



HAL
open science

Une démarche de conception de tableau de bord de gestion pour soutenir les trois niveaux de la conscience de la situation

Alexandre Leclair, Alexandre Moïse, Yan Bodain

► To cite this version:

Alexandre Leclair, Alexandre Moïse, Yan Bodain. Une démarche de conception de tableau de bord de gestion pour soutenir les trois niveaux de la conscience de la situation. 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, AFIHM, Aug 2017, Poitiers, France. 10 p., 10.1145/3132129.3132130 . hal-01578451

HAL Id: hal-01578451

<https://hal.science/hal-01578451>

Submitted on 29 Aug 2017

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

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

Une démarche de conception de tableau de bord de gestion pour soutenir les trois niveaux de la conscience de la situation

A business dashboard design approach to support the three levels of situation awareness

Alexandre Leclair

PRISME, École de gestion

Université de Sherbrooke

2500, boul. de l'Université

Sherbrooke (Québec) J1K 2R1 Canada

Alexandre.Leclair2@USherbrooke.ca

Alexandre Moïse

PRISME, École de gestion

Université de Sherbrooke

2500, boul. de l'Université

Sherbrooke (Québec) J1K 2R1 Canada

Alexandre.Moise@USherbrooke.ca

Yan Bodain

Centre hospitalier universitaire

Sainte-Justine

3175 ch. de la Côte-Sainte-Catherine

Montréal (Québec) H3T 1C5 Canada

yan.bodain.hsj@ssss.gouv.qc.ca

ABSTRACT

A management dashboard is a visual tool used by managers to monitor organizational performance. It involves displaying information about the state of the organization to decision-making. A management dashboard must thus enable the manager to obtain a veracious and complete mental representation of the state of a situation. The theoretical model of situational awareness (SA) characterizes this mental representation in three levels: perception, comprehension and projection. Decision-making relies heavily on the ability to anticipate the future state of the environment, which refers to the SA level of projection. This article aims to propose a management dashboard design approach to support not only the levels of perception and comprehension, but also projection.

CCS CONCEPTS

- **Human-centered computing** → **Visualization** → *Visualization techniques*

KEYWORDS

Management dashboard, situation awareness, performance monitoring, causal system, hospital management.

RÉSUMÉ

Le tableau de bord de gestion (TBG) est un outil visuel utilisé par les gestionnaires pour réaliser le suivi de la performance organisationnelle. Il consiste à afficher de l'information portant sur l'état de l'organisation afin de soutenir la prise de décision. Le TBG doit ainsi permettre au gestionnaire d'obtenir une représentation mentale véridique et complète de l'état de la situation. Le modèle théorique de la conscience de la situation (CS) caractérise cette représentation mentale en trois niveaux : perception, compréhension et projection. La prise de décision s'appuie en grande partie sur la capacité à anticiper l'état futur de l'environnement qui réfère au niveau de la projection de la CS. Cet article vise donc à proposer une démarche de conception de TBG pour soutenir non seulement la perception et la compréhension, mais aussi la projection.

MOTS-CLEFS

Tableau de bord de gestion, conscience de la situation, suivi de la performance, système causal, gestion hospitalière.

1 INTRODUCTION

Toute organisation se doit de gérer sa performance en mettant en place un ensemble de processus organisationnels et de technologies visant à optimiser l'exécution de sa stratégie pour atteindre ses objectifs. La gestion de la performance consiste en un cycle qui se définit en quatre étapes : la définition d'une stratégie, l'exécution de celle-ci, le suivi de l'atteinte des objectifs et les actions pour s'ajuster aux situations problématiques [3]. Dans le cadre du suivi de l'atteinte des objectifs d'une organisation, les tableaux de bord de gestion (TBG) jouent un rôle central [3, 11]. Il s'agit d'un outil fournissant un affichage visuel de l'information la plus pertinente sur un seul écran dans le but de surveiller les principales activités de l'organisation en un coup d'œil et de suivre les progrès par rapport aux objectifs. Certains TBG incluent un outil de forage qui permet aux gestionnaires d'approfondir plusieurs couches d'informations afin de mieux déterminer les problèmes, les causes de ces problèmes et les

© ACM, 2017. This is the author's version of the work. It is posted here by permission of ACM for your personal use. Not for redistribution. The definitive version was published in Actes de la 29ème conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, IHM'17, August 28–September 1, 2017, Poitiers, France
<https://doi.org/10.1145/3132129.3132130>

actions à prendre pour résoudre ces problèmes [3]. Un TBG permet donc, d'une part, de soutenir le diagnostic de la situation actuelle et, d'autre part, de soutenir les gestionnaires dans leur prise de décision afin de redresser cette situation le cas échéant.

Dans cette optique, le TBG doit permettre aux gestionnaires d'obtenir une représentation mentale véridique et complète de l'état de la situation. Le modèle théorique de conscience de la situation (CS) caractérise cette représentation mentale en trois niveaux : perception, compréhension et projection [5]. Or, les TBG semblent se limiter aux niveaux de la perception et de la compréhension en ne se préoccupant pas ou peu de la projection [3, 11]. Ainsi, cet article propose une démarche de conception de TBG pour soutenir à la fois les trois niveaux de la CS.

La section 2 présente le modèle de CS et ses trois niveaux. La section 3 présente les techniques traditionnelles d'analyse des besoins informationnels et de conception visuelle d'interface utilisateur de TBG. La section 4 présente la démarche de conception proposée pour soutenir les trois niveaux de la CS. Un cas d'application au domaine de la gestion hospitalière est employé pour expliquer de manière pratique l'application de la démarche proposée.

2 LA CONSCIENCE DE LA SITUATION

La CS peut être définie simplement comme étant la représentation mentale de l'état de l'environnement à un moment précis. La figure 1 présente le modèle de CS [5]. D'après celui-ci, la CS influe sur la décision qui, à son tour, influe sur les actions. Autant la CS que la décision sont internes à la personne, contrairement à l'action qui permet de modifier l'environnement externe. Une CS de bonne qualité ne garantit pas une bonne décision au même titre qu'une bonne décision ne garantit pas une bonne action. Toutefois, meilleure est la qualité de la CS, plus la probabilité de prendre une bonne décision est grande. D'autre part, il est possible de prendre une bonne décision en ayant une mauvaise conscience de la situation, mais ce serait dû à la chance. La CS et la décision sont donc deux concepts distincts.

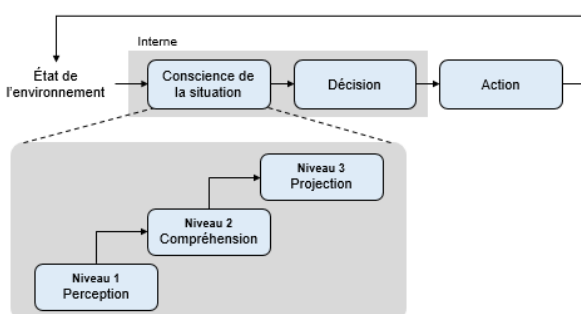


Figure 1: Modèle de la conscience de la situation [5].

Plus formellement, la CS est définie comme étant la perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace (niveau 1), la compréhension de leur signification (niveau 2) et la projection de leur état dans un futur proche (niveau 3) [5]. Ce modèle a permis de comprendre plus

clairement les besoins informationnels notamment de contrôleurs aériens [7–9], de pilotes d'avion [6], de contrôleurs ferroviaires [34] et d'anesthésiologistes [36]. Lors de la conception de l'interface d'un TBG, le concepteur se doit de prendre en compte ces trois niveaux de la CS [4].

Le niveau de la perception (niveau 1) réfère à la capacité de percevoir les états et les attributs de chaque élément de l'environnement. Le décideur cherche ici à percevoir des informations précises et pertinentes en fonction du temps et de l'espace. La notion de temps et d'espace joue habituellement un rôle important dans l'obtention de la CS. Puisque, dans certains domaines comme l'aviation, les décisions sont habituellement prises dans une période restreinte de temps.

Le niveau de la compréhension (niveau 2) réfère à la capacité d'intégrer les éléments perçus au niveau 1 afin de bien comprendre la situation à la lumière des buts à atteindre. En tenant compte de ses buts, l'individu se concentre à intégrer les sources d'informations les plus pertinentes.

Finalement, le niveau de la projection (niveau 3) réfère à la capacité de prédire l'état de l'environnement dans un futur plus ou moins rapproché. Pour ce faire, le niveau de la projection s'appuie sur les deux premiers niveaux de la CS. Ainsi, les trois niveaux de la CS dépendent les uns des autres.

L'obtention de la CS implique plusieurs mécanismes cognitifs comme l'attention, la perception, la mémoire de travail et la mémoire à long terme, mais particulièrement les modèles mentaux [5]. En s'appuyant sur la connaissance résidant dans la mémoire à long terme, les modèles mentaux sont des mécanismes permettant de générer des descriptions de la raison d'être et de la forme d'un système, des explications sur le fonctionnement et les états observés du système ainsi que des prédictions des états futurs du système [28]. Pour ce faire, le modèle mental doit s'appuyer sur un modèle causal du système [24, 25] qui permet non seulement la sélection des éléments pertinents perçus de l'environnement [14], mais permet aussi le raisonnement à la base de la compréhension et de la projection de ces éléments [19].

3 ÉTAT DE L'ART DE LA CONCEPTION DE TBG

Un TBG doit soutenir la CS de son utilisateur [11]. Étant donné la proximité entre la CS et le modèle causal, les pratiques d'analyse des besoins et de conception de TBG devraient en tenir compte. Cette section présente l'état de l'art sur les techniques d'analyse des besoins informationnels des gestionnaires et de la conception visuelle d'un TBG.

3.1 Analyse des besoins informationnels des gestionnaires

Cette partie présente les informations qui doivent être incluses dans un TBG afin d'aider les gestionnaires dans leur prise de décision. Trois méthodes sont présentées, celles de Kaplan et Norton, d'Eckerson et de Few. Ces méthodes permettent de déterminer quelles informations sont pertinentes à présenter aux gestionnaires au travers d'indicateurs et de métriques de performance.

Le tableau de bord équilibré de Kaplan et Norton [17, 22] est une des approches de définition des besoins informationnels les plus utilisées en gestion. Cette approche propose de définir des

indicateurs de performance organisationnelle selon quatre perspectives : financière, client, processus internes ainsi qu'innovation et apprentissage. Traditionnellement, les indicateurs de gestion étaient presque uniquement de nature financière. Certains gestionnaires préféraient des indicateurs de nature opérationnels en supposant que si les activités de l'organisation sont performantes, les bons résultats financiers seront au rendez-vous. Or, les gestionnaires ont besoin d'une représentation équilibrée de l'organisation qui intègre différentes perspectives simultanément, pas uniquement financière ou opérationnelle.

Ce tableau de bord équilibré permet aux gestionnaires de traduire la stratégie et la mission de l'organisation en buts et indicateurs spécifiques. La forme privilégiée est celle de la carte stratégique qui consiste à représenter les relations de cause à effet entre les indicateurs rattachés aux différentes perspectives [16, 18]. Cette approche de représentation suppose que la stratégie est un système causal hypothétique. Par exemple, une organisation peut supposer que des employés mieux formés (innovation et apprentissage) vont contribuer à réduire les erreurs dans les activités (processus internes), ce qui va mener à une plus grande satisfaction de la part des clients (client) et ainsi mener à une augmentation des revenus (financière). C'est dans cette perspective que Kaplan et Norton ont proposé les quatre perspectives.

Eckerson [3] propose quant à lui quatre types de métrique : des métriques de résultats, de tendance, d'activité et de risque. Les métriques de résultats mesurent le résultat des activités de l'organisation en lien avec les objectifs stratégiques. Ces métriques sont généralement un constat du passé et peuvent difficilement être changées ou améliorées par la suite. Les métriques de tendance mesurent les activités de l'organisation qui ont un effet sur les métriques de résultats. Ces deux métriques peuvent être des indicateurs dans le cas où une cible à atteindre est fixée. Les métriques d'activités mesurent des activités de l'organisation sans nécessairement avoir d'objectifs qui leur sont associés. Ils permettent de fournir des informations contextuelles permettant aux utilisateurs du TBG de prendre des décisions mieux éclairées. Les métriques de risques mesurent le risque associé à une activité d'affaires ou l'impact négatif sur les opérations de l'organisation. Ils constituent des signaux préalables permettant de déterminer les situations pouvant rendre difficile l'atteinte de certains objectifs stratégiques. Finalement, les indicateurs clés de performance sont des indicateurs ayant un impact significatif sur les facteurs critiques de succès de l'organisation. Selon Eckerson, un écran de TBG doit présenter entre quatre et sept indicateurs ou métriques maximum pour ne pas submerger l'utilisateur d'informations inutiles [3].

Du côté de Few [11], il indique que l'information affichée par un TBG peut être de nature qualitative et non pas uniquement de nature quantitative. Pour déterminer ces informations, il propose de décrire le modèle mental des gestionnaires. Le modèle mental, ou modèle conceptuel, permet au gestionnaire de réaliser la bonne conduite des processus sous sa responsabilité. Il consiste en une représentation mentale de la structure des éléments d'un domaine expliquant comment ceux-ci sont reliés les uns aux autres et l'effet qu'un a sur un autre. Le modèle mental est décrit de manière informelle par un analyste avec des formes géométriques (cercles, rectangles, etc.)

qui sont reliées par des lignes ou des flèches. Il faut considérer qu'un gestionnaire peu expérimenté aura davantage de difficulté à schématiser son modèle mental. À l'inverse, un gestionnaire très expérimenté pourrait oublier certains liens puisqu'ils ont été intériorisés et sont donc tacites. Conséquemment, cette technique permet de définir un système causal, mais sans garantir qu'il est complet.

Pour conclure, en tenant compte des trois méthodes présentées dans cette partie, l'analyse des besoins des gestionnaires se doit d'aboutir aux choix des indicateurs et métriques de performance qui seront représentés dans le TBG. Ces indicateurs et métriques ne doivent pas être seulement de nature financière. Par exemple, ils peuvent aussi être des indicateurs de risque ou d'activité. Mais il faut avant tout qu'ils représentent l'ensemble du domaine à gérer. Les tendances du passé et de l'état actuel des indicateurs ou métriques se doivent d'être présentées dans le TBG. Ainsi, le gestionnaire peut avoir une vue d'ensemble sur son organisation afin de l'aider à réaliser sa tâche liée au TBG. Afin d'aider les gestionnaires à réaliser efficacement leur tâche, la représentation visuelle de l'interface utilisateur du TBG doit être basée sur des techniques de visualisation efficaces. La prochaine section présente ces différentes techniques de visualisation.

3.2 Conception visuelle du TBG

La conception de l'interface utilisateur d'un TBG porte sur la manière d'afficher les données afin de soutenir le suivi de la performance, en d'autres mots, soutenir la CS de son utilisateur. Ainsi, les choix visuels ont un impact sur la qualité de la CS. Cette partie présente les différentes techniques de visualisation et de disposition des indicateurs et des métriques de performance.

Malik [20] divise la conception de TBG en trois domaines : représentation visuelle, disposition et navigation. La représentation visuelle porte principalement sur l'apparence visuelle et le choix des graphiques. La disposition porte principalement sur la définition des sections et fenêtres. La navigation porte principalement sur les groupements, tabulations et l'accès au détail. Bien que plusieurs techniques soient présentées, aucune règle ou aucun principe ne sont fournis pour aider à faire des choix.

En s'appuyant principalement sur les principes de conception visuelle de Tufte [30] et la synthèse des connaissances sur la perception visuelle de Ware [33], Few propose une série d'ouvrages sur la représentation de données sous la forme de graphiques ou de tableaux [11-13]. En particulier, il propose des techniques d'affichage d'indicateurs pour les TBG qui sont régulièrement reprises dans différents ouvrages sur la création de TBG [3]. Selon Few, un TBG est utilisé pour faire un suivi de la performance. Il doit procurer à son utilisateur une CS de la performance de l'organisation ou d'une partie de celle-ci. Pour ce faire, il doit afficher des données représentant cette performance de manière à être facilement interprétées, c'est-à-dire procurer une représentation mentale véridique et complète sous la forme d'une CS. Ainsi, si la sélection des indicateurs est une étape importante de la conception d'un TBG, il faut aussi se préoccuper de la manière dont ils seront affichés. Un mauvais choix de représentation peut avoir un impact négatif sur la CS et donc des conséquences désastreuses si une CS erronée mène à de mauvaises décisions.

Étant donné la priorité du traitement sensoriel (couleur, forme, orientation, position, taille, etc.) par rapport au traitement symbolique dans le processus de perception visuelle, la représentation graphique est privilégiée à la représentation textuelle. De plus, étant donné les limites cognitives d'une personne, certaines représentations graphiques sont privilégiées à d'autres. Par exemple, puisque les différences de longueurs se distinguent mieux que les différences d'angles, les graphiques à barres sont privilégiés aux graphiques circulaires. Aussi, les graphiques linéaires sont recommandés pour représenter des tendances. En s'appuyant sur ces graphiques, Few propose le graphique en balle (*bullet graph*) et le graphique en ligne-étincelle (*sparkline*). La figure 2 présente un exemple de ces deux graphiques.



Figure 2: Graphique en balle (à gauche) et graphique en ligne-étincelle (à droite).

Le graphique en balle a été développé par Few en 2005 pour remplacer les graphiques en cadran [11]. Le graphique en cadran est de forme circulaire, présente une valeur à l'aide d'une aiguille, comporte généralement des sections pour qualifier la valeur (ex. : normal, acceptable, problématique) et utilise souvent plusieurs couleurs distrayantes qui peuvent ne pas être distinguées par une personne souffrant d'une déficience chromatique visuelle. L'utilisation excessive de couleurs peut aussi distraire l'utilisateur et avoir un impact négatif sur la prise de décision de celui-ci [35].

Le graphique en balle s'appuie sur le graphique à barres et possède tous les avantages du graphique en cadran, sans avoir les inconvénients de celui-ci. Il permet d'afficher des sections, il utilise une barre plutôt qu'une aiguille et il utilise généralement des teintes de gris plutôt que des couleurs. Par exemple, dans la figure 2, le graphique en balle permet d'afficher une barre noire horizontale représentant la valeur de l'état actuel de l'indicateur et une ligne verticale représentant la cible à atteindre. Des zones de différentes teintes de gris permettent de représenter visuellement les sections pour qualifier la valeur de l'état actuel. Dans cet exemple, la section de gauche en gris foncé représente le niveau problématique, la section du milieu en gris représente le niveau acceptable et la section de droite en gris pâle représente le niveau idéal. Un des grands avantages du graphique en balle est l'économie d'espace par rapport au graphique en cadran. Il est possible d'en mettre plusieurs les uns à côté des autres pour permettre leur comparaison.

Le graphique en ligne-étincelle a été popularisé par Tufte [11, 29, 30]. Il s'agit d'un graphique linéaire de petite taille, à haute résolution et sans étiquettes sur les axes qui représente une série chronologique. Ce type de graphique affiché à droite dans la figure 2 a l'avantage d'être concis et peut, par exemple, représenter une tendance sur 12 mois en deux centimètres. L'accent est mis sur la tendance et non sur la précision, d'où l'absence d'échelles quantitatives. Tout comme le graphique en balle, un des grands avantages de ce type de graphique est l'économie d'espace. Encore une fois, lorsque mis côte à côte, il est possible de comparer les différentes tendances.

Du côté de l'état de l'art sur la disposition des graphiques dans un TBG, elle est très peu développée. Rasmussen et ses collègues [27] abordent brièvement la disposition des graphiques en évoquant deux considérations à prendre en compte. La première est de demander l'avis des utilisateurs sur l'importance des indicateurs. Un indicateur de grande importance devrait être disposé en haut à gauche. La deuxième considération est celle du flux de travail de l'utilisateur. Les graphiques liés aux mêmes tâches devraient être placés les uns à côté des autres sans réellement rendre les liens explicites par une flèche par exemple. Ainsi, le système causal n'est pas pris en compte lors de la conception de l'interface, ce qui rend plus difficile l'atteinte du niveau de la projection [19]. Finalement, il se doit d'avoir une distance entre les graphiques puisque cela permet de rendre les données plus faciles à lire pour les utilisateurs [11]. Par contre, aucune précision n'est fournie sur la taille de cette distance.

3.3 Discussion

Du côté de l'analyse des besoins des gestionnaires, les méthodes présentées auparavant ne permettent pas de collecter l'ensemble des besoins des gestionnaires afin de soutenir les trois niveaux de la CS. Certaines méthodes ne tiennent aussi pas en compte du système causal du domaine. Par exemple, bien que la carte stratégique [16, 18] permette de représenter le système causal, l'approche de Kaplan et Norton se limite à la définition des indicateurs de gestions; elle n'indique pas comment afficher les indicateurs sur un TBG. Aussi, les exemples d'application montrent que les relations disparaissent lors de la conception de TBG pour laisser la place exclusivement aux indicateurs [3]. D'autre part, la définition des indicateurs n'est pas réalisée en tenant compte des trois niveaux de la CS. Les indicateurs obtenus par l'approche du tableau de bord équilibré et représenté sous forme d'une carte stratégique concernent uniquement le niveau stratégique de l'organisation. Bien que les perspectives puissent s'appliquer à des sous-ensembles (ex. : division, service, territoire), elles nécessitent que le gestionnaire ait un contrôle sur l'ensemble de celles-ci, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment en ce qui concerne le niveau opérationnel de l'organisation. Afin de soutenir les trois niveaux de la CS, il faut alors se tourner vers d'autres méthodes d'analyse des besoins utilisées dans d'autres domaines autres que la gestion. La démarche de conception de TBG présentée dans la prochaine section utilisera donc une technique d'analyse utilisée en aviation [4].

Du côté de la conception visuelle du TBG, plusieurs types de graphiques permettent de soutenir le niveau de perception de la CS, notamment le graphique à barres et le graphique linéaire. En ce qui concerne le niveau de la compréhension de la CS, il peut être soutenu par des graphiques présentant des cibles, notamment le graphique en balle illustré à la figure 2. On peut aussi utiliser un graphique à barres avec une barre pour la valeur et une autre pour la cible. Par contre, cette approche à l'inconvénient de prendre plus d'espace. Il est possible d'ajouter à un graphique linéaire une ligne horizontale représentant une cible. On peut voir si la ligne représentant la valeur passe au-dessus ou au-dessous de la ligne horizontale. Le graphique en ligne-étincelle de la figure 2 comporte une bande grise qui marque une limite supérieure et une limite inférieure. Le système est dans un état anormal lorsque la ligne dépasse l'une

ou l'autre de ces limites, comme c'est le cas au début (hors de la limite supérieure) et un peu passé la moitié (hors de la limite inférieure).

Pour le soutien au niveau de la projection de la CS, il est possible de représenter graphiquement l'état futur en le distinguant de l'état présent ou passé. Par exemple, en ce qui concerne le graphique en balle et le graphique en ligne-étincelle, la figure 3 illustre comment représenter la projection. Pour le graphique en balle, la barre horizontale noire représentant la valeur actuelle est prolongée avec un gris foncé qui se distingue du noir de la valeur actuelle et du gris des sections [11]. Pour le graphique en ligne-étincelle, la ligne pleine représente la valeur actuelle et la tendance passée tandis que la tendance future est représentée par une ligne en trait tireté.

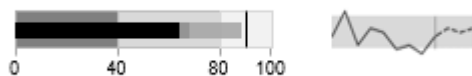


Figure 3: Représentation graphique du niveau de la projection de la CS avec le graphique en balle (à gauche) et le graphique en ligne-étincelle (à droite).

Les techniques de représentation proposée par Few [11] s'adressent uniquement aux indicateurs et non à l'ensemble du TBG. Ainsi, la représentation du système causal n'est pas abordée. L'accent est mis sur la représentation des indicateurs et non comment ceux-ci sont reliés les uns avec les autres. Comme mentionné à la section 2, l'obtention de chacun des trois niveaux de la CS s'appuie sur la représentation interne du système causal. L'affichage sur un même écran de tous les indicateurs soutient le niveau de perception de la CS et favorise le niveau de compréhension de la CS, mais ces niveaux seraient sans doute mieux soutenus par l'explicitation du système causal dans le TBG. D'autre part, le niveau de projection de la CS s'appuie sur la capacité à prédire la valeur ou la tendance future d'un indicateur, ce qui peut être réalisé par un algorithme, une heuristique, un modèle prédictif ou autre moyen. Or, comme pour les autres niveaux, ce niveau peut être soutenu par l'explicitation du système causal en ce sens qu'une compréhension des relations entre les indicateurs procure un effet prédictif sur le système.

Dans cette optique, la démarche de conception de TBG présentée à la section 4 est basée sur cette notion de système causal du domaine.

4 DÉMARCHE DE CONCEPTION PROPOSÉE

Cette section présente une démarche de conception de TBG afin de soutenir les trois niveaux de la CS peu importe le domaine d'application. Cette section se divise en quatre parties. La première présente les caractéristiques nécessaires afin de soutenir les trois niveaux de la CS. La deuxième partie est un exemple de mise en application de la démarche dans le domaine hospitalier. Cette section présente le contexte d'application, les étapes de conception et la maquette du TBG causal. Finalement, les premiers résultats de la validation de la maquette du TBG causal sont présentés.

4.1 Caractéristiques générales

4.1.1 Étape de l'analyse des besoins des gestionnaires. Un TBG soutenant les trois niveaux de la CS doit être conçu à partir d'une analyse complète du domaine d'application. Pour ce faire, l'analyste doit débiter par une analyse de la tâche dirigée par les buts (ATDB) [4]. Cette technique sert à déterminer les exigences informationnelles pour la conception de dispositifs destinés à soutenir la CS indépendamment des moyens utilisés. La manière dont l'information est acheminée à la personne est déterminée ultérieurement lors de la phase de conception. À titre d'exemple, l'information peut être obtenue par l'affichage d'un système informatique ou simplement par communication verbale avec d'autres personnes. L'ATDB met l'accent sur les buts et sous-but à atteindre, les décisions à prendre et les informations nécessaires pour prendre ces décisions. Elle consiste à déterminer les informations pertinentes qui changent dynamiquement lors de l'exécution des tâches plutôt que les règles et connaissances statiques du domaine que doivent posséder les personnes pour réaliser leurs tâches.

Pour représenter le système causal du domaine et ainsi, clarifier les liens causaux entre les différents éléments inclus dans l'ATDB, un graphe du système causal doit être réalisé. Un exemple de ce graphe est présenté à la figure 5. Ce graphe est à la base de la disposition des graphiques dans le TBG causal. Il permet de rendre explicites les liens causaux entre chaque élément du système. Ces deux techniques, soient l'ATDB et le graphe du système causal, permettent de collecter l'ensemble des besoins informationnels qui doit être inclut dans le TBG afin de soutenir les trois niveaux de la CS des gestionnaires.

4.1.2 Étape de la conception visuelle. La conception visuelle de l'interface utilisateur du TBG causal se base sur la notion d'organisation systémique. Il faut tenir compte qu'une organisation peut être vue comme étant un système composé de sous-systèmes reliés entre eux qui interagissent les uns avec les autres pour atteindre des objectifs organisationnels [1]. L'organisation dépend de son environnement tel que ses fournisseurs et ses technologies pour l'acquisition des ressources nécessaires à la transformation. Ses ressources, c'est-à-dire les intrants (matières premières, capital, équipements, etc.) sont transformées par des sous-systèmes en produits ou services (extrants) qui peuvent se traduire en valeur pour les clients. Ainsi, pour gérer la performance d'une organisation, il faut comprendre le fonctionnement du système et clarifier les relations existantes entre les sous-systèmes. Ces connaissances permettent de comprendre ce qui affecte les processus et les résultats de l'organisation.

Pour représenter le système causal d'une organisation, l'affichage proposé d'un TBG se base sur cette notion d'organisation systémique en représentant, dans le TBG, les indicateurs liés aux intrants, à la transformation et aux extrants du domaine d'application. Ces indicateurs sont disposés en fonction du système causal. Ce système causal est représenté sur un seul écran en explicitant les liens entre les différents indicateurs à l'aide de flèches. La proximité et les liens explicites entre les graphiques permettent de mieux soutenir le niveau de la projection [11] et le regroupement des graphiques permet aussi d'améliorer la visualisation lors d'analyses croisées [23]. Cette manière de disposer l'information est innovante pour un TBG puisque traditionnellement les graphiques sont disposés

côte à côte en s'assurant d'afficher les graphiques les plus importants en haut à gauche de l'écran [27].

Le choix des graphiques sont choisis en tenant compte du type de donnée qui doit être représenté et les tâches à réaliser avec le TBG. Dans cette optique, les graphiques à barres et les graphiques linéaires doivent être choisis puisque ces graphiques sont plus efficaces pour les tâches qui requiert d'identifier et de comprendre les relations entre les indicateurs et de faire des comparaisons entre ces indicateurs [35]. Ces types de graphiques permettent de présenter les tendances passées et prévues [10]. Des cibles de performance sont disposées à côté des graphiques. Ces cibles sont représentées à l'aide de petits triangles qui deviennent rouge lorsque la valeur actuel de l'indicateur devient problématique.

Pour ce qui est du nombre d'indicateur, il n'y a pas de nombre maximal. Il faut malgré tout considérer la résolution de l'écran sur lequel le TBG sera consulté pour éviter d'avoir à faire défiler l'écran [3, 11, 13]. Toutefois, certaines technologies récentes permettent aux TBG de s'adapter à la taille de l'écran, ce qui rend impossible d'éviter le défilement sur les petits écrans comme avec les téléphones intelligents. Dans le cas du TBG causal, il faut s'assurer que les liens causaux sont visibles avec toutes les résolutions d'écrans. Dans cette optique, il ne faut pas surcharger l'écran avec des informations non pertinentes pour la réalisation des tâches.

Pour mieux comprendre la démarche de conception proposée, une mise en application dans le domaine de la gestion hospitalière a été réalisée.

4.2 Mise en application

Cette section présente un exemple de mise en application de la démarche proposée.

4.2.1 Contexte d'application. Le cas d'application porte sur le TBG destiné à réaliser le suivi de la performance de l'unité des soins intensifs pédiatriques (USIP) du Centre hospitalier universitaire Sainte-Justine au Québec. Dans ce contexte, le TBG est utilisé à une station de travail standard, le plus fréquemment dans un bureau d'un gestionnaire de l'USIP.

Annuellement, l'USIP accueille environ 1000 enfants en tant que patients. Ils peuvent être admis à l'USIP pour des raisons médicales et chirurgicales graves telles qu'une infection respiratoire sévère ou une opération neurochirurgicale. Les patients ayant eu une transplantation hépatique, cardiaque ou rénale sont aussi soignés suite à leur chirurgie durant leurs premiers jours post-chirurgie.

4.2.2 Analyse des besoins informationnels des gestionnaires. L'analyse des besoins informationnels a débuté par une ATDB. L'analyse a été réalisée à partir de quatre entrevues non structurées avec trois gestionnaires de l'USIP qui possèdent plusieurs années d'expérience en gestion dans le domaine hospitalier. D'autres consultations ont été réalisées auprès de ces gestionnaires pour valider les exigences informationnelles. Des questions en lien avec les buts et sous-butts de l'USIP ont été posées. Les résultats partiels sont présentés à la figure 4. Bien que d'autres sous-butts ont été déterminés, un seul a été retenu pour les besoins de cet article.

Pour assurer l'accès aux soins, les gestionnaires doivent s'assurer que les patients stabilisés puissent être transférés dans une autre unité de l'hôpital. Pour atteindre ce sous-but,

certaines décisions se doivent être prises comme déterminer la quantité de personnel requise pour réaliser le travail ou déterminer quels patients peuvent être transférés dans une autre unité dans les prochains jours. Chaque décision se doit d'être basée sur les différents états des éléments de l'environnement. Par exemple, pour décider combien de patients peuvent être transférés dans les prochains jours, le gestionnaire doit avoir l'état actuel de la sévérité des cas de chaque patient et la durée moyenne de séjour des patients. Il doit aussi connaître le nombre de transferts dans les derniers jours puisqu'un nombre important de transferts en un court délai peut causer un blocage dans les autres unités. Pour atteindre le niveau de la compréhension, le gestionnaire doit être capable de faire des liens entre la sévérité d'un cas et la probabilité d'un patient d'être transféré dans une autre unité. Avec ces liens, il peut atteindre le niveau de la projection en prévoyant le nombre de transferts possible dans les prochains jours. Il est important de mentionner que certains éléments comme le nombre futur de lits occupés ou d'admissions peuvent être prédits par des approches statistiques traditionnelles [2, 15].

But

Assurer l'accès aux soins

Sous-but

Assurer le transfert des patients

Décision

Combien de patients peuvent être transférés?

Perception Sévérité des cas
Nombre de transferts
Durée de séjour
Nombre de lits occupés

Compréhension Impact de la sévérité des cas et du nombre de lits occupés sur les transferts

Projection Prévoir une baisse ou une hausse du nombre de demandes de transfert

Décision

De combien de personnel a-t-on besoin?

Perception Nombre de lits occupés
Ratio de productivité (nombre de personnel/nombre patients)
Budget
Nombre de lits occupés
Admission

Compréhension Impact d'une hausse du volume sur le ratio de productivité et le budget

Projection Prévoir l'écart entre le volume et le ratio-productivité (qui inclut le nombre d'infirmière dans le calcul du ratio)

Décision

Combien de chirurgies seront reportées?

Perception Nombre de lits occupés
Nombre de transferts
Ratio-productivité
Durée de séjour
Sévérité des cas

Compréhension Impact de la sévérité des cas sur le transfert des patients

Projection Prévoir le nombre de chirurgies reportées possibles dans un futur rapproché

Figure 4: Analyse de la tâche dirigée par les buts.

À la suite de l'analyse de la tâche dirigée par les buts, un schéma du système causal de l'USIP a été réalisé. Ce schéma est présenté à la figure 5. En plus de représenter les relations entre les indicateurs, ce schéma représente les éléments associés aux intrants, à la transformation et aux extrants. Le schéma a fait l'objet de plusieurs itérations avec les trois gestionnaires rencontrés lors de l'analyse. Une particularité de ce système causal est que les relations de cause à effet sont toutes bidirectionnelles, d'où l'absence de flèches. Par exemple, le budget limite la quantité de personnel. Or, l'augmentation de la quantité de personnel peut faire varier le budget. Aussi, le nombre d'infections peut limiter le nombre de lits occupés. Or, plus il y a de lits occupés, plus la probabilité d'infections

augmente. Ces liens causaux ont été soulevés à l'aide de mises en contexte avec les gestionnaires.

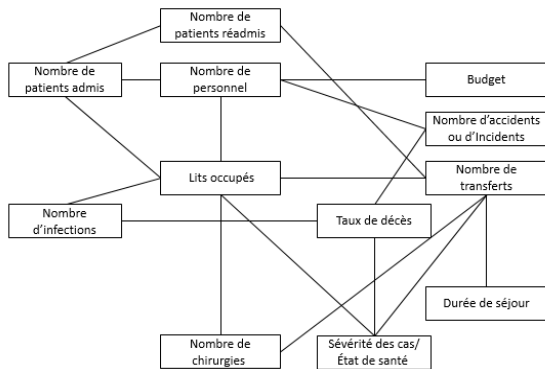


Figure 5: Schéma du système causal de l'USIP.

Ce schéma causal permet de distinguer les éléments représentant l'intrant (les admissions), la transformation (les chirurgies liées aux lits occupés) et l'extrant (les transferts) dans ce système. Il représente aussi le système causal de l'environnement de manière simplifiée. Ce schéma représente les relations de cause à effet entre les éléments du système. Le nombre de lits occupés subit l'effet, par exemple, du nombre d'admissions, le nombre de transferts, la quantité de personnel et le nombre de chirurgies réalisées. Tous les éléments du schéma de la figure 5 correspondent aux informations présentées à la figure 4 qui résultent de l'ATDB. Ces éléments sont des informations nécessaires pour soutenir la CS afin de prendre des décisions pour atteindre les buts des gestionnaires de l'USIP. Ce schéma du système causal ne fait pas partie de l'ATDB. Or, il permet d'avoir une meilleure compréhension des particularités du système qu'est l'USIP. Les résultats de l'analyse permettent de concevoir l'affichage d'un TBG causal dont la maquette est présentée dans la prochaine partie.

4.2.3 Maquette. La maquette conçue à partir de l'ATDB et du schéma causal est présentée à la figure 6.

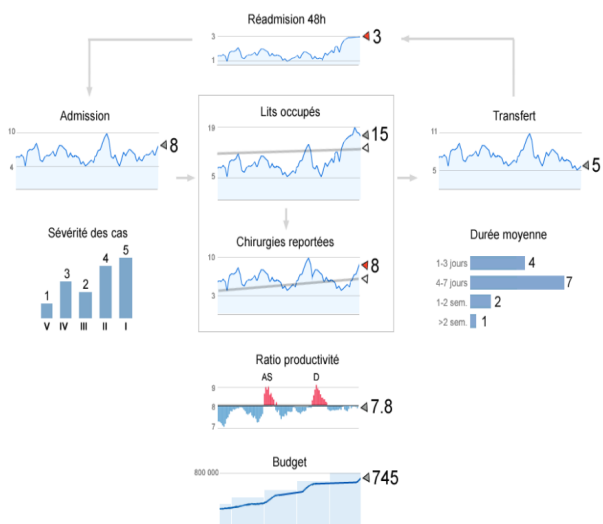


Figure 6: Maquette du TBG causal.

La disposition des graphiques est basée sur la notion d'organisation systémique. Les intrants, la transformation, les ressources nécessaires pour transformer les intrants en extrants et les extrants sont affichés. À gauche, le graphique des admissions représente les intrants du système. Les graphiques des lits occupés et des chirurgies reportées, au centre, représentent les traitements du système. Le graphique des transferts, à droite, représente les extrants du système. En bas, le graphique du ratio de productivité qui inclut la quantité de personnel et le budget sont les ressources nécessaires pour soigner les patients, donc les ressources pour réaliser la transformation dans ce système. La qualité du système est mesurée par le nombre de réadmissions en moins de 48 heures, c'est-à-dire le graphique linéaire en haut. D'autres indicateurs tels que la sévérité des cas et la durée moyenne de séjour sont affichés pour donner davantage d'informations aux gestionnaires dans leur prise de décision.

Des alertes sont représentées par des petits triangles à la droite de certains graphiques, par exemple le triangle gris entre le graphique des admissions et la valeur « 8 ». Lorsqu'un de ces triangles devient rouge, cela indique qu'il y a un problème avec le système comme c'est le cas avec le graphique des chirurgies reportées. Lorsqu'une partie du graphique représentant le ratio de productivité devient rouge, cela indique qu'il y a un problème avec la productivité du personnel. Les lettres en haut de la partie du graphique qui devient rouge indiquent le problème potentiel lié à cette baisse de productivité. Par exemple, « AS » signifie un problème potentiel en assurance-salaire et « D » signifie quant à lui un problème potentiel avec le taux de dotation du personnel.

Du côté du soutien à la CS, les gestionnaires rencontrés lors de l'analyse ont commenté l'une de leurs décisions qui consistent à déterminer le nombre de transferts de patients possible vers une autre unité. Au niveau de la perception (niveau 1), le TBG causal permet aux gestionnaires de percevoir le nombre de transferts dans les derniers jours et même des derniers mois. Il permet aussi de connaître la sévérité des cas de chaque patient, la durée de séjour de chaque patient et le nombre de lits occupés. Le nombre de lits occupés est important à connaître puisque s'il est élevé, les gestionnaires vont devoir donner congé à certains patients plus rapidement. Ces informations permettent aux gestionnaires de passer au niveau de la compréhension (niveau 2), car ils peuvent croiser toutes ces informations pour comprendre l'impact de la sévérité des cas et le nombre de lits occupés sur la durée de séjour et sur le possible transfert d'un patient. Ces liens entre les différents éléments permettent aux gestionnaires de passer au niveau de la projection (niveau 3), car ils sont capables avec ces éléments de prévoir le nombre de patients qui devrait être normalement transféré vers une autre unité dans les prochains jours. La représentation du système causal permet aussi de soutenir l'idée que pour prédire le nombre de transferts, il faut connaître la sévérité des cas, la durée de séjour et le nombre de lits occupés. Tous ces éléments ont un impact sur le nombre de transferts hors de l'USIP.

Malgré que cette maquette se base sur des notions présentes dans l'état de l'art, une évaluation d'utilisabilité doit être réalisée pour évaluer réellement le gain de performance de ce TBG causal.

4.2.4 Premiers résultats. La maquette de TBG causal a été validée et discutée à l'aide de trois entrevues non structurées d'une heure auprès de trois gestionnaires hospitaliers ayant au minimum cinq ans d'expérience en gestion. Leurs commentaires sur cette maquette ont été collectés. Les différentes questions étaient posées afin de valider si le TBG suscite l'intérêt et s'il permet de soutenir les trois niveaux de la CS de chaque gestionnaire. Selon les trois gestionnaires rencontrés, le TBG est attrayant du premier coup d'œil et les liens entre les indicateurs suscitent l'attention. Le premier gestionnaire a indiqué que l'explicitation du système causal est le point fort du TBG. Il permet d'apercevoir rapidement les liens d'influence entre les indicateurs. Si un indicateur pose problème, les différentes causes potentielles sont déjà représentées explicitement, ce qui permet de diminuer le temps passé à trouver la cause du problème et du coup agir plus rapidement. Le deuxième gestionnaire a affirmé que les graphiques linéaires permettent de visualiser les tendances passées des différents indicateurs. Le troisième gestionnaire a indiqué qu'il aime que le TBG soit séparé en intrants, extrants et transformation. Par contre, il craint que pour certains départements comme celui de dermatologie et de psychologie, il n'y ait pas d'éléments qui représenteraient les extrants ou la qualité comme c'est le cas avec les réadmissions à l'USIP.

Du côté du soutien des trois niveaux de la CS, les trois gestionnaires ont mentionné que les TBG traditionnels permettent de soutenir le niveau de la perception et de la compréhension. Par contre, ils ont de la difficulté à projeter l'état futur des différents indicateurs avec le TBG traditionnel puisque la disposition des graphiques n'a pas été choisie en tenant compte des liens entre les différents éléments. À l'inverse, les trois gestionnaires mentionnent que le TBG causal permet selon leur point de vue d'aider à projeter l'état futur du système dû aux liens représentés par des flèches. Tous ces commentaires permettent de présager que le TBG causal pourrait bonifier l'apport des TBG dans la prise de décision des gestionnaires hospitaliers. Par conséquent, il serait pertinent de valider de manière expérimentale les différentes maquettes du TBG causal.

Finalement, cette mise en application permet de comprendre le lien entre la structure informationnelle issue de l'ATDB (figure 4) et le schéma du système causal (figure 5). L'ATDB permet de déterminer les informations nécessaires à l'obtention d'une CS et le schéma du système causal reprend ces informations (indicateurs) en mettant en lumière les relations causales entre celles-ci. Ces relations permettent de disposer les indicateurs d'une manière appropriée dans le TBG afin de soutenir les trois niveaux de la CS des gestionnaires.

5 CONCLUSION

Cet article présente une démarche de conception de TBG soutenant les trois niveaux de la CS. Cette démarche constitue la contribution principale. Dans cette démarche, les auteurs présentent une technique novatrice d'affichage d'un TBG permettant de soutenir les trois niveaux de la CS. Cette technique, qui s'appuie sur la représentation du système causal d'un domaine, constitue la plus importante des contributions secondaires.

Par ailleurs, l'application de cette technique a permis deux autres contributions secondaires. Premièrement, cet article

présente une application de l'ATDB pour un domaine, soit la gestion hospitalière, qui n'a pas encore fait l'objet de beaucoup de publications en visualisation d'informations. Deuxièmement, la démarche entreprise se soldant en une maquette de TBG a permis de révéler que l'ATDB ne permet pas de représenter le modèle causal. Cette technique d'analyse met plutôt l'accent sur les buts et sous-but à atteindre, les décisions à prendre et les informations nécessaires pour prendre ces décisions. Or, les relations entre les informations ne sont pas explicites. C'est pourquoi il a fallu créer un schéma du système causal (figure 5) à partir des informations obtenues par l'ATDB.

Bien que les gestionnaires consultés aient commenté positivement la maquette du TBG causal, celle-ci n'a pas été formellement validée. Une des avenues futures de recherche est donc de valider expérimentalement la maquette de TBG causal pour la gestion de la performance de l'USIP. Il s'agit de mesurer son impact sur les trois niveaux de la CS par rapport à une maquette de TBG qui correspond à un affichage traditionnel comme présenté à la section 3. La maquette de TBG causal et la maquette de TBG traditionnel seraient en tout point similaires. La seule différence est la disposition des graphiques. Les graphiques de la maquette de TBG traditionnel ne seraient pas disposés de manière à rendre explicites leurs relations systémiques (intran, traitement, extrant), mais plutôt disposés les uns à côté des autres.

Dernièrement, en termes de recherches futures, il sera pertinent d'approfondir la notion de système causal pour soutenir la CS. Puisque l'ATDB ne se préoccupe pas des relations entre les informations, il faut se tourner vers d'autres approches d'analyse. Notamment, l'analyse du domaine de travail (*work domain analysis*), le premier des cinq niveaux d'analyse de l'analyse cognitive du travail (*cognitive work analysis*) [26, 31], est une approche d'analyse mettant l'accent sur les contraintes du domaine de travail sous forme de variables et de relations entre elles [21, 31]. La technique de représentation privilégiée est la hiérarchie d'abstraction qui consiste à structurer les informations essentielles à l'atteinte des buts à travers différents niveaux d'abstraction [21, 25, 26, 32]. Ce faisant, elle semble correspondre à l'explicitation du modèle mental d'un individu, c'est-à-dire l'ensemble des variables et leurs relations nécessaires à la compréhension de la dynamique de l'environnement. Conséquemment, l'intégration de l'ATDB et de l'analyse du domaine de travail mérite d'être étudiée. Plus spécifiquement, il faut voir comment la hiérarchie d'abstraction permettrait de mettre en relation les informations associées aux trois niveaux de la CS à travers ses différents niveaux d'abstraction.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Centre hospitalier universitaire Sainte-Justine pour son appui financier dans ce projet de recherche et son personnel pour sa contribution, notamment Claude Fortin et Geneviève Parisien. Ils tiennent aussi à remercier tous les gestionnaires hospitaliers rencontrés au cours de cette recherche. Dernièrement, les auteurs remercient les lecteurs pour leurs pertinents commentaires.

RÉFÉRENCES

- [1] Beynon-Davies, P. 2013. *Business Information Systems, 2nd edition*. Palgrave.
- [2] Boyle, J., Jessup, M., Crilly, J., Green, D., Lind, J., Wallis, M., Miller, P. and Fitzgerald, G. 2012. Predicting emergency department admissions. *Emerg Med J.* 29, 5 (May 2012), 358–365.
- [3] Eckerson, W.W. 2010. *Performance Dashboards: Measuring, Monitoring, and Managing Your Business*. John Wiley & Sons.
- [4] Endsley, M.R. 2012. *Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design, 2nd edition*. CRC Press.
- [5] Endsley, M.R. 1995. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors.* 37, 1 (1995), 32–64.
- [6] Endsley, M.R., Farley, T.C., Jones, W.M., Midkiff, A.H. and Hansman, R.J. 1998. *Situation Awareness Information Requirements For Commercial Airline Pilots*. Technical Report #ICAT-98-1. International Center for Air Transportation.
- [7] Endsley, M.R., Mogford, R.H., Allendoerfer, K.R., Snyder, M.D. and Stein, E.S. 1997. *Effect of Free Flight Conditions on Controller Performance, Workload, and Situation Awareness*. Technical Report #DOT/FAA/CT-TN97/12. U.S. Department of Transportation.
- [8] Endsley, M.R. and Rodgers, M.D. 1994. *Situation awareness information requirements for en route air traffic control*. Technical Report #DOT/FAA/AM-94/27. Office of Aviation Medicine.
- [9] Endsley, M.R., Sollenberger, R., Nakata, A. and Stein, E.S. 2000. *Situation Awareness in Air Traffic Control: Enhanced Displays for Advanced Operations*. Technical Report #DOT/FAA/CT-TN00/01. U.S. Department of Transportation.
- [10] Few, S. 2013. *Information dashboard design: displaying data for at-a-glance monitoring*. Burlingame, California: Analytics Press, [2013].
- [11] Few, S. 2013. *Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring, 2nd edition*. Analytics Press.
- [12] Few, S. 2009. *Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis*. Analytics Press.
- [13] Few, S. 2012. *Show Me the Numbers: Designing Tables and Graphs to Enlighten*. Analytics Press.
- [14] Garcia-Retamero, R., Wallin, A. and Dieckmann, A. 2007. Does causal knowledge help us be faster and more frugal in our decisions? *Memory & Cognition.* 35, 6 (2007), 1399–1409.
- [15] Golmohammadi, D. 2016. Predicting Hospital Admissions to Reduce Emergency Department Boarding. *International Journal of Production Economics.* 182, (Dec. 2016), 535–544.
- [16] Kaplan, R.S. and Norton, D. 1996. Linking the Balanced Scorecard to Strategy. *California Management Review.* 39, 1 (1996), 53–79.
- [17] Kaplan, R.S. and Norton, D.P. 1992. The Balanced Scorecard—Measures that Drive Performance. *Harvard Business Review.* January-February (1992), 71–79.
- [18] Kaplan, R.S. and Norton, D.P. 2000. *The Strategy-Focused Organization: How Balanced Scorecard Companies Thrive in the New Business Environment*. Harvard Business Review Press.
- [19] Khemlani, S.S., Barbey, A.K. and Johnson-Laird, P.N. 2014. Causal reasoning with mental models. *Frontiers in Human Neuroscience.* 8, Oct (2014).
- [20] Malik, S. 2005. *Enterprise Dashboards: Design and Best Practices for IT*. John Wiley & Sons.
- [21] Naikar, N. 2013. *Work Domain Analysis: Concepts, Guidelines, and Cases*. CRC Press.
- [22] Norton, D.P. and Kaplan, R.S. 1996. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy Into Action*. Harvard Business School Press.
- [23] Orts, D. 2005. Dashboard Implementation Methodology. *DM Review.* 15, 6 (Jun. 2005), 16–17.
- [24] Rasmussen, J. 1979. *On the Structure of Knowledge - A Morphology of Metal Models in a Man-Machine System Context*. Technical Report #2192. Risø National Laboratory.
- [25] Rasmussen, J. 1983. Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* SMC-13, 3 (1983), 257–266.
- [26] Rasmussen, J., Pejtersen, A.M. and Goodstein, L.P. 1994. *Cognitive Systems Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- [27] Rasmussen, N.H., Bansal, M. and Chen, C.Y. 2009. *Business Dashboards: A Visual Catalog for Design and Deployment*. John Wiley & Sons.
- [28] Rouse, W.B. and Morris, N.M. 1985. *On Looking into the Black Box: Prospects and Limits in the Search for Mental Models*. Technical Report #85-2. Center for Man-Machine Systems Research, School of Industrial & Systems Engineering, Georgia Institute of Technology.
- [29] Tufte, E.R. 2006. *Beautiful Evidence*. Graphics Press.
- [30] Tufte, E.R. 2001. *The Visual Display of Quantitative Information, 2nd edition*. Graphics Press.
- [31] Vicente, K.J. 1999. *Cognitive Work Analysis: Toward Safe, Productive, and Healthy Computer-Based Work*. CRC Press.
- [32] Vicente, K.J. and Rasmussen, J. 1992. Ecological interface design: theoretical foundations. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.* 22, 4 (Jul. 1992), 589–606.
- [33] Ware, C. 2012. *Information Visualization: Perception for Design, 3rd edition*. Morgan Kaufmann.
- [34] Wilson, J.R., Cordiner, L., Nichols, S., Norton, L., Bristol, N., Clarke, T. and Roberts, S. 2001. On the Right Track: Systematic Implementation of Ergonomics in Railway Network Control. *Cognition, Technology & Work.* 3, 4 (2001), 238–253.
- [35] Yigitbasioglu, O.M. and Velcu, O. 2012. A review of dashboards in performance management: Implications for design and research. *International Journal of Accounting Information Systems.* 13, 1 (Mar. 2012), 41–59.
- [36] Zhang, Y., Drews, F.A., Westenskow, D.R., Foresti, S., Agutter, J., Bermudez, J.C., Blike, G. and Loeb, R. 2002. Effects of Integrated Graphical Displays on Situation Awareness in Anaesthesiology. *Cognition, Technology & Work.* 4, 2 (2002), 82–90.

