolution, les corrections ou les changements d'un système donné [27]. Pour cette raison, il faut que le groupe spécial communique les informations de manière claire et objective [5]. De cette manière, l'analyse des avantages et des inconvénients des alternatives de décision peut être effectuée, en mettant en évidence les facteurs qui méritent d'être pris en compte. Et fournir des informations pour faciliter son intégration dans les délibérations décisionnelles [6]. Dans la section 3.1, nous présenterons les critères de sélection pour l'évaluation des tableaux de bord.

3.1 SÉLECTION DE CRITÈRES

En réfléchissant aux facteurs qui rendent un tableau de bord important et utile pour l'utilisateur final, qu'il soit utilisateur, développeur ou gestionnaire, nous cherchons à établir des critères bien définis. Pour mener à bien l'élaboration d'une méthode d'évaluation, il a été nécessaire de rechercher dans la littérature des signes des caractéristiques inhérentes aux tableaux de bord et sur cette base, d'élaborer les critères d'évaluation.

3.1.1 PROCÉDURE DE RECHERCHE DANS LA LITTÉRATURE

Nous avons recherché dans la littérature sur les études, y compris les articles et les livres qui indiquent les besoins caractéristiques de bonnes pratiques dans le développement de tableaux de bord. En plus des études trouvées dans la recherche initiale de notre revue de la littérature du chapitre précédent, nous avons utilisé des travaux dans le domaine des tableaux de bord qui font référence à des études importantes en matière d'analyse et de définitions de bons attributs dans les tableaux de bord, tels que le travaux de Few [5] et Wexler et al. [6].

Cette recherche nous a apporté les premiers résultats sur la manière dont les tableaux de bord sont destinés à aider à la prise de décision, en montrant des présentations graphiques pour contribuer de façon effective, en fournissant des informations de qualité et de manière accessible au public. À partir de ces données, nous condensons d'abord ce résultat en 9 grandes lignes directrices de bonnes pratiques, en ce qui consiste dans l'élaboration d'un tableau de bord.

Les 9 directives peuvent être observées au tableau 3.1 ci-dessous.

TABLEAU 3.1 : Liste de directives de bonnes pratiques.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Code	Directives
D1	Un tableau de bord est un affichage visuel des informations les plus importantes nécessaires et doit être consolidé et organisé sur un seul écran.
D2	Les informations contenues dans un tableau de bord sont présentées visuellement, généralement sous la forme d'une combinaison de texte et de graphiques, mais en mettant l'accent sur les graphiques.
D3	L'information doit être disponible rapidement et facilement afin qu'elle puisse être comprise rapidement.
D4	Si un graphique ou un tableau répond mieux à l'exigence d'une information particulière, il doit être utilisé.
D5	Tableaux de bords transforment les référentiels de données en informations consommables pour le public cible.
D6	Les tableaux de bords sont un outil puissant de présentation des KPIs (Indicateur Clé de Performance).
D7	Les choix de couleurs doivent être faits avec soin, certaines couleurs sont chaudes et attirent davantage l'attention sur nos yeux, tandis que d'autres sont plus froides et finissent par être moins visibles ou attirantes.
D8	Si les couleurs de deux sections différentes d'un tableau de bord sont identiques, ces informations doivent être liées.
D9	Les panneaux doivent utiliser des palettes compatibles avec les daltoniens pour éviter d'exclure les personnes ayant une déficience visuelle.

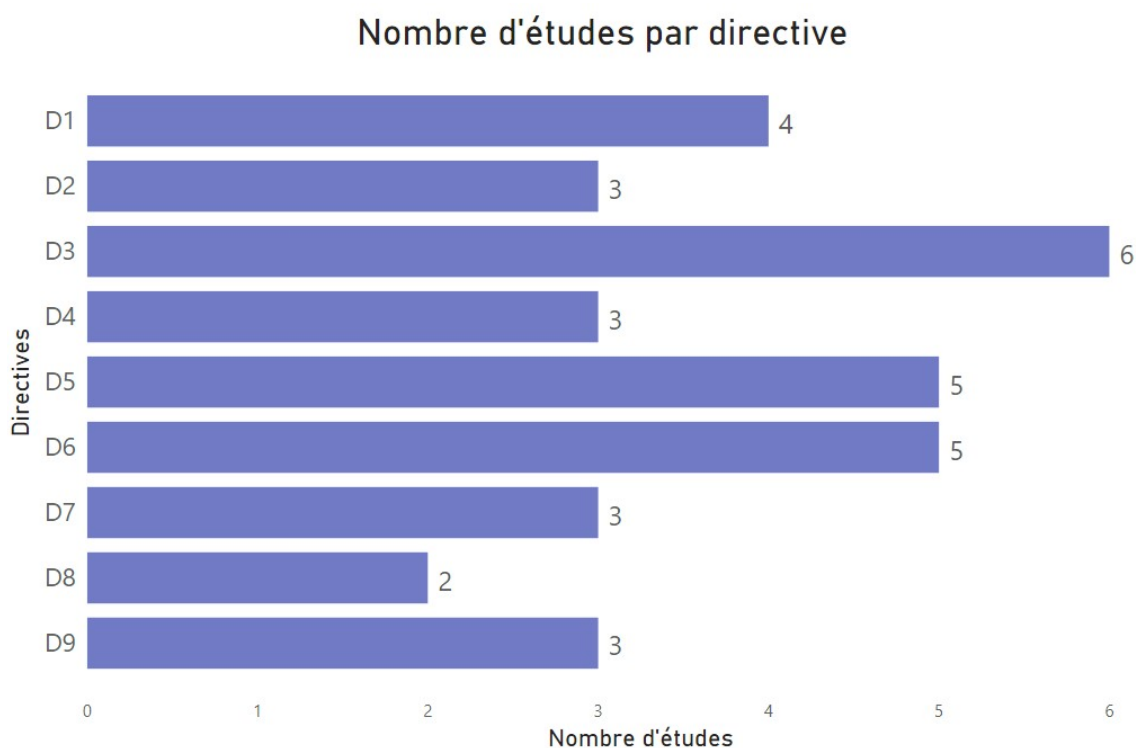


FIGURE 3.1 : Graphique de quantité d'études par directive.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

La figure 3.1 montre le nombre d'études au cours des dernières années, qui ont fait référence du moins à l'une des directives dans leurs publications. Nous avons tenu compte non seulement de la quantité, mais aussi de la qualité de ces directives. À partir de ces études, nous avons pu définir les directives qui donneront ensuite lieu à nos critères d'évaluation.

Dans le tableau 3.2 nous pouvons analyser plus en détail quelles études font référence aux directives. Il est important de noter que la colonne « Code » du tableau 3.1 est directement associée à la colonne « Code » du tableau 3.2.

TABLEAU 3.2 : Liste d'études référenciant les directives.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Code	Études référence
D1	Papacharalampopoulos et al. [28], Valks et al. [29], Bayrak [30], Few [5]
D2	Lamer et al. [31], Nadj et al. [32], Few [5]
D3	Barbeito et Segall [33], Thoma et al. [34], Preuss et al. [35], Ladu [36], Simpson et al. [37], Few [5]
D4	Lamer et al. [31], Barbeito et Segall [33], Few [5]
D5	Vázquez-Ingelmo et al. [38], Souza et Lima [39], Ladu [36], Langer et al. [27], Few [5]
D6	Vázquez-Ingelmo et al. [38], Souza et Lima [39], Ladu [36], Langer et al. [27], Few [5]
D7	Simpson et al. [37], Gashi et al. [40], Few [5]
D8	Sahin et Ifenthaler [41], Few [5]
D9	Kulkarni et Gkountouna [42], Few [5], Wexler et al. [6]

Ensuite, nous avons fait l'analyse au cas par cas de toutes les directives définies, cette analyse visait à trouver la caractéristique essentielle de ces directives. Nous avons regroupé les directives qui présentaient les plus grandes similitudes dans leur sens de base et avons ensuite défini chaque caractéristique, en leur attribuant un nom et en définissant ainsi nos critères.

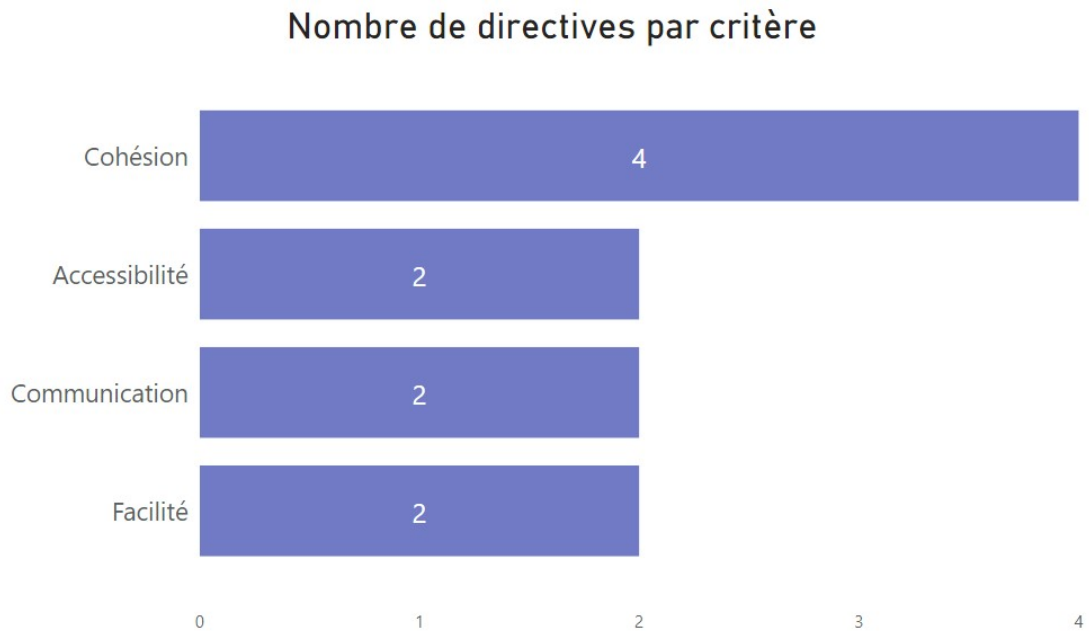


FIGURE 3.2 : Graphique de quantité de directives par critère.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Le graphique 3.2 nous montre combien de directives sont associées à chaque critère. En faisant ce regroupement, nous avons identifié quelles directives correspondaient à chaque critère. Dans un des cas nous avons vérifié qu'une des directives (D8) était associée à deux des critères. À la table 3.3, il est possible de vérifier plus en détail quelles directives sont associées à chacun des critères, tandis qu'à la table 3.4, on peut voir quelles études sont associées à chaque critère.

TABLEAU 3.3 : Tableau de critères et directives.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Critères	Directives
Accessibilité	Les panneaux doivent utiliser des palettes compatibles avec les daltoniens pour éviter d'exclure les personnes ayant une déficience visuelle.
	Si les couleurs de deux sections différentes d'un tableau de bord sont identiques, ces informations doivent être liées.
Cohésion	Les choix de couleurs doivent être faits avec soin, certaines couleurs sont chaudes et attirent davantage l'attention sur nos yeux, tandis que d'autres sont plus froides et finissent par être moins visibles ou attirantes.
	Les informations contenues dans un tableau de bord sont présentées visuellement, généralement sous la forme d'une combinaison de texte et de graphiques, mais en mettant l'accent sur les graphiques.
	Si les couleurs de deux sections différentes d'un tableau de bord sont identiques, ces informations doivent être liées.
	Si un graphique ou un tableau répond mieux à l'exigence d'une information particulière, il doit être utilisé.
Communication	Tableau de bords transforme les référentiels de données en informations consommables pour le public cible.
	Les tableaux de bords sont un outil puissant de présentation des KPIs (Indicateur Clé de Performance).
Facilité	L'information doit être disponible rapidement et facilement afin qu'elle puisse être comprise rapidement.
	Un tableau de bord est un affichage visuel des informations les plus importantes nécessaires et doit être consolidé et organisé sur un seul écran.

3.2 CRITÈRES SÉLECTIONNÉS

TABLEAU 3.4 : Tableau de critères sélectionnés.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

caractéristiques	Études référence
Accessibilité	Kulkarni et Gkountouna [42], Sahin et Ifenthaler [41], Few [5], Wexler et al. [6]
Cohésion	Lamer et al. [31], Barbeito et Segall [33], Nadj et al. [32], Sahin et Ifenthaler [41], Simpson et al. [37], Gashi et al. [40], Few [5]
Communication	Vázquez-Ingelmo et al. [38], Souza et Lima [39], Ladu [36], Langner et al. [27], Few [5]
Facilité	Papacharalampopoulos et al. [28], Barbeito et Segall [33], Valks et al. [29], Thoma et al. [34], Bayrak [30], Preuss et al. [35], Ladu [36], Simpson et al. [37], Few [5]

Avec les informations obtenues jusqu'à présent dans cette étude, nous pouvons répondre à notre deuxième question de recherche (QR2). Quelles sont les principales propriétés d'une bonne visualisation ?

Nous aboutissons alors à un total de 4 caractéristiques essentielles (tableau 3.4) pour un tableau de bord, qui regroupent les principaux attributs, besoins ou qualités qui font la différence dans l'information du décideur. Un tableau de bord qui contient toutes ces caractéristiques correspond parfaitement aux meilleures pratiques de développement de tableau de bord à la lumière de la littérature actuelle.

CHAPITRE IV

MODÈLE D'ÉVALUATION DE TABLEAUX DE BORD

Dans ce chapitre, nous présentons la proposition de notre modèle d'évaluation de tableau de bord utilisant la méthode de décision multicritères. Cette méthodologie vise à rassembler les connaissances sur les tableaux de bord disponibles dans la littérature et à utiliser la méthode de décision multicritères pour effectuer l'évaluation entre les tableaux de bord. À la suite de ce chapitre, nous aurons répondu à notre troisième question de recherche (QR3).

Nous présenterons ensuite la méthode multicritères, qui fait partie de notre méthode d'évaluation et sera utilisée dans le chapitre suivant pour réaliser notre étude de cas. Par conséquent, ce chapitre est divisé en quatre parties : d'abord, nous présenterons la méthode AHP, ensuite, nous définirons les critères d'évaluation et puis les paramètres de ces critères et enfin, nous aborderons la méthode AHP et son application.

4.1 MÉTHODE AHP

Dans la réalité des entreprises ou dans le développement d'études, le processus de décision peut être très complexe, car il existe de multiples variantes à observer afin de faire un choix entre plusieurs alternatives. A titre d'exemple, pour définir si un tableau de bord est mieux construit qu'un autre, il faut analyser ses caractéristiques et se demander si elles respectent certains préceptes. C'est dans cette situation que la méthode multicritère aide le décideur, car elle standardise le processus décisionnel à l'aide de la modélisation mathématique.

L'une des méthodes les plus anciennes et les plus utilisées dans le domaine des décisions multicritères est l'Analyse Hiérarchique de Procédés (AHP), qui a été développée par Saaty [43] en 1980. L'AHP est basée sur la création d'un arbre de décision, pondérant d'éléments

et comparaison par paires entre critères. Les principaux avantages de cette méthode sont qu'en plus d'être facile à appréhender théoriquement et d'avoir une modélisation simple, sa modélisation ajoute des variables quantitatives et qualitatives [44]. Selon Johnson et al. [45], l'AHP se caractérise par sa fiabilité et sa simplicité, c'est pourquoi elle est devenue très populaire.

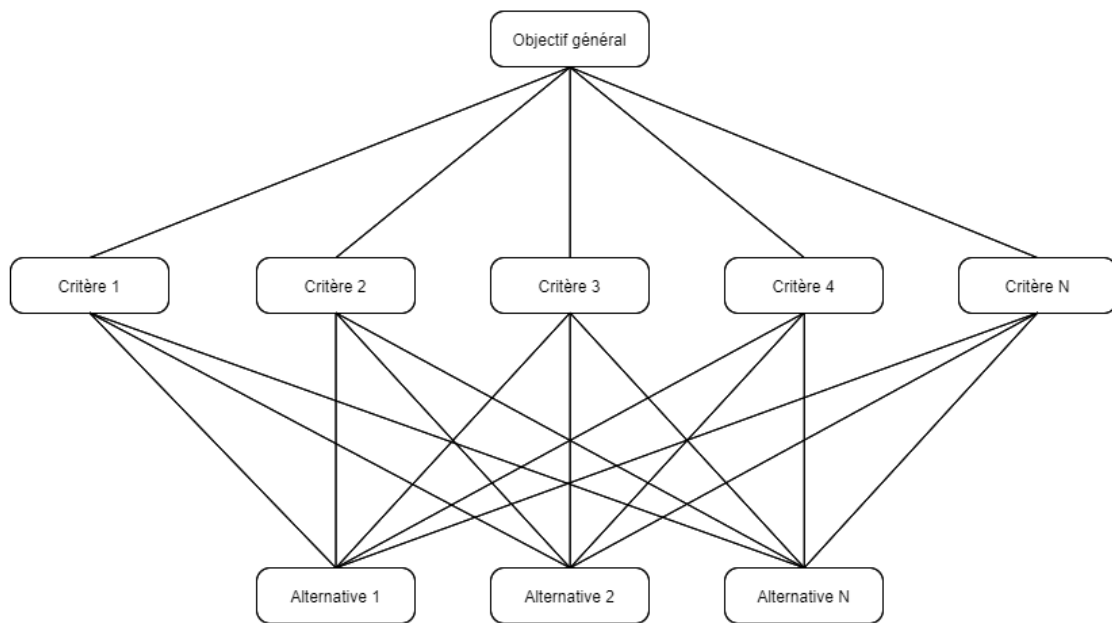


FIGURE 4.1 : Structure hiérarchique AHP classique.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

L'AHP permet aux décideurs de modéliser des problèmes complexes dans une structure hiérarchique (figure 4.1), où la relation entre l'objectif, les critères et les alternatives impliquant la décision sont représentés. Cette structure hiérarchique forme un arbre inversé, où le premier niveau représente le but ou l'objectif, le deuxième niveau est constitué de groupes de critères et le troisième niveau est constitué des alternatives de décision [46]. Grâce à cette méthode, le décideur est en mesure d'avoir une meilleure opportunité d'évaluer et de comprendre le problème de décision [47].

4.2 SÉLECTION DE CRITÈRES

Lors du choix entre plusieurs options pour un produit, des caractéristiques telles que le prix, la qualité et la durabilité, par exemple, doivent être prises en compte par le décideur. Ces caractéristiques sont appelées attributs et lorsque ces attributs présentent un minimum d'informations pertinentes sur l'objectif pour le décideur, ils sont considérés comme des critères. Un critère exprime, avec plus ou moins de précision, les préférences d'un agent de décision par rapport à un certain attribut [48].

À partir de l'étude réalisée au Chapitre III, nous avons recherché parmi les études existantes dans la littérature, quels attributs sont jugés importants pour qu'un tableau de bord se présente, et peut être considéré comme bien construit au regard de la littérature. En plus de nos 4 critères déjà définis dans le chapitre précédent, nous ajouterons un attribut pertinent pour l'analyse des tableaux de bord de qualité de logiciel, la couverture. Nous avons donc pour résultat les critères de notre modèle d'évaluation : Communication, Accessibilité, Cohésion, Facilité et Couverture.

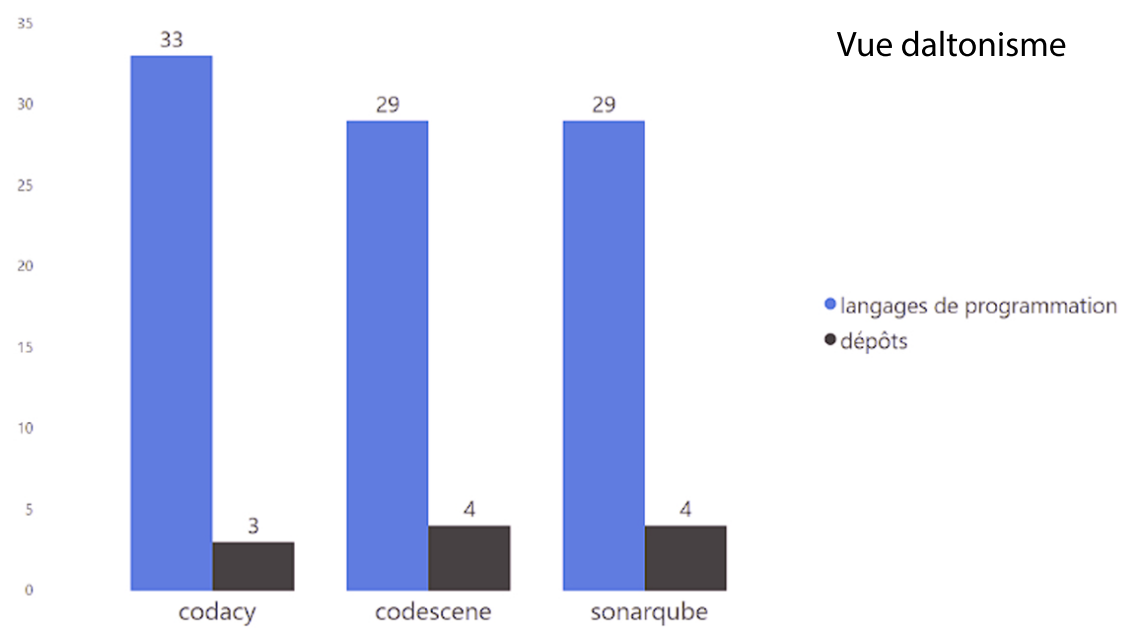
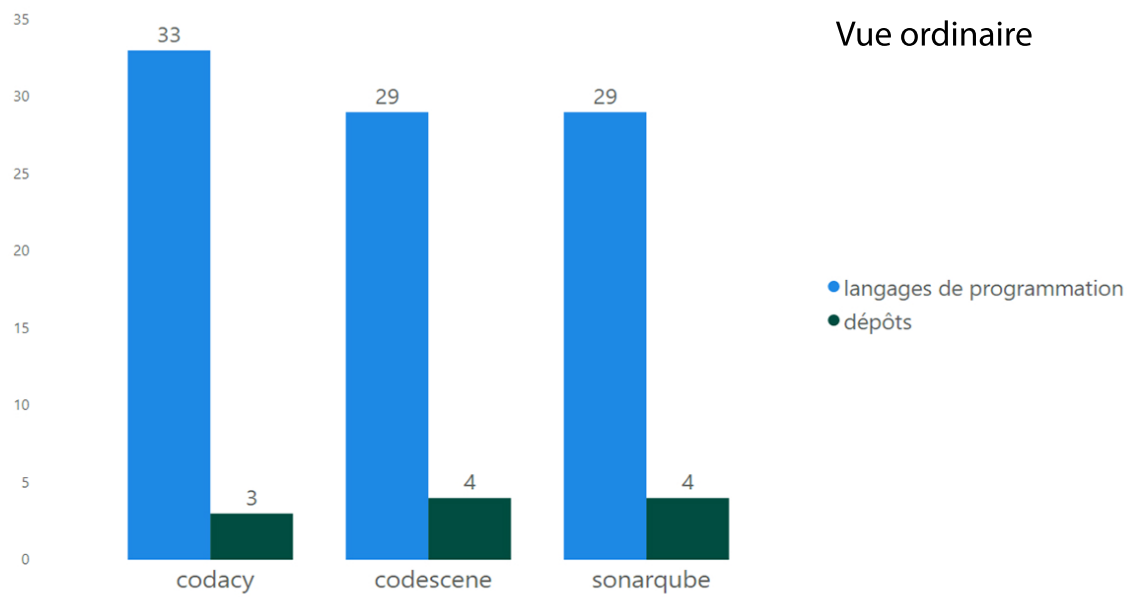
4.2.1 COMMUNICATION

Au cours de ces dernières années, les tableaux de bord ont été reconnus comme l'un des outils technologiques les plus puissants pour communiquer des informations importantes de manière simple et immédiate [36]. L'efficacité de la présentation visuelle est considérée comme l'une des caractéristiques les plus avantageuses des tableaux de bord pour le rapport à d'autres méthodes de livraison de données. Où de nombreux volumes de données sont présentés à travers un panel d'indicateurs de performance (KPIs) transformant les données en information pour l'utilisateur [27]. Nous avons donc retenu le critère « communication » pour

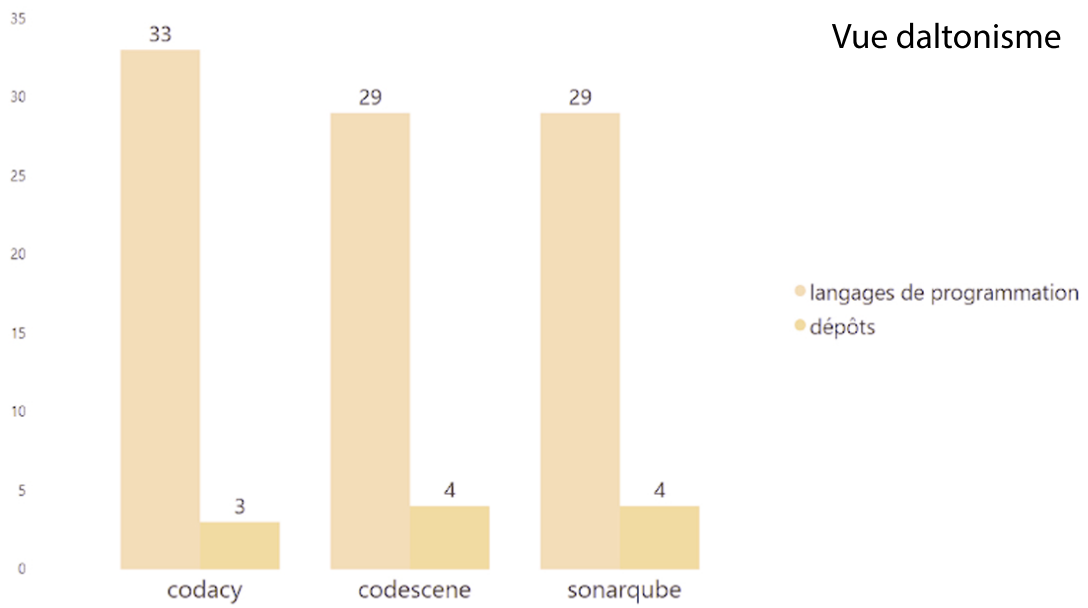
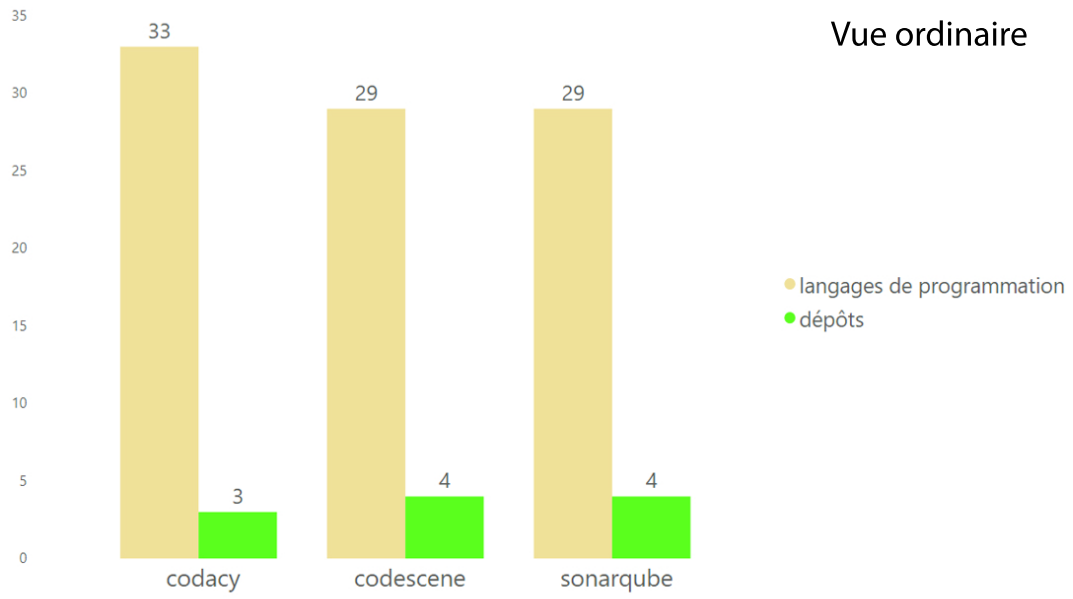
notre modèle, car des tableaux de bord sont réalisés afin d'atteindre l'objectif de transmission d'informations [39].

4.2.2 ACCESSIBILITÉ

Lorsque nous parlons de transmettre des informations à d'autres personnes, nous devons considérer qui est notre public cible, quels sont ses besoins et ses limites [42]. Dans le cas de projets avec tableaux de bord, nous supposons que nous pouvons utiliser n'importe quel type de couleur comme le rouge, le jaune et le vert pour attribuer des significations importantes aux données. Cependant, ce faisant, nous excluons les 10% d'hommes et 1% de femmes de la population qui souffrent de daltonisme [5]. Par conséquent, il est important d'observer non seulement les couleurs avec lesquelles nous devons afficher les informations, mais également la manière dont ces couleurs sont liées entre les graphiques [41]. Pour ces raisons, le critère « accessibilité » a été l'un de ceux retenus pour faire partie de notre modèle.



**FIGURE 4.2 : Exemple de couleurs inclusives.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022**



**FIGURE 4.3 : Exemple de couleurs non inclusives.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022**

4.2.3 COHÉSION

Dans plusieurs études, les couleurs du tableau de bord sont au centre des discussions importantes, et ce n'est pas pour rien, selon l'utilisation des couleurs, le tableau de bord peut devenir un succès ou un échec. Selon Simpson et al. [37] par exemple, en utilisant une teinte de plus en plus foncée dans un graphique pour les valeurs des tarifs mensuels, il est clair de faire la distinction entre des données plus récentes et des données plus historiques. Cependant, les couleurs ne sont pas le seul point d'attention lors de la construction d'un tableau de bord, les visualisations graphiques doivent également avoir du sens avec les informations présentées. Selon Lamer et al. [31], dans le développement de tableaux de bord, il est courant de s'appuyer sur la visualisation graphique des données, car un bon tableau de bord doit équilibrer la complexité visuelle et l'utilité de l'information.

4.2.4 FACILITÉ

C'est une caractéristique qui a été observée avec importance depuis les études plus anciennes sur les tableaux de bord, car ils fournissent la présentation d'informations sur les objectifs et les processus du sujet cible sur un seul écran, ce qui accélère et facilite la prise de décision [30]. Pour cela, il est essentiel que le tableau de bord soit construit en tenant compte de la facilité d'analyse, visant à rendre l'information accessible et transparente et afin que le bon message soit transmis au destinataire [34].

4.2.5 COUVERTURE

Nous avons retenu le critère « couverture », car dans l'analyse des tableaux de bord des applications de qualité de logiciel, l'objectif principal de l'outil est d'évaluer le système logiciel et ses nuances, y compris la gamme de langues que ce tableau de bord prend en charge

pour analyser et afficher, source de référentiels que les données et par conséquent que l’outil prend en charge pour évaluer. Partant de ce postulat, nous avons inclus ce critère de sélection dans notre modèle.

4.3 DÉFINITION DES PARAMÈTRES DES CRITÈRES

Après avoir sélectionné les critères, nous allons maintenant définir les paramètres pour chacun des critères suivants : Communication, Accessibilité, Cohésion, Facilité et Couverture. Cette définition de paramètre est importante, car elle indiquera comment chaque critère sera évalué lorsqu’il sera utilisé dans le modèle AHP au chapitre V.

4.3.1 COMMUNICATION

Pour analyser les critères de communication d’un tableau de bord, il est nécessaire de vérifier quels outils visuels utilise le tableau de bord en question. Les KPIs, par exemple, sont un excellent et puissant moyen de transmettre des informations de manière concise et efficace [27]. Un autre objectif principal de la communication est que lors du retour des informations attendues à l’utilisateur, ces informations doivent être visiblement accessibles et correctes [5], garantissant que l’utilisateur dispose des outils nécessaires pour analyser les informations disponibles.

4.3.2 ACCESSIBILITÉ

Les tableaux de bord sont développés pour atteindre un objectif principal, transformer les données en informations utiles pour l’utilisateur final [41]. Cependant, si l’utilisateur n’est pas en mesure de comprendre les informations présentées par les graphiques et les KPIs, le tableau de bord est voué à l’échec. L’accessibilité sera analysée en fonction du public cible

du tableau de bord évalué, ayant comme principaux objectifs l'utilisation de couleurs et de graphiques, tout en tenant compte d'éviter les pièges courants qui se produisent dans la plupart des constructions de tableaux de bord [42].

4.3.3 COHÉSION

Dans le critère « cohésion », l'analyse du tableau de bord se produit au fur et à mesure de l'affichage des données représentées. La manière efficace de présenter des informations complexes, selon Lamer et al. [31], est d'utiliser des représentations graphiques, car celles-ci sont plus appropriées que les tableaux et les figures. Les graphiques et les indicateurs doivent coexister au sein du tableau de bord, afin de s'entraider dans la transmission des informations souhaitées. Comme l'interaction entre les décideurs opérationnels et les systèmes d'aide à la décision se fait en grande partie par le biais d'interfaces utilisateur graphiques [32], il est important que les données d'un graphique qui se rapportent à d'autres éléments du tableau de bord soient liées et démontrent leur conformité [31].

4.3.4 FACILITÉ

Quelle que soit la complexité du tableau de bord, les informations doivent être organisées de manière claire et objective [29]. L'utilisation des couleurs est une caractéristique que l'on peut évaluer dans le critère « facilité ». Parce que les couleurs d'arrière-plan contrastées mélangées à une intensité progressive, la saturation, la luminosité et la transparence permettent une plus grande concentration et une plus grande attention aux tendances dans les données [37], attirant rapidement l'attention de l'utilisateur sur les tendances, et rendant la tâche d'analyse plus productive.

4.3.5 COUVERTURE

Pour définir la « couverture », nous devons consulter la documentation ou le site Web de l’outil de qualité de logiciel, pour évaluer quels et combien de langages de programmation et de référentiels sont pris en charge. Les tableaux de bord des outils de qualité de logiciel sont conçus pour analyser le système dans son ensemble et afficher des indicateurs, des graphiques et des données issus de cette analyse. Cependant, un facteur important pour une évaluation dans ce cas est la capacité de l’outil à analyser plusieurs langages de programmation. En termes de couverture, le tableau de bord qui a la plus grande capacité d’évaluation par rapport aux différents systèmes et référentiels linguistiques aura un avantage sur les autres.

4.4 L’UTILISATION DE LA MÉTHODE AHP

Au début de ce chapitre, nous avons indiqué que la méthode AHP est une méthode multicritères, ce qui signifie qu’elle aide à prendre une décision entre 2 ou plusieurs options. Grâce à des comparaisons par paires, il fournit au décideur une évaluation pour sélectionner la meilleure alternative [47]. Selon Saaty [49], cette méthode est divisée en cinq étapes.

Les cinq étapes du processus sont listées ci-dessous. Par la suite, nous expliquerons comment appliquer chaque étape.

1. Construction de la hiérarchie décisionnelle
2. Évaluation par les pairs des critères
3. Estimation de l’importance relative des critères
4. Détermination du niveau de préférence des alternatives
5. Valorisation globale des alternatives

4.4.1 CONSTRUCTION DE LA HIÉRARCHIE DE DÉCISION

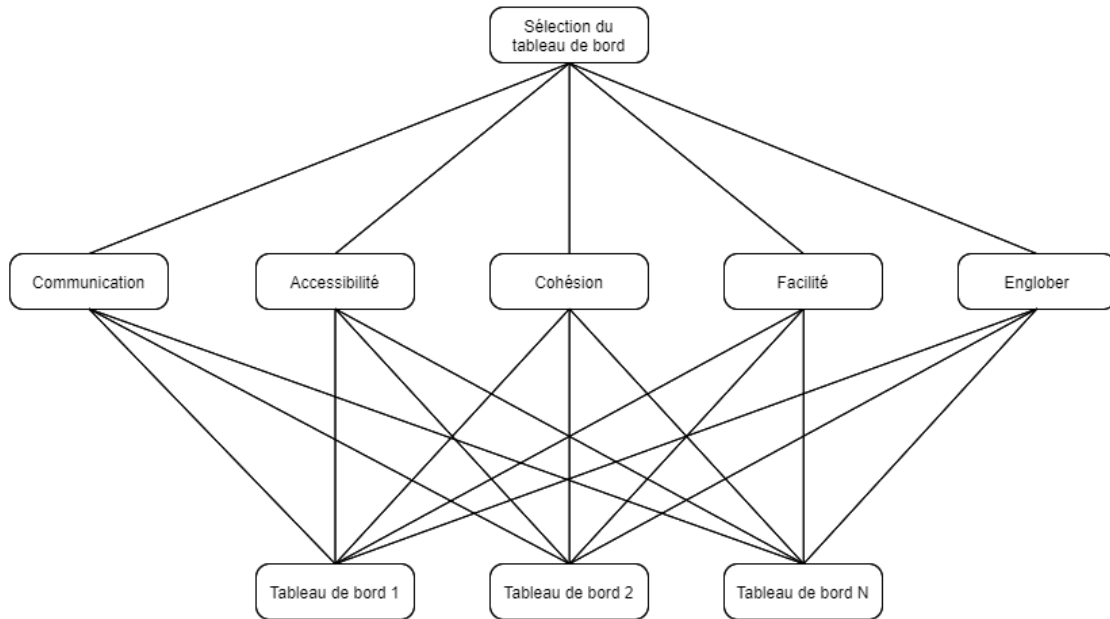


FIGURE 4.4 : Structure hiérarchique du modèle d'évaluation de tableau de bord.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Selon la structure hiérarchique standard de la méthode AHP, le début de la hiérarchie représente un critère de synthèse ou objectif global. Dans les niveaux successivement inférieurs, les critères qui ont un certain impact sur le critère du niveau supérieur (objectif) sont positionnés. Au dernier niveau de la hiérarchie doivent se trouver les alternatives envisagées pour décision [47].

Dans la figure 4.4 nous construisons notre structure hiérarchique, au premier niveau nous plaçons notre objectif global « Sélection du tableau de bord ». Ensuite, au niveau inférieur, nous incluons nos 5 critères sélectionnés, résultats du Chapitre III et de la Section 4.2. Au dernier niveau, les tableaux de bord qui seront évalués comme alternatives ont été inclus.

4.4.2 ÉVALUATION PAIRE-À-PAIRE DES CRITÈRES

Après avoir construit la hiérarchie de décision, chaque décideur doit effectuer une comparaison par paires de chaque élément à un niveau hiérarchique, créant une matrice de décision carrée [49]. Dans cette matrice, le décideur représentera, à partir d'une échelle prédéfinie (tableau 4.1), sa préférence parmi les éléments comparés, sous le focus d'un élément de niveau immédiatement supérieur [47].

TABEAU 4.1 : Échelle fondamentale de comparaison binaire de Saaty [46].
Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur

Degré d'importance	Appréciation	Explication
1	Importance égale de deux éléments	Les deux activités contribuent à parts égales à l'objectif.
3	Faible importance d'un élément par rapport à un autre	L'expérience et le jugement favorisent une activité plutôt qu'une autre.
5	Grande importance par rapport à un autre	L'expérience et le jugement favorisent fortement une activité plutôt qu'une autre.
7	Importance très grande ou démontrée d'un élément par rapport à un autre	Une activité est très fortement favorisée par rapport à l'autre. Cela peut être démontré dans la pratique.
9	Importance absolue d'un élément par rapport à un autre	Les preuves favorisent une activité plutôt qu'une autre, avec le plus haut degré de certitude.
2, 4, 6, 8	Valeurs intermédiaires	Lorsque l'on recherche une condition de compromis entre deux définitions.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{21}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{1}{a_{n1}} & \frac{1}{a_{n2}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

Les critères sont comparés selon l'échelle fondamentale de comparaison binaire [46], présentée dans le tableau 4.1. Le résultat des comparaisons est présenté sous la forme d'une matrice carrée(4.1), cette matrice est écrite en tenant compte des conditions suivantes décrites ci-dessous :

- $a_{ij} = \alpha$
- $a_{ji} = \frac{1}{\alpha}$
- $a_{ii} = 1$

Où a_{ij} est égal à la comparaison de parité entre les critères i et j , et α est égal à la valeur d'intensité d'importance.

La matrice carrée(4.1), qui représente le résultat de l'étape de comparaison des critères, peut également être représentée par le tableau 4.2. Où E représente les éléments et a_{ij} est représenté par w_{ij} .

TABEAU 4.2 : Modèle de matrice de comparaison binaire entre des éléments.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Élément	E_1	E_2	E_3
E_1	1	w_{12}	w_{13}
E_2	$\frac{1}{w_{12}}$	1	w_{23}
E_3	$\frac{1}{w_{13}}$	$\frac{1}{w_{23}}$	1

Le décideur devra représenter sa préférence à travers l'échelle fondamentale de comparaison binaire(4.1), où l'échelle de 1 à 9 est utilisée pour comparer l'importance des éléments. Grâce à cette comparaison, l'importance relative de chaque critère, également appelée poids, sera déterminée.

4.4.3 ESTIMATION DE L'IMPORTANCE RELATIVE AUX CRITÈRES

La résolution de la matrice A donne le vecteur propre prioritaire, qui exprime l'importance relative de chaque critère ou poids. La forme de calcul la plus recommandée consiste à élever la matrice à des puissances arbitrairement élevées, en divisant la somme de chaque ligne par la somme des éléments de la matrice, c'est-à-dire en normalisant les résultats [46]. Ce calcul peut être représenté par les fonctions ci-dessous.

Le calcul de la normalisation des valeurs se fait d'abord en calculant les sommes des poids d'évaluation de chaque colonne SC_j , comme on peut le voir dans l'équation 4.2 ci-dessous.

$$SC_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} \quad (4.2)$$

Ensuite, la matrice de comparaison par paires normalisée W_{ij} est calculée en divisant w_{ij} par la somme des poids de l'évaluation SC_j , résultat de l'équation précédente 4.2.

$$W_{ij} = \frac{w_{ij}}{SC_j} \quad (4.3)$$

Le V_i calcule la moyenne des lignes de la matrice normalisée en additionnant les valeurs des lignes et en divisant par le nombre d'éléments, comme indiqué dans l'équation 4.4 ci-dessous. Avec ce résultat, on retrouve le poids de chaque critère dans notre choix du meilleur tableau de bord. Le tableau 4.3 donne un aperçu des calculs.

$$V_i = \frac{\sum_{i=1}^n W_{ij}}{n} \quad (4.4)$$

TABLEAU 4.3 : Modèle de tableau pour calcul d'autovecteur maximal.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Élément	E_1	E_2	E_3	Vecteurs propres
E_1	W_{12}	W_{12}	W_{13}	V_1
E_2	W_{22}	W_{22}	W_{23}	V_2
E_3	W_{32}	W_{32}	W_{33}	V_3
Somme C	SC_1	SC_2	SC_3	

4.4.4 CALCUL DU RATIO DE COHÉRENCE

Après avoir calculé l'importance relative des critères, il est temps de tester l'intégrité des jugements, calculée à travers le ratio de cohérence RC . Si le RC n'est pas inférieur à 0,10,

le décideur est encouragé à revoir ses jugements, en cherchant à les rendre plus cohérents [46]. Pour arriver à *RC*, nous devons d'abord calculer l'indice de cohérence *IC*.

L'écart des jugements à la cohérence est mesuré par l'indice de cohérence *IC*, plus l'indice est proche de zéro, meilleure est la cohérence globale de la matrice de comparaison des jugements [43].

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (4.5)$$

Avec l'équation 4.5, nous avons pu calculer l'*IC*. Ensuite, nous devons calculer la valeur propre maximale λ_{max} , qui est la moyenne de la valeur de chaque élément du vecteur λ_n , comme on le voit dans l'équation 4.6 ci-dessous.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_{ij}}{n} \quad (4.6)$$

Le calcul de λ_n se fait par le produit matriciel de la matrice de comparaison binaire 4.2 par le vecteur propre maximum V_n , défini dans le tableau de calcul des vecteurs propres 4.3. Puis divisé par le poids du vecteur propre maximal V_n , comme on peut le voir dans l'équation 4.7.

$$\lambda_n = \frac{\sum_{k=1}^n w_{kj} \times V_{ik}}{V_{kk}} \quad (4.7)$$

Le rapport de cohérence *RC* est mesuré par l'indice de cohérence aléatoire *IR*, cet indice *IR* a été précédemment calculé par des études antérieures. Le tableau 4.4 ci-dessous montre l'indice *IR* par rapport au nombre de critères.

TABLEAU 4.4 : Tableau de cohérence aléatoire de Saaty [46].
Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur

Nombre de critères n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cohérence aléatoire RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Avec les informations du tableau 4.4, nous pouvons alors calculer le taux de cohérence. Comme on peut le voir dans l'équation 4.8, le rapport de cohérence est égal à l'indice de cohérence sur l'indice de cohérence aléatoire.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (4.8)$$

4.4.5 DÉTERMINATION DU NIVEAU DE PRÉFÉRENCE DES ALTERNATIVES

Pour déterminer le niveau de préférence des alternatives, nous devons d'abord faire une évaluation par paires des alternatives au sein de chaque critère. Ensuite, il faut obtenir le vecteur propre maximal des alternatives pour chaque critère et, enfin, évaluer la constance des jugements de cette étape.

4.4.6 ÉVALUATION GLOBALE DES ALTERNATIVES

À partir des vecteurs propres obtenus à partir de chaque alternative V_{alt} dans chaque critère C_n , et à partir du vecteur propre du critère V_{crit} , on peut établir une estimation globale des priorités des alternatives. Le calcul de la priorité des alternatives P_n se fait avec la somme pondérée des critères et des alternatives, pour illustrer ce calcul nous avons l'équation 4.9. Pour finir, la meilleure alternative sera celle qui aboutira à une plus grande valorisation globale, pour visualiser toutes les données nous utilisons le tableau 4.5 ci-dessous.

$$P_n = \sum_{i=1}^n V_{crit_j} \times V_{alt_{ij}} \quad (4.9)$$

TABLEAU 4.5 : Modèle de sélection de tableau de bord.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Critères	V_{crit_1}	V_{crit_2}	V_{crit_3}	V_{crit_n}	Valorisation globale
Alternative 1	V_{alt_1}	V_{alt_1}	V_{alt_1}	V_{alt_1}	P_1
Alternative 2	V_{alt_2}	V_{alt_2}	V_{alt_2}	V_{alt_2}	P_2
Alternative n	V_{alt_n}	V_{alt_n}	V_{alt_n}	V_{alt_n}	P_n

Avec les informations obtenues jusqu'à présent dans cette étude, nous pouvons répondre à notre deuxième question de recherche (QR3) - Comment procéder à une évaluation des tableaux de bord en utilisant les lignes directrices sur les meilleures pratiques de la littérature ?

En utilisant le chapitre IV de cette étude, où nous présentons notre modèle d'évaluation de tableau de bord, il est possible de faire l'évaluation entre les tableaux de bord et de sélectionner le plus approprié parmi les alternatives. Nous avons rassemblé les principales caractéristiques des tableaux de bord sélectionnés au chapitre III, sur la base de la recherche de références de bonnes pratiques dans la littérature, ajouté le processus de sélection multicritère AHP et établi notre modèle d'évaluation des tableaux de bord

CHAPITRE V

ÉVALUATION DE TABLEAUX DE BORD DE QUALITÉ DE LOGICIEL

Dans ce chapitre, nous appliquerons la méthodologie d'évaluation du tableau de bord pour sélectionner l'alternative de tableau de bord qui correspond le mieux au scénario de l'étude de cas. Nous avons construit un scénario d'étude de cas, puis utilisé la méthode d'évaluation développée dans le chapitre précédent pour sélectionner la meilleure alternative.

L'organisation de ce chapitre se fait en 4 parties, la première où l'on retrouve la description du scénario de l'étude de cas, puis la deuxième partie, où l'on procède à l'évaluation des critères. Dans la troisième partie, l'évaluation des alternatives du tableau de bord pour chaque critère est faite, et enfin, le résultat de l'application de la méthode.

5.1 SCÉNARIO DE L'ÉTUDE DE CAS

Une petite entreprise de développement de logiciels qui a connu une croissance de sa liste de clients au cours des derniers mois, crée le besoin d'augmenter le nombre d'employés et l'opportunité de nouveaux projets. Alors que l'entreprise embauche de nouveaux employés pour profiter des opportunités et développer les ventes, les managers perçoivent un problème. Pour que l'expansion de l'entreprise réussisse, les nouvelles équipes de développement doivent continuer à livrer des projets avec la même qualité de code que les équipes précédentes. De cette façon, il est possible d'éviter les retouches, garantissant que les systèmes pourront recevoir des mises à jour et de nouvelles fonctionnalités à l'avenir.

Bien que l'entreprise ne dispose pas actuellement d'une équipe de qualité logicielle interne, sa première équipe de développeurs a toujours travaillé selon les meilleures pratiques de développement logiciel. Cependant, avec l'embauche de nouvelles équipes de développeurs,

l'utilisation d'un outil logiciel de qualité est nécessaire. Pour assurer la qualité du code des projets, même ceux développés par de nouveaux employés, les managers ont besoin d'un outil qui évalue la qualité du code du projet et présente ces informations dans un tableau de bord. Le principal point de décision pour les managers est que le tableau de bord présente des indicateurs importants et bien développés, pour une analyse efficace des résultats en peu de temps.

Lors de la recherche d'outils logiciels de qualité actuellement disponibles, 3 des plus populaires ont été trouvés et sélectionnés : SonarQube, CodeScene et Codacy. Les tableaux de bord de ces 3 outils seront évalués par notre méthode d'évaluation, pour aider à choisir le plus adapté en fonction des besoins des managers. Avec cela, l'entreprise pourra continuer à développer son activité avec performance et qualité.

5.2 ÉVALUATION DES CRITÈRES

TABLEAU 5.1 : Liste de critères.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Référence	Critères
C ₁	Communication
C ₂	Accessibilité
C ₃	Cohésion
C ₄	Facilité
C ₅	Couverture

Dans l'évaluation des critères, nous avons utilisé le tableau 4.1 pour définir les poids des 5 critères du modèle (tableau 5.1) et effectuer une comparaison par paire entre eux. En

conséquence, nous avons la liste ci-dessous avec les poids pour chaque comparaison de critères et la représentation sous forme de tableau, visualisée dans le tableau 5.2, après la liste.

1. Le critère « communication » a une grande importance par rapport au critère « accessibilité ».
2. Le critère « communication » a une importance intermédiaire entre même importance et une importance modérée par rapport au critère « cohésion ».
3. Le critère « communication » a une importance modérée par rapport au critère « facilité ».
4. Le critère « communication » a une importance intermédiaire entre une importance modérée et une grande importance par rapport au critère « couverture ».
5. Le critère « cohésion » a une grande importance par rapport au critère « accessibilité ».
6. Le critère « cohésion » a une importance intermédiaire entre une importance modérée et grande importance par rapport au critère « facilité ».
7. Le critère « cohésion » a une importance modérée par rapport au critère « couverture ».
8. Le critère « facilité » a une importance intermédiaire entre une importance modérée et grande importance par rapport au critère « accessibilité ».
9. Le critère « facilité » a une importance modérée par rapport au critère « couverture ».
10. Le critère « couverture » a une importance modérée par rapport au critère « accessibilité ».

Conformément au tableau 4.2, voici la représentation de la matrice de comparaison par paires des critères du tableau 5.2. Les références de C_1 à C_5 sont conformes au tableau 5.1.

TABLEAU 5.2 : Matrice de comparaison pair-à-pair entre critères.**©Raphael Fernandes Barbosa, 2022**

Critères	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
C_1	1	5	2	3	4
C_2	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$
C_3	$\frac{1}{2}$	5	1	4	3
C_4	$\frac{1}{3}$	4	$\frac{1}{4}$	1	3
C_5	$\frac{1}{4}$	3	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1

Après la comparaison par paire des critères, nous établirons leur importance relative en effectuant le calcul de la normalisation des valeurs. Pour cela nous utilisons les équations mathématiques de normalisation trouvées dans le chapitre précédent (4.3, 4.4). Ainsi, la matrice de comparaison par paires normalisée 5.3 a été calculée.

$$W_{11} = \frac{1}{(1 + 0,20 + 0,50 + 0,33 + 0,25)} = 0,44 \quad (5.1)$$

Ensuite, nous effectuons le calcul pour trouver le poids de chaque critère dans le choix d'un tableau de bord, comme on peut le voir dans l'équation 5.2 ci-dessous.

$$V_1 = \frac{(0,44 + 0,28 + 0,53 + 0,35 + 0,35)}{5} = 0,39 \quad (5.2)$$

Le tableau 5.3 montre la matrice de comparaison par paires normalisée entre les critères et le résultat du vecteur propre maximal. Les références de C_1 à C_5 sont conformes au tableau 5.1.

TABLEAU 5.3 : Matrice normalisée et de calcul d'autovecteur maximal.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Critères	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	Vecteurs propres
C ₁	0,44	0,28	0,53	0,35	0,35	0,39
C ₂	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,05
C ₃	0,22	0,28	0,26	0,47	0,26	0,30
C ₄	0,15	0,22	0,07	0,12	0,26	0,16
C ₅	0,11	0,17	0,09	0,04	0,09	0,10

En analysant la matrice d'opinion complète, avec toutes les valeurs des comparaisons entre pairs (tableau 5.3), on peut vérifier que le critère le plus important est « communication » (C₁) et le moins important est « accessibilité » (C₂). Ensuite, il faut tester l'intégralité des jugements en calculant l'indice de cohérence *IC*. Pour cela, on calcule le vecteur λ_n pour tous les critères et la valeur propre maximale λ_{max} .

$$\lambda_1 = \frac{((1 \times 0,39) + (5 \times 0,05) + (2 \times 0,30) + (3 \times 0,16) + (4 \times 0,10))}{0,39} = 5,45 \quad (5.3)$$

$$\lambda_{max} = \frac{(5,45 + 5,15 + 5,68 + 5,31 + 5,11)}{5} = 5,34 \quad (5.4)$$

Après avoir calculé le vecteur λ et la valeur propre maximale, nous avons pu calculer la valeur *IC* avec l'équation 5.5.

$$IC = \frac{5,34 - 5}{5 - 1} = 0,08 \quad (5.5)$$

Connaissant la valeur de IC , pour calculer le ratio de cohérence RC nous avons utilisé le tableau de cohérence aléatoire 4.4. En vérifiant le nombre de critères dans le 4.4, nous constatons que l'indice de cohérence aléatoire que nous devrions utiliser dans notre calcul est de 1,11.

$$RC = \frac{0,08}{1,11} = 0,07 \quad (5.6)$$

Il en est résulté un ratio de cohérence RC de 0,07 pour l'évaluation de nos critères. Pour que l'intégrité des jugements de critères soit cohérente, elle doit avoir une valeur inférieure à 0,10. Par conséquent, le ratio de cohérence est conforme aux paramètres et est cohérent.

5.3 ÉVALUATION DES ALTERNATIVES

Dans cette étape, nous analysons le niveau de préférence des alternatives. Tout d'abord, faire une évaluation par paires des alternatives au sein de chaque critère, en définissant les poids de chaque alternative pour le critère. Ensuite, calcul du vecteur propre maximum et du rapport de cohérence. Cela nous permet d'évaluer la constance des jugements et d'établir si ces jugements sont cohérents.

Les alternatives qui seront évaluées sont les tableaux de bord d'analyse des outils de qualité logicielle SonarQube, CodeScene et Codacy sélectionnés dans l'étude de cas, ces tableaux de bord sont visibles sur les figures 5.1, 5.2 respectivement et le figure du tableau de bord codacy est visible sur le site web de la documentation.

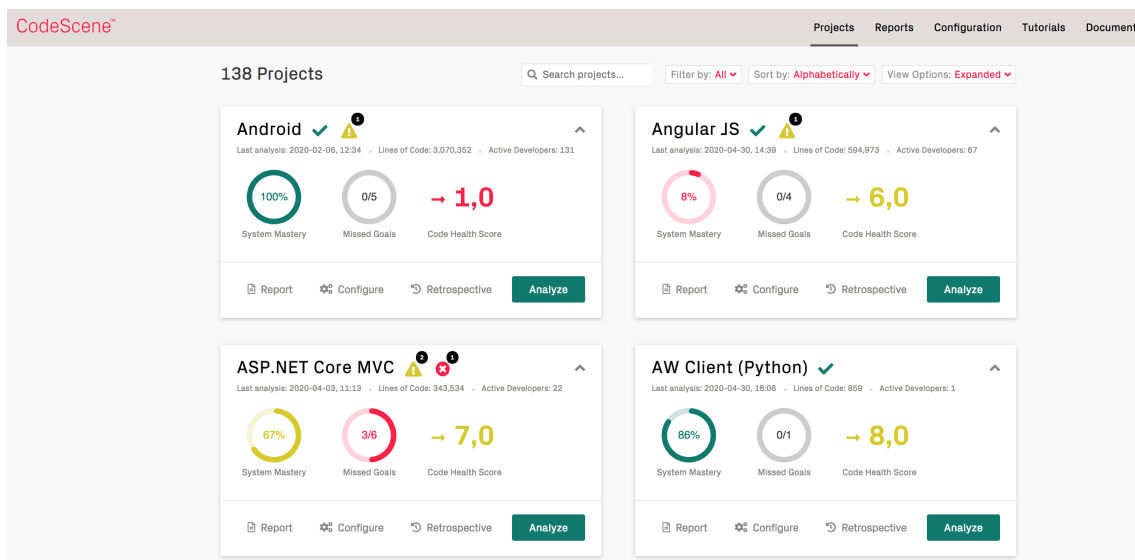
Portfolio Name
All Projects
[See more details](#)

Lines of code
932k

Projects
83



**FIGURE 5.1 : Tableau de bord sonarqube [50].
 Image reproduite avec l'autorisation d'Olivier Gaudin.**



**FIGURE 5.2 : Tableau de bord codescene [51].
Image reproduite avec l'autorisation d'Adam Thornhill.**

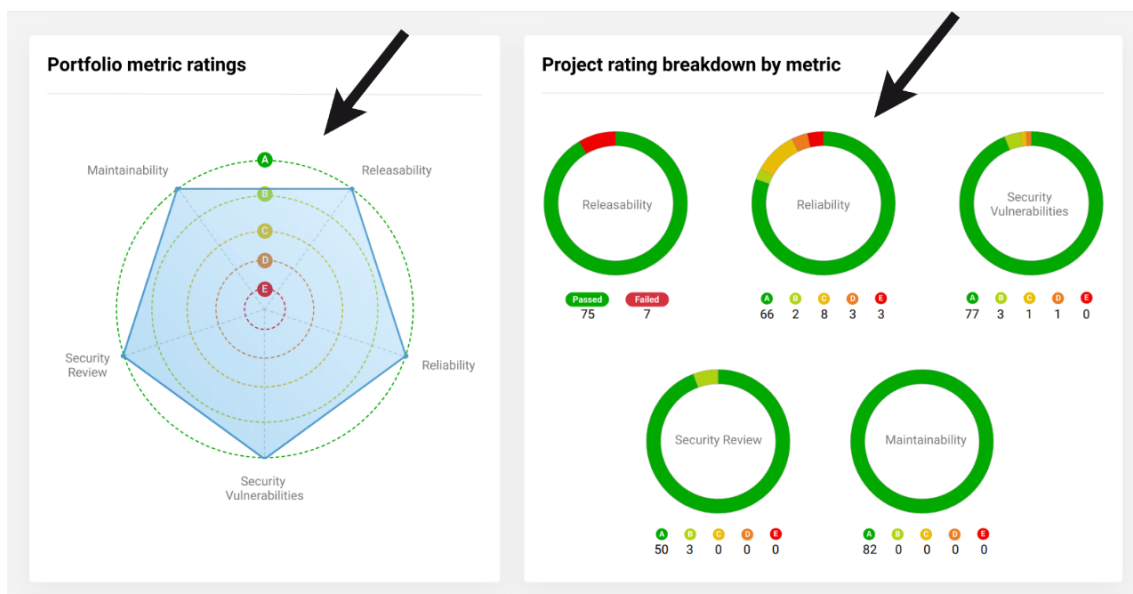
Le figure « Tableau de bord codacy » à été retirée en raison de restrictions du droit d'auteur, mais il peut être vu sur le site web de la documentation de l'outil : <https://docs.codacy.com/organizations/images/organization-overview.png>.

Le tableau de bord codacy a un graphique à barres en haut à gauche, qui peut être changé par un menu en haut. A droite se trouve une liste des derniers projets/référentiels et KPIs de classification, et en bas du graphique, une liste des demandes de changement.

5.3.1 COMMUNICATION

Selon les paramètres établis au chapitre IV du modèle d'évaluation du tableau de bord, l'importance de la communication réside non seulement dans l'organisation visuelle d'un tableau de bord, mais également dans la qualité des informations mises à disposition de l'utilisateur final.

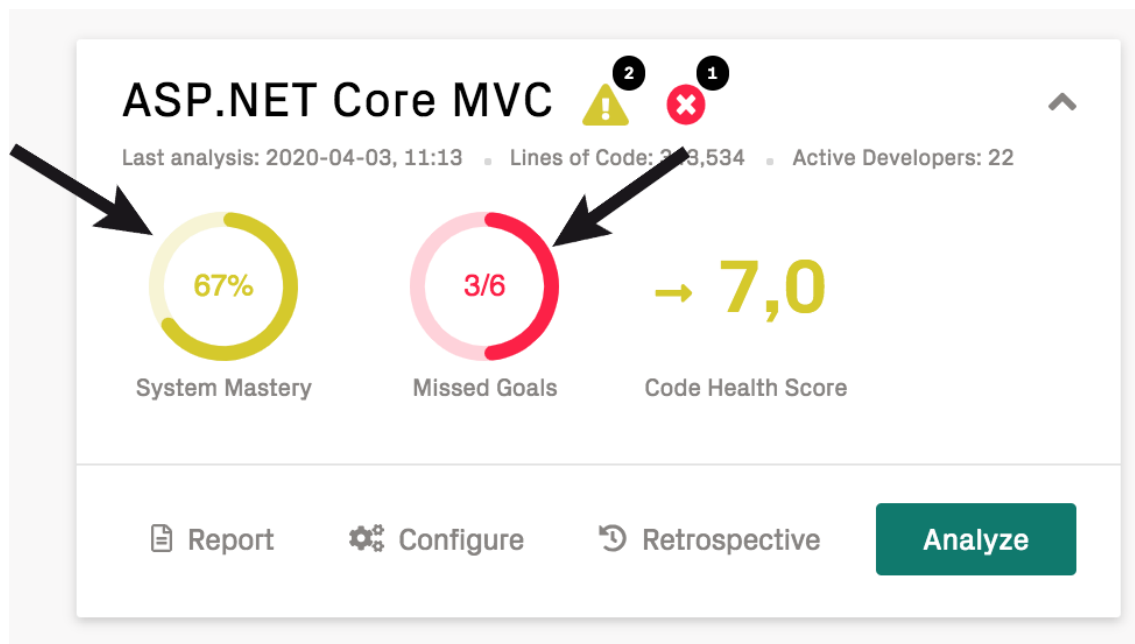
Lors de l'analyse des alternatives, nous avons observé que dans le cas du tableau de bord sonarqube(5.1), de bonnes métriques pour analyser la qualité des projets sont présentées, ainsi que les évaluations des indicateurs pour les projets. Même contenant des indicateurs importants pour les managers, il est toutefois possible de vérifier qu'il existe une fenêtre d'opportunité pour améliorer l'affichage des informations. Dans la zone « évaluation du projet », par exemple, les graphiques en forme de beignet ne présentent pas la quantité de manière efficace, cependant la légende catégorique utilisée a fait le travail de bien afficher les valeurs. Le graphique métrique par portefeuille n'est pas une visualisation qui véhicule des informations de manière simple, nécessitant peut-être une interaction de l'utilisateur ou même le passage à un autre type de graphique pour améliorer ce résultat.



**FIGURE 5.3 : Détail sonarqube « communication » [50].
Image reproduite avec l'autorisation d'Olivier Gaudin.**

Le tableau de bord codescene(5.2) a des fonctionnalités légèrement meilleures que le critère « communication » précédent, car il affiche des informations détaillées pour chaque

projet séparé et l'utilisation du graphique en anneau dans ce cas utilise l'indicateur au centre du graphique. Avec cette organisation, cela permet une analyse plus précise des détails en peu de temps.



**FIGURE 5.4 : Détail codescene « communication » [51].
Image reproduite avec l'autorisation d'Adam Thornhill.**

À son tour, le tableau de bord codacy, similaire aux tableaux de bord précédents, présente une série d'indicateurs importants permettant aux managers d'analyser leurs projets. Il a l'avantage d'afficher le graphique à barres le plus lu et d'utiliser la liste des derniers projets mis à jour comme KPIs de classement. Les alternatives ont été comparées par paires en suivant l'échelle de comparaison binaire fondamentale de Saaty dans le tableau 4.1, ci-dessous sont les résultats des comparaisons pour le critère « communication ».

TABLEAU 5.4 : Matrice de comparaison binaire entre des éléments du critère communication.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy
sonarqube	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
codescene	2	1	1
codacy	3	1	1

Avec les résultats de la matrice de comparaison par paires entre les tableaux de bord d'évaluation du critère « communication » (tableau 5.4), nous pouvons effectuer la normalisation de ces valeurs et découvrir le vecteur propre maximum pour chaque alternative.

TABLEAU 5.5 : Matrice d'autovecteur du critère communication.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy	autovecteur
sonarqube	0,17	0,20	0,14	0,17
codescene	0,33	0,40	0,43	0,39
codacy	0,50	0,40	0,43	0,44

Ensuite, nous avons calculé l'indice de cohérence et le taux de cohérence pour l'évaluation de la complétude des jugements, le résultat était un $IC = 0,01$ et le $RC = 0,02$, donc la comparaison et le jugement des tableaux de bord pour le critère « communication » est cohérent.

5.3.2 ACCESSIBILITÉ

En matière d'accessibilité, un problème rencontré dans la construction des tableaux de bord est l'absence de priorité, les projets visent généralement d'autres points et oublient

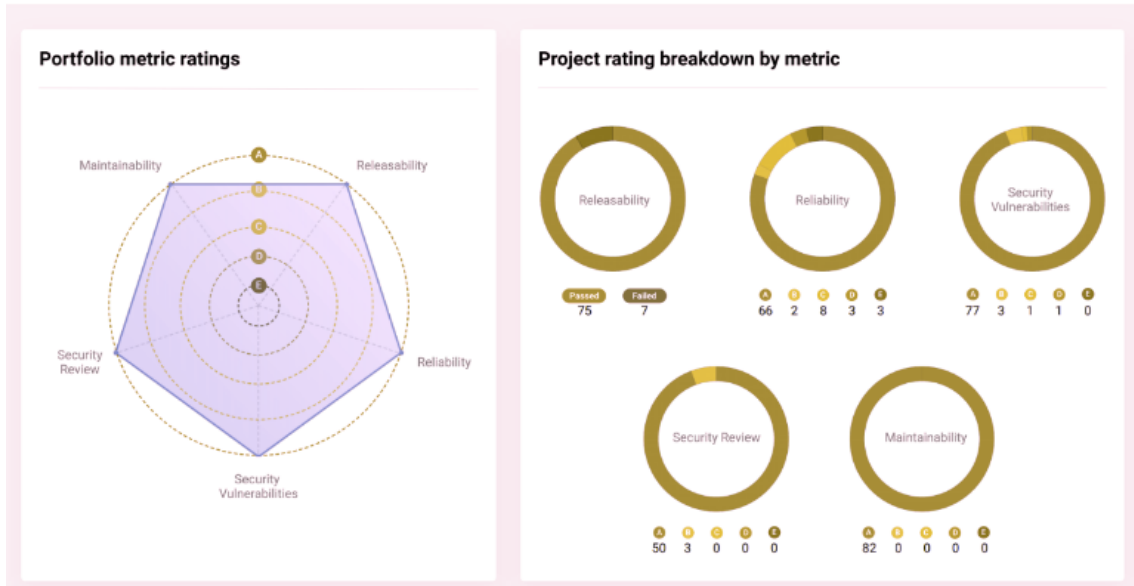
qu'une partie de la population a besoin que les couleurs soient mieux pensées, comme c'est le cas avec des personnes daltoniennes [5].

S'agissant d'un outil entièrement visuel d'affichage d'informations, pour évaluer les tableaux de bord du critère « accessibilité », nous utilisons l'outil du site [color-blindness.com](https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/) (<https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/>), qui nous permet d'évaluer l'affichage des couleurs en simulant une personne daltonienne, permettant l'interaction par différents types de daltonisme. Pour notre évaluation, nous avons utilisé le schéma de deutéranopie. Les figures 5.5 et 5.6 sont présentées ci-dessous avec la perspective des tableaux de bord issus de ces simulations, à l'exception de le tableau de bord codacy, mais il a les mêmes résultats que les autres.

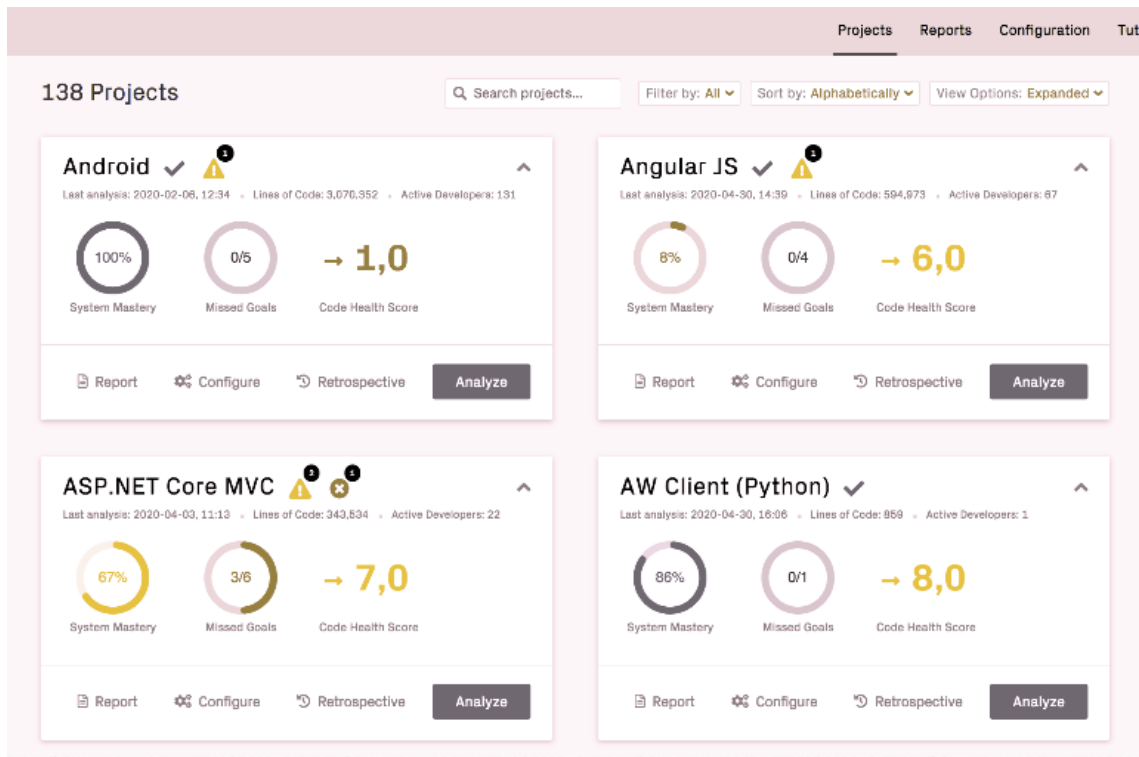
Portfolio Name
All Projects
[See more details](#)

Lines of code
932k

Projects
83



**FIGURE 5.5 : Évaluation tableau de bord sonarqube daltonisme [50].
 Image reproduite avec l'autorisation d'Olivier Gaudin.**



**FIGURE 5.6 : Evaluation dashboard codescene daltonisme [51].
Image reproduite avec l'autorisation d'Adam Thornhill.**

Ces nouvelles visualisations nous ont permis de vérifier que tous les tableaux de bord utilisent la même palette de couleurs, donc les résultats étaient très similaires. Les 3 tableaux de bord utilisent des couleurs de motif de feux de circulation pour différencier les niveaux de risque du projet. L'utilisation de couleurs de feux de signalisation standard est très courante dans les tableaux de bord de différents secteurs, bien que certains auteurs tels que Few [5] et Wexler et al. [6] alertent dans leurs études sur les dangers de cette utilisation. L'un des principaux problèmes à cet égard est d'entraver l'accès à l'information pour une partie de la population.

Les alternatives ont été comparées par paires selon l'échelle de comparaison binaire fondamentale de Saaty dans le tableau 4.1 ci-dessous sont les résultats des comparaisons pour le critère « accessibilité ».

TABLEAU 5.6 : Matrice de comparaison binaire entre des éléments du critère accessibilité.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy
sonarqube	1	1	1
codescene	1	1	1
codacy	1	1	1

Grâce aux résultats de la matrice de comparaison par paires entre les tableaux de bord d'évaluation du critère « accessibilité » (tableau 5.6), nous pouvons effectuer la normalisation de ces valeurs et découvrir le vecteur propre maximal pour chaque alternative.

TABLEAU 5.7 : Matrice d'autovecteur du critère accessibilité.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy	autovecteur
sonarqube	0,33	0,33	0,33	0,33
codescene	0,33	0,33	0,33	0,33
codacy	0,33	0,33	0,33	0,33

Ensuite, nous avons calculé l'indice de cohérence et le ratio de cohérence pour l'évaluation de l'intégralité des jugements, le résultat était un $IC = 0,00$ et le $RC = 0,00$, donc la comparaison et le jugement des tableaux de bord pour le critère « accessibilité » est cohérent.

5.3.3 COHÉSION

Dans l'évaluation des tableaux de bord des critères de « cohésion », nous avons identifié que le tableau de bord codescene(5.2) présente une bonne relation entre l'utilisation de graphiques, de symboles et de KPIs dans sa visualisation, même avec la quantité d'informations

sur le projet affichées, en réussissant à garder les couleurs correctement liées entre les zones du tableau de bord, permettant une bonne compréhension et une bonne utilisation des possibilités d'interaction de l'utilisateur.

Le tableau de bord codacy utilise clairement les KPIs, ainsi que l'utilisation de couleurs qui correspondent entre les éléments du tableau de bord. Il applique un bon choix de graphique pour la comparaison entre les projets, cependant l'utilisation de listes et de chiffres par rapport aux visualisations graphiques est un peu plus élevée que prévu [31].

Le tableau de bord sonarqube(5.1) affiche quant à lui une bonne cohésion des couleurs entre les éléments de visualisation associés. L'utilisation de graphiques et d'indicateurs de performance clés pour afficher les informations dans des listes au lieu de tableaux était une bonne idée.

Les alternatives ont été comparées deux à deux selon l'échelle de comparaison binaire fondamentale de Saaty dans le tableau 4.1, ci-dessous sont les résultats des comparaisons pour le critère « cohésion ».

TABLEAU 5.8 : Matrice de comparaison binaire entre des éléments du critère cohésion.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy
sonarqube	1	$\frac{1}{3}$	5
codescene	3	1	6
codacy	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	1

Grâce aux résultats de la matrice de comparaison par paires entre les tableaux de bord d'évaluation du critère « cohésion » (tableau 5.8), nous pouvons effectuer la normalisation de ces valeurs et découvrir le vecteur propre maximal pour chaque alternative.

TABLEAU 5.9 : Matrice d'autovecteur du critère cohésion.

©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy	autovecteur
sonarqube	0,24	0,22	0,42	0,29
codescene	0,71	0,67	0,50	0,63
codacy	0,05	0,11	0,08	0,08

Ensuite, nous avons calculé l'indice de cohérence et le rapport de cohérence pour l'évaluation de la complétude des jugements, le résultat était un $IC = 0,05$ et le $RC = 0,09$, donc la comparaison et le jugement des tableaux de bord pour le critère « cohésion » est cohérent.

5.3.4 FACILITÉ

Lors de l'affichage d'un tableau de bord, l'analyse des données est l'objectif principal et il est essentiel que les informations soient organisées de manière simple et accessible. Le tableau de bord codescene(5.2) affiche les graphiques de manière efficace et magnifique ainsi que certaines mesures, en faisant bon usage des symboles et des couleurs pour mettre en évidence les points d'attention importants pour l'utilisateur, tels que les problèmes et les alertes. Un point important à souligner est que ce tableau de bord(5.2) concentre les informations de plusieurs projets en un seul endroit, ce qui finit par leur faire avoir beaucoup de données dans un petit espace, ce qui nuit un peu à la lisibilité.

Quelle que soit la complexité des données, l'idéal est que les informations du tableau de bord soient affichées de manière objective et intuitive. Le tableau de bord sonarqube(5.1) a pu montrer dans sa zone de classification des projets par métriques qu'il est possible d'afficher les données de manière simple et lisible, mais le graphique utilisé dans la zone de classification

des métriques du portefeuille n'a pas la caractéristique d'être intuitif comme d'autres vues d'options. Indiquez que le tableau de bord codacy a bien fonctionné avec son graphique à barres et ses KPIs bien présentés. La construction de la liste des référentiels mis à jour avec une indication des couleurs, ainsi que les lettres pour les classer, a été très réussie. Les problèmes les plus demandés au bas du panneau font bon usage de l'espace et informent le besoin d'attention à certains projets.

Les alternatives ont été comparées par paires suivant l'échelle de comparaison binaire fondamentale de Saaty dans le tableau 4.1, ci-dessous sont les résultats des comparaisons pour le critère « facilité ».

TABLEAU 5.10 : Matrice de comparaison binaire entre des éléments du critère facilité.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy
sonarqube	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$
codescene	3	1	$\frac{1}{3}$
codacy	5	3	1

Avec les résultats de la matrice de comparaison par paires entre les tableaux de bord d'évaluation du critère « facilité » (tableau 5.10), nous pouvons effectuer la normalisation de ces valeurs et découvrir le vecteur propre maximal pour chaque alternative.

TABLEAU 5.11 : Matrice d'autovecteur du critère facilité.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy	autovecteur
sonarqube	0,11	0,08	0,13	0,11
codescene	0,33	0,23	0,22	0,26
codacy	0,56	0,69	0,65	0,63

Ensuite, nous avons calculé l'indice de cohérence et le ratio de cohérence pour l'évaluation de la complétude des jugements, le résultat était un $IC = 0,02$ et le $RC = 0,03$, donc la comparaison et le jugement des tableaux de bord pour le critère « facilité » est cohérent .

5.3.5 COUVERTURE

Pour notre cas d'utilisation, les gestionnaires recherchent un tableau de bord de logiciels de qualité qui non seulement analyse et affiche les données les plus importantes, mais que ces informations peuvent provenir de différents référentiels et langues. Par conséquent, les outils doivent supporter les langages de programmation utilisés par l'entreprise, dans ses projets actuels et futurs. Ainsi, pour évaluer les tableaux de bord du critère de « couverture », nous avons vérifié les sites Web et la documentation des outils pour obtenir des informations sur les langages de programmation et les référentiels pris en charge.

Avec les données trouvées sur les outils pris en charge, nous avons créé le graphique 5.7 qui peut être observé ci-dessous.

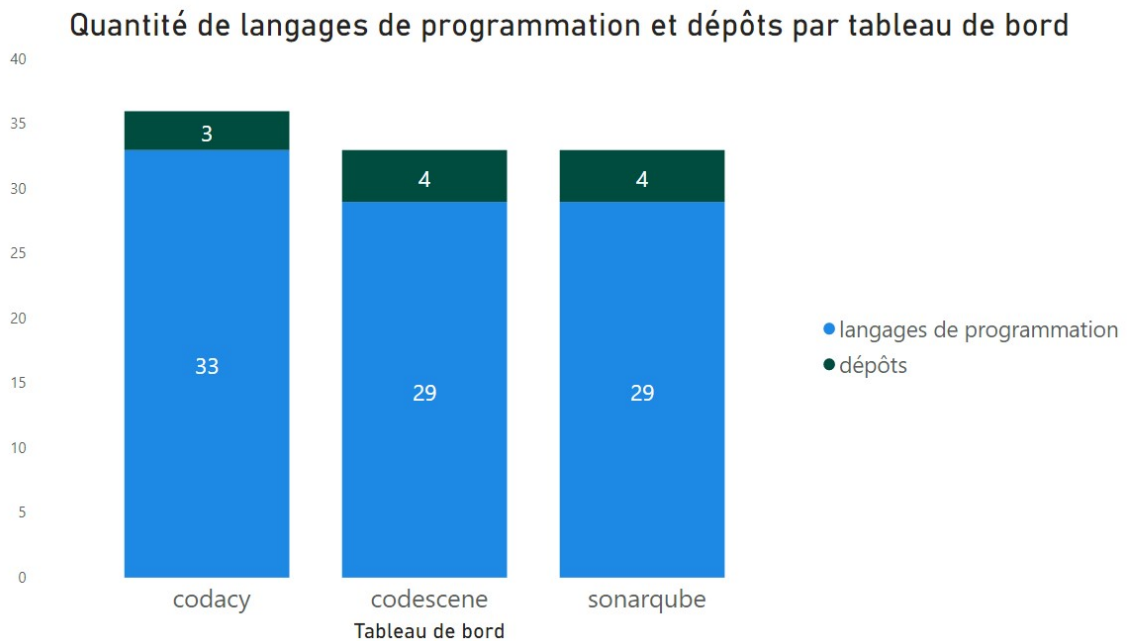


FIGURE 5.7 : Graphique d'évaluation de couverture.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Les alternatives ont été comparées par paires suivant l'échelle de comparaison binaire fondamentale de Saaty dans le tableau 4.1, ci-dessous sont les résultats des comparaisons pour le critère « couverture ».

TABLEAU 5.12 : Matrice de comparaison binaire entre des éléments du critère couverture.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy
sonarqube	1	1	$\frac{1}{3}$
codescene	1	1	$\frac{1}{3}$
codacy	3	3	1

Avec les résultats de la matrice de comparaison par paires entre les tableaux de bord pour évaluer le critère « couverture » (tableau 5.12), nous pouvons effectuer la normalisation de ces valeurs et découvrir le vecteur propre maximal pour chaque alternative.

TABLEAU 5.13 : Matrice d'autovecteur du critère couverture.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	sonarqube	codescene	codacy	autovecteur
sonarqube	0,20	0,20	0,20	0,20
codescene	0,20	0,20	0,20	0,20
codacy	0,60	0,60	0,60	0,60

Ensuite, nous avons calculé l'indice de cohérence et le rapport de cohérence pour l'évaluation de la complétude des jugements, le résultat a été le $IC = 0,00$ et le $RC = 0,00$, donc la comparaison et le jugement des tableaux de bord au critère « couverture » est cohérent.

5.4 RÉSULTATS DE L'APPLICATION DU MODÈLE D'ÉVALUATION

Dans cette section, nous rassemblerons toutes les données de la section précédente, nous analyserons les résultats obtenus à partir de l'utilisation de la méthode proposée au chapitre IV et nous établirons la valorisation globale des priorités des alternatives du tableau de bord. Pour cela, nous allons d'abord rassembler les données des vecteurs propres du tableau de bord des comparaisons entre les critères et les vecteurs propres des critères. Ensuite, nous ferons le calcul pour trouver la valorisation globale et analyserons les résultats.

Dans le tableau 5.14 ci-dessous nous regroupons les valeurs des vecteurs propres des comparaisons par paires effectuées entre les tableaux de bord qualité logicielle et les critères et des vecteurs propres des critères de notre modèle.

TABLEAU 5.14 : Tableau de résultats des autovecteurs des critères et des tableaux de bord.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

	poids	sonarque	codescene	codacy
Communication	0,39	0,17	0,39	0,44
Accessibilité	0,05	0,33	0,33	0,33
Cohésion	0,30	0,29	0,63	0,08
Facilité	0,16	0,11	0,26	0,63
Couverture	0,10	0,20	0,20	0,60

Avec les informations du tableau 5.14, nous pouvons calculer la valorisation globale, en faisant la somme pondérée des critères et des alternatives. Nous avons utilisé l'équation décrite dans le chapitre précédent où nous avons décrit la méthodologie. Nous pouvons vérifier ci-dessous les équations, le tableau 5.15 et le graphique 5.8 avec les résultats.

$$P_1 = (0,39 \times 0,17) + (0,05 \times 0,33) + (0,30 \times 0,29) + (0,16 \times 0,11) + (0,10 \times 0,20) = 0,21 \quad (5.7)$$

$$P_2 = (0,39 \times 0,39) + (0,05 \times 0,33) + (0,30 \times 0,63) + (0,16 \times 0,26) + (0,10 \times 0,20) = 0,42 \quad (5.8)$$

$$P_3 = (0,39 \times 0,44) + (0,05 \times 0,33) + (0,30 \times 0,08) + (0,16 \times 0,63) + (0,10 \times 0,60) = 0,37$$

(5.9)

TABLEAU 5.15 : Tableau de résultats de sélection de tableau de bord.
©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Tableau de bord	Valorisation globale
sonarqube	0,21
codescene	0,42
codacy	0,37

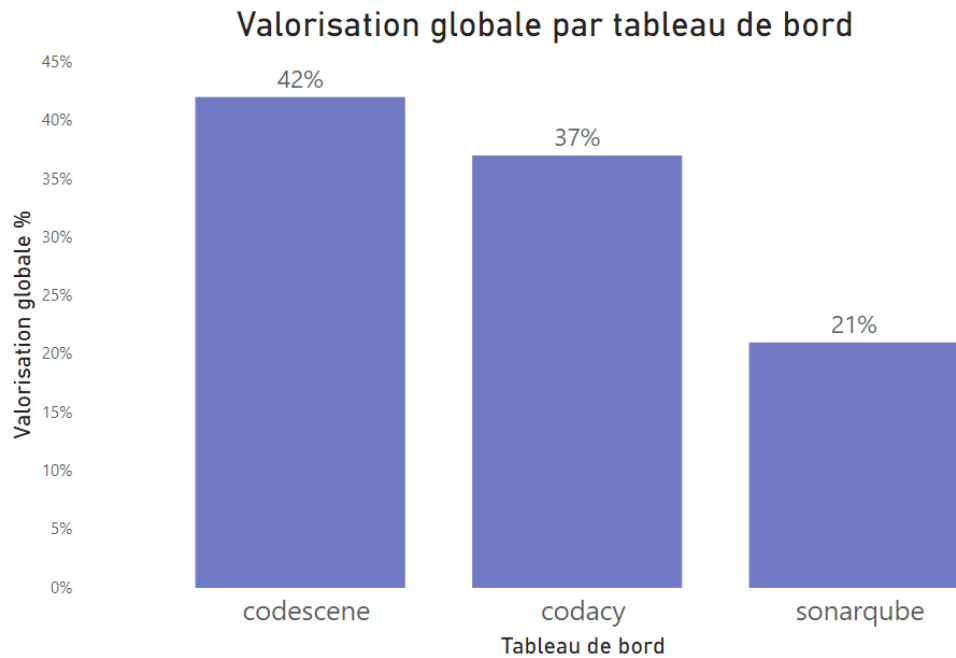


FIGURE 5.8 : Graphique de résultats de sélection de tableau de bord.
 ©Raphael Fernandes Barbosa, 2022

Le résultat de cette évaluation nous montre que la codescene du tableau de bord est la meilleure des alternatives de tableaux de bord avec 42%, étant la mieux évaluée selon Le critère de « cohésion ». Ce tableau de bord s’est démarqué parmi les autres alternatives en utilisant ses graphiques et ses KPIs de manière plus organisée et efficace, en affichant un bon ensemble de détails du projet et en étant cohérent dans sa construction. La deuxième meilleure alternative était le tableau de bord codacy avec 37%, s’étant davantage démarqué du critère « facilité » et le tableau de bord sonarqube occupe la dernière place avec 21%. Parmi les critères du modèle qui se sont le plus démarqués dans notre analyse des résultats, figuraient le critère «

communication » étant le plus important, le deuxième plus important « cohésion » et le critère moins important était « accessibilité ».

Dans l'un des critères, les alternatives du tableau de bord ont reçu le même poids ou la même importance, Le critère était « accessibilité ». En effet, bien qu'ils diffèrent les uns des autres sur d'autres aspects, aucun des tableaux de bord n'est adapté aux personnes ayant une déficience visuelle, comme le daltonisme. L'entreprise de notre étude de cas n'avait pas ce besoin, ce critère avait donc un poids de 0,05. Cependant, nous pensons que faire des adaptations pour que le tableau de bord devienne plus accessible est parfaitement faisable et de nombreux utilisateurs qui ont ce besoin en bénéficieraient. Et lorsqu'il s'agit de tableaux de bord trouvés dans des outils logiciels de qualité, où les utilisateurs finaux sont des personnes de différentes entreprises à travers le monde, cela pourrait être un avantage concurrentiel dans votre entreprise.

Le résultat de notre étude d'évaluation montre que notre méthodologie d'évaluation du tableau de bord a été efficace et a atteint son objectif, il s'est avéré être un outil utile pour la prise de décision parmi les alternatives de tableau de bord par l'entreprise de notre étude de cas. Sur la base des résultats de l'évaluation, les responsables de l'entreprise peuvent vérifier quel tableau de bord de qualité logicielle était le meilleur parmi les alternatives sélectionnées. Et donc, utilisez-le pour que les équipes de développeurs de votre entreprise maintiennent le meilleur standard de qualité dans leurs projets actuels et futurs.

CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous présentons la conclusion des résultats obtenus grâce aux analyses effectuées dans notre étude.

Ce travail visait à aider ceux qui ont besoin de choisir et d'évaluer un tableau de bord, en utilisant les caractéristiques indiquées dans la littérature. Par conséquent, nous avons développé une méthode d'évaluation des tableaux de bord de qualité de code en génie logiciel.

Notre mappage systématique nous a permis d'identifier que les 5 dernières années ont concentré un nombre d'études sur les tableaux de bord faisant référence à la qualité ou à l'évaluation des logiciels, équivalent aux 15 années précédentes (tableau 2.1). Cette tendance à la croissance est due surtout au besoin de projets en cours, car ceux-ci contiennent généralement de gros volumes de données à présenter.

Cette croissance a également démontré le manque d'évaluations des tableaux de bord. Malgré le nombre de tableaux de bord développés et les études sur les tableaux de bord en forte tendance, peu a été fait sur l'évaluation ou l'orientation des bonnes pratiques pour les tableaux de bord. L'absence d'une méthode d'évaluation des tableaux de bord ouvre un précédent précieux pour notre étude, car c'est un aspect très important si nous voulons continuer à évoluer dans le développement de tableaux de bord pour les grandes bases de données. Ainsi, l'académie a la possibilité d'évoluer et de contribuer dans ce sens, non seulement avec cette étude, mais avec d'autres qui peuvent suivre dans la même direction.

La liste des directives de bonnes pratiques (tableau 3.1) mentionnée au chapitre III, ainsi que les caractéristiques du tableau 3.4, étaient importantes pour identifier où nous pouvions effectuer l'analyse des tableaux de bord. Ces mêmes caractéristiques ont été trouvées grâce à notre étude de mappage dans la littérature et utilisées plus tard comme base pour notre

évaluation. Avec l'identification de ces caractéristiques de base pour le développement d'un tableau de bord à la lumière de la littérature, notre étude a fait une consolidation de ces directives et les met à disposition pour contribuer aux futures recherches sur le développement des tableaux de bord.

L'utilisation du processus AHP dans notre méthode d'évaluation du tableau de bord, décrite au chapitre IV et illustrée au chapitre V, a été très fructueuse. Pourquoi faire usage de la comparaison par paires de critères, pour identifier les alternatives qui correspondent le mieux aux variables. Permettant de distinguer efficacement le tableau de bord le mieux évalué, par conséquent le mieux adapté à chaque caractéristique. Par conséquent, notre étude d'évaluation peut être utilisée à la fois pour les tableaux de bord de la qualité des logiciels, comme cela a été fait lors de notre étude, et peut être adaptée pour évaluer les tableaux de bord d'autres domaines.

Au cours de cette étude, nos principales contributions ont été :

1. Réaliser un mappage systématique sur l'évaluation des tableaux de bord en génie logiciel, où il a été possible d'identifier l'évolution des études publiées au fil des ans ;
2. La proposition d'une méthode d'évaluation des tableaux de bord qualité logicielle, construite en utilisant les principales fonctionnalités d'un tableau de bord selon la littérature et le processus de sélection multicritères AHP.
3. L'exécution d'un tableau de bord d'évaluation réalisé pour démontrer et valider notre méthode, développée pour démontrer l'utilisation de l'évaluation du tableau de bord dans une étude de cas.

En ce qui concerne des travaux futurs, il est prévu de développer un outil d'analyse de tableau de bord, incorporant la méthode construite ici. Ce nouvel outil peut être développé

pour fonctionner en local ou en ligne, en se voulant intuitif et accessible aux utilisateurs, managers et entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] T. Pessato et M. Stein, “O design como diferencial estratégico na construção de dashboards,” *Blucher Design Proceedings.*, vol. 1, n° 4, pp. 2872–2883, 2014.
- [2] Unsplash, “Panneau d’un véhicule.” mars 2021. [En ligne]. Repéré à : https://unsplash.com/photos/OZqwx7_00aA
- [3] L. Opsview, “Tableau de bord récent.” déc. 2018. [En ligne]. Repéré à : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opsview_Monitor_6.0_Dashboard.jpg
- [4] G. G. Chua, P. M. C. Lim, M. T. Mak, W. S. Ng, S. Guo, A. L. Chan, et D. C. Z. Liang, “A flexible qualitative data analytics dashboard,” dans *TENCON 2018-2018 IEEE Region 10 Conf.* IEEE, 2018, pp. 1865–1869.
- [5] S. Few, *Information dashboard design : The effective visual communication of data.* O’Reilly Media, Inc., 2006.
- [6] S. Wexler, J. Shaffer, et A. Cotgreave, *The big book of dashboards : Visualizing your data using real-world business scenarios*, 1er éd. Wiley Publishing, 2017.
- [7] A. Sarikaya, M. Correll, L. Bartram, M. Tory, et D. Fisher, “What do we talk about when we talk about dashboards ?” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graphics*, vol. 25, n° 1, pp. 682–692, 2019.
- [8] L. López, M. Manzano, C. Gómez, M. Oriol, C. Farré, X. Franch, S. Martínez-Fernández, et A. Vollmer, “QaSD : A Quality-aware Strategic Dashboard for supporting decision makers in agile software development,” *Sci. Comput. Programming*, vol. 202, p. 102568, févr. 2021.
- [9] V. Lenarduzzi, A. Sillitti, et D. Taibi, “Analyzing forty years of software maintenance models,” dans *2017 IEEE/ACM 39th Inter. Conf. Softw. Eng. Companion (ICSE-C)*, 2017, pp. 146–148.
- [10] W. W. Eckerson, *Performance dashboards : Measuring, monitoring, and managing your business.* John Wiley & Sons, 2010.

- [11] K. Petersen, S. Vakkalanka, et L. Kuzniarz, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering : An update,” *Information Softw. Technol.*, vol. 64, août 2015.
- [12] B. Kitchenham, D. Budgen, et P. Brereton, *Evidence-based software engineering and systematic reviews*. CRC Press, 2015.
- [13] C. Wohlin, “Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering,” dans *Proc. 18th International Conf. Evaluation Assessment Softw. Eng.* New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2014. [En ligne]. Repéré à : <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- [14] C. A. Rosati, A. Cervo, et C. Fantuzzi, “Air quality monitoring in a BIM model by means of a IoT sensors network,” dans *2020 Fourth International Conf. I-SMAC (I-SMAC)*, 2020, pp. 110–115.
- [15] S. M. Syed-Mohamad et N. S. Md. Akhir, “Soready : An extension of the test and defect coverage-based analytics model for pull-based software development,” dans *2019 26th Asia-Pacific Softw. Eng. Conf. (APSEC)*, 2019, pp. 9–14.
- [16] K. Pavlinić et L. Skorin-Kapov, “Network and service performance case study in a high school equipped in the scope of the pilot project e-schools,” dans *2019 42nd International Conv. Inf. Commun. Technol., Electron. Microelectronics (MIPRO)*, 2019, pp. 1653–1658.
- [17] S. Martínez-Fernández, A. M. Vollmer, A. Jedlitschka, X. Franch, L. López, P. Ram, P. Rodríguez, S. Aaramaa, A. Bagnato, M. Choraś, et J. Partanen, “Continuously assessing and improving software quality with software analytics tools : A case study,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 68 219–68 239, 2019.
- [18] F. A. Putra, H. B. Santoso, et R. F. Aji, “Evaluation of learning analytics metrics and dashboard in a software engineering project course,” *Australasian J. Eng. Educ.*, vol. 20, n° 3, pp. 171–180, 2018.
- [19] M. Ulan, S. Hönel, R. M. Martins, M. Ericsson, W. Löwe, A. Wingkvist, et A. Kerren, “Quality models inside out : Interactive visualization of software metrics by means of joint probabilities,” dans *2018 IEEE Working Conf. Softw. Vis. (VISSOFT)*, 2018, pp. 65–75.

- [20] R. Pham, J. Mörschbach, et K. Schneider, “Communicating software testing culture through visualizing testing activity,” dans *Proc. 7th International Workshop Social Softw. Eng.*, ser. SSE 2015. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2015, p. 1–8. [En ligne]. Repéré à : <https://doi.org/10.1145/2804381.2804382>
- [21] M. A. Serhani, Y. Atif, et A. Benharref, “Towards an adaptive QoS-driven monitoring of cloud SaaS,” *Int. J. Grid Util. Comput.*, vol. 5, n° 4, p. 263–277, oct. 2014. [En ligne]. Repéré à : <https://doi.org/10.1504/IJGUC.2014.065391>
- [22] D. Limberger, B. Wasty, J. Trümper, et J. Döllner, “Interactive software maps for web-based source code analysis,” dans *Proc. 18th International Conf. 3D Web Technol.*, ser. Web3D ’13. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2013, p. 91–98. [En ligne]. Repéré à : <https://doi.org/10.1145/2466533.2466550>
- [23] J. Clarke, J. Vines, K. Kirk, E. Mark, R. Angelini, C. Spear, N. Waisbrot, J. Martin, K. Leiter, et B. Hoffman, “A common computational science environment for high performance computing centers,” dans *2010 DoD High Performance Comp. Modern. Program Users Group Conf.*, 2010, pp. 442–449.
- [24] R. Ramler, W. Beer, C. Klammer, K. Wolfmaier, et S. Larndorfer, “Concept, implementation and evaluation of a web-based software cockpit,” dans *2010 36th EUROMICRO Conf. Softw. Eng. and Advanced Applications*, 2010, pp. 385–392.
- [25] J. Heidrich et J. Münch, “Goal-oriented customization of software cockpits,” *Fraunhofer IESE*, vol. 22, août 2010.
- [26] J. R. McCoy, “Requirements use case tool (RUT),” dans *Companion 18th Annual ACM SIGPLAN Conf. Object-Oriented Prog., Syst., Languages, and Appl.*, ser. OOPSLA ’03. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2003, p. 104–105. [En ligne]. Repéré à : <https://doi.org/10.1145/949344.949371>
- [27] M. Langner, P. Toreini, et A. Maedche, “Attentionboard : A quantified-self dashboard for enhancing attention management with eye-tracking,” dans *Inf. Syst. and Neuroscience*, vol. 43. Cham : Springer International Publishing, 2020, pp. 266–275.
- [28] A. Papacharalampopoulos, C. Giannoulis, P. Stavropoulos, et D. Mourtzis, “A digital twin for automated root-cause search of production alarms based on KPIs aggregated from IoT,”

Applied Sciences, vol. 10, n° 7, pp. 1–16, mars 2020.

- [29] B. Valks, M. Arkesteijn, A. Koutamanis, et A. Heijer, “Towards smart campus management : Defining information requirements for decision making through dashboard design,” *Buildings*, vol. 11, n° 5, p. 201, mai 2021.
- [30] F. Bayrak, “Investigation of the web-based self-assessment system based on assessment analytics in terms of perceived self-intervention,” *Technol., Knowledge and Learning*, avr. 2021.
- [31] A. Lamer, G. Laurent, S. Pelayo, E. A. Mehdi, E. Chazard, et R. Marcilly, “Exploring patient path through sankey diagram : A proof of concept,” *Studies Health Technol. and Inf.*, vol. 270, pp. 218–222, juin 2020.
- [32] M. Nadj, A. Maedche, et C. Schieder, “The effect of interactive analytical dashboard features on situation awareness and task performance,” *Decision Support Systems*, vol. 135, p. 113322, mai 2020.
- [33] A. Barbeito et N. Segall, “Development and usability testing of an audit and feedback tool for anesthesiologists,” *JAMIA Open*, vol. 2, n° 1, févr. 2019.
- [34] B. Thoma, V. Bandi, R. Carey, D. Mondal, R. Woods, L. Martin, et T. Chan, “Developing a dashboard to meet competence committee needs : A design-based research project,” *Canadian Medical Education J.*, vol. 11, n° 1, janv. 2020.
- [35] J. Preuss, L. Blattmann, et M. Frey, “Building performance simulation and result visualization in bim,” dans *16th IBPSA International Conference and Exhibition*, Rome, Italie, 2-4 sept. 2019. [En ligne]. Repéré à : http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2019/BS2019_211404.pdf
- [36] M. Ladu, “Role of city dashboards in managing public real estate in italy : Proposals for a conceptual framework,” *ASCE Urban Planning and Develop. Div. J.*, vol. 146, p. 04020047, oct. 2020.
- [37] R. Simpson, B. Zhou, T. Alarcon Falconi, et E. Naumova, “An analecta of visualizations for foodborne illness trends and seasonality,” *Scientific Data*, vol. 7, n° 346, oct. 2020.

- [38] A. Vázquez-Ingelmo, F. J. García-Peñalvo, et R. Therón, “Generating dashboards using fine-grained components : A case study for a PhD programme,” dans *Learning and Collaboration Technol. Design., Develop. and Deploying Learning Experiences*. Berlin, Allemagne : Springer International Publishing, 2020, p. 303–314. [En ligne]. Repéré à : https://doi.org/10.1007/978-3-030-50513-4_23
- [39] G. Souza et J. L. Lima, “Dashboards prototype to support teachers while assessing student interactions in moodle environment in the light of the connectivism theory,” dans *V Congresso Internacional de Educação Superior a Distância*, Piauí, Brésil, 26-29 nov. 2019, pp. 1222–1236. [En ligne]. Repéré à : https://drive.google.com/open?id=1wfk5TIaupDSFL7CnCD35yxOUDNG4c_D-
- [40] S. Gashi, E. Di Lascio, B. Stancu, V. Das Swain, V. Mishra, M. Gjoreski, et S. Santini, “Detection of artifacts in ambulatory electrodermal activity data,” *Proc. ACM Interact., Mobile, Wearable and Ubiquitous Technol.*, vol. 4, n° 2, pp. 1–31, juin 2020.
- [41] M. Sahin et D. Ifenthaler, *Visualization and dashboards : Challenges and future directions*. Cham : Springer International Publishing, 2021, pp. 585–597. [En ligne]. Repéré à : https://doi.org/10.1007/978-3-030-81222-5_27
- [42] A. Kulkarni et O. Gkountouna, “Demonstrating REACT : A real-time educational AI-powered classroom tool,” dans *14th International Conference Educational Data Mining (EDM21)*, Paris, France, 29 juin 2021, pp. 708–712. [En ligne]. Repéré à : <https://educationaldatamining.org/EDM2021/EDM2021Proceedings.pdf>
- [43] T. L. Saaty, *The analytic hierarchy process*. New York, NY, USA : McGraw-Hill, Makron, 1980.
- [44] J. R. Emshoff et T. L. Saaty, “Applications of the analytic hierarchy process to long range planning processes,” *European J. Operational Research*, vol. 10, n° 2, pp. 131–143, 1982.
- [45] R. A. Johnson, V. Srinivasan, et P. J. Bolster, “Sovereign debt ratings : A judgmental model based on the analytic hierarchy process,” *J. International Business Studies*, vol. 21, n° 1, pp. 95–117, 1990.
- [46] T. L. Saaty, “How to make a decision : The analytic hierarchy process,” *European J. Operational Research*, vol. 48, n° 1, pp. 9–26, sept. 1990. [En ligne]. Repéré à :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221790900571>

- [47] L. Gomes, M. González, et C. Carignano, *Tomada de decisões em cenários complexos : Introdução aos métodos discretos do apoio multicritério à decisão*. Thomson, 2004.
- [48] L. Gomes, C. Gomes, et A. de Almeida, *Tomada de decisão gerencial : Enfoque multicritério*. Atlas, 2009.
- [49] T. L. Saaty, *Método de análise hierárquica*. São Paulo, Brésil : McGraw-Hill, Makron, 1991.
- [50] SonarQube, “Tableau de bord sonarqube.” juin 2022. [En ligne]. Repéré à : <https://www.sonarqube.org/features/quality-gate/index/pdf-p1@2x.png>
- [51] CodeScene, “Tableau de bord codescene.” juin 2022. [En ligne]. Repéré à : https://codescene.io/docs/_images/inter-product-dashboard.png