



HAL
open science

Conception et génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage contextuels

Ines Dabbebi

► **To cite this version:**

Ines Dabbebi. Conception et génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage contextuels. Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Le Mans Université, 2019. Français. NNT : 2019LEMA1040 . tel-02443909

HAL Id: tel-02443909

<https://theses.hal.science/tel-02443909>

Submitted on 17 Jan 2020

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

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

THÈSE DE DOCTORAT DE

LE MANS UNIVERSITE
IMT ATLANTIQUE BRETAGNE-PAYS DE LA LOIRE
COMUE UNIVERSITE BRETAGNE LOIRE

ÉCOLE DOCTORALE N° 601
*Mathématiques et Sciences et Technologies
de l'Information et de la Communication*
Spécialité : *Informatique (Section CNU 27)*

Par

Inès DABBEBI

Conception et génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage contextuels

Thèse présentée et soutenue à Laval, le 11 Octobre 2019

Unité de recherche : **Laboratoire Informatique de l'Université du Mans (LIUM)**

**Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Information, de la Communication
et de la Connaissance (Lab-STICC)**

Thèse N° : 2019LEMA1040

Rapporteurs avant soutenance :

Vanda LUENGO Professeure des Universités, Sorbonne Université - LIP6

Jean-Charles MARTY Maître de conférences HDR, Université de Savoie Mont-Blanc

Composition du Jury :

Président : Sébastien GEORGE Professeur des Universités, Le Mans Université

Examineurs : Anne BOYER Professeure des Universités, Université de Lorraine

Philippe DAUBIAS Ingénieur de Recherche – Docteur, ENS Lyon – IFE

Dir. de thèse : Sébastien IKSAL Maître de conférences HDR, Le Mans Université

Serge GARLATTI Professeur des Universités, IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire

Co-dir. de thèse : Jean-Marie GILLIOT Maître de conférences, IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire

Remerciements

Je tiens à remercier mon directeur de thèse M. Sébastien Iksal d'avoir dirigé cette thèse, pour sa relecture, ses retours réguliers et pour son suivi tout le long de la thèse.

Ensuite je veux remercier mon co-directeur de thèse M. Serge Garlatti pour tous ses précieux conseils.

Je remercie infiniment mon encadrant de thèse M. Jean-Marie Gilliot qui m'a soutenu sur les aspects scientifiques de la thèse tant sur le plan des connaissances que de la rigueur.

Je remercie les rapporteurs Mme Vanda Luengo et M. Jean-Charles Marty pour l'intérêt porté à la lecture de cette thèse que j'ai pu mesurer par leurs remarques pertinentes et constructives.

Je tiens à remercier également Mme Anne Boyer d'avoir participé au jury de ma thèse. Je remercie M. Sébastien George pour sa participation à ce jury et pour ses conseils pertinents tout au long de ma thèse. Je remercie aussi M. Philippe Daubias pour sa participation à ce jury et son accompagnement durant mes rencontres avec les enseignants.

Je tiens à remercier également Mme Marie Lefèvre et M. Issam Rebei membres du comité de suivi de thèse, d'avoir accepté d'évaluer mon travail année après année.

J'adresse également tous mes remerciements à tous les membres du projet ANR Hubble pour cette expérience scientifique enrichissante.

Je remercie aussi les personnes qui ont contribué indirectement à cette thèse de par de leur soutien et leur aide scientifique, je pense en particulier à Guillaume, Quentin, Vincent, Aicha, Youness, Oussema, Zeyneb et plus généralement l'équipe IEIAH et l'équipe IHSEV.

Merci à toutes les personnes qui travaillent à l'IUT de Laval, merci en particulier à M.Thierry Amiard pour leur soutien administratif, merci au personnel du service informatique.

Je remercie également les personnels du département génie biologique plus spécialement Dalal, Claire, Virginie et Rose-Marie.

Pour mes parents qui ont toujours été un pilier dans mon parcours. Et toute ma famille qui m'a encouragée depuis le début.

À la personne sans qui rien ne serait possible.

Table des matières

Remerciements	2
1 Introduction générale	11
1.1 Contexte scientifique	11
1.1.1 Analytique de l'apprentissage numérique (<i>Learning Analytics</i>) . . .	11
1.1.2 Projet HUBBLE	12
1.2 Problématique générale et questions de recherche	13
1.3 Limites des travaux existants	17
1.4 Hypothèses	19
1.5 Contributions	20
1.5.1 Processus de capture des besoins et d'identification des dimensions de conception (Q1)	21
1.5.2 Modèles pour la génération des tableaux de bord (Q2)	22
1.5.3 Processus de génération des tableaux de bord (Q3)	23
1.6 Organisation du document	24
I État de l'art	25
2 Cadre d'étude	26
2.1 Processus d'analyse des données	26
2.1.1 Analytique de l'apprentissage numérique (<i>Learning Analytics</i>) . . .	26
2.1.2 Informatique décisionnelle (<i>Business Intelligence</i>)	27
2.1.3 Discussion	28
2.2 Indicateur d'apprentissage et Indicateur clé	29
2.2.1 Indicateur d'apprentissage	29
2.2.2 Indicateur clé de performance	30
2.2.3 Discussion	30
2.3 Tableau de bord	30
2.3.1 Tableau de bord d'apprentissage	31
2.3.2 Tableau de bord décisionnel	31
2.3.3 Discussion	32
2.4 Parallèle entre les deux domaines d'analyse	32
2.5 Processus de prise de décision	33
2.5.1 Décision	33
2.5.2 Prise de décision	34
2.5.3 Aide à la décision	35
2.6 Définition des objectifs	36
2.7 Conclusion	37

3	Processus de conception de tableaux de bord d'apprentissage	38
3.1	Étapes d'un processus de conception	38
3.2	Étape de capture des besoins centrée utilisateur	40
3.2.1	Intérêt d'une démarche centrée sur l'utilisateur	40
3.2.2	Apport d'une démarche participative	40
3.2.3	Quelques outils pour accompagner la capture des besoins	42
3.3	Modélisation de tableaux de bord d'apprentissage	42
3.3.1	Dimensions de conception : d'une capture des besoins vers une modélisation	43
3.3.2	Discussion	45
3.3.3	Modèles pour les tableaux de bord	46
3.3.4	Discussion	48
3.4	Génération de tableaux de bord	50
3.4.1	Solutions pour la génération de tableaux de bord	50
3.4.2	Discussion	52
3.5	Structures des systèmes d'adaptation	54
3.5.1	Modélisation dans un système d'adaptation	54
3.5.2	Processus de génération adaptatifs	55
3.5.3	Discussion	56
3.6	Conclusion	56
4	Revue de tableaux de bord d'apprentissage	58
4.1	Travaux sur les tableaux de bord généraux avec des indicateurs prédéfinis .	59
4.1.1	Présentation des travaux	59
4.1.2	Limites	65
4.2	Travaux sur les tableaux de bord sur mesure avec des indicateurs non prédéfinis	67
4.2.1	Présentation des travaux	67
4.2.2	Limites	69
4.3	Synthèse sur les dimensions de conception d'un tableau de bord d'apprentissage	69
4.3.1	Dimensions "Qui?" et "Pourquoi?"	70
4.3.2	Dimension "Quand?"	70
4.3.3	Dimension "Quoi?"	70
4.3.4	Dimension "Comment?"	71
4.3.5	Dimension "Où?"	71
4.4	Conclusion	73
II	Contributions	75
5	Conception itérative de processus de capture et analyse des besoins	76
5.1	Processus de capture des besoins	77
5.2	Première itération : l'enquête par questionnaire	78
5.2.1	Participants	79
5.2.2	Organisation des questions	79
5.2.3	Synthèse	80
5.3	Deuxième itération : l'enquête par entretiens	83
5.3.1	Objectifs relatifs aux entretiens	83
5.3.2	Participants	84
5.3.3	Organisation des questions	85

5.3.4	Discussion	85
5.4	Troisième itération : les ateliers participatifs	86
5.4.1	Déroulement des ateliers	86
5.4.2	Discussion	89
5.5	Quatrième itération : support à la conception participative de tableaux de bord d'apprentissage	90
5.5.1	Motivations	90
5.5.2	Espace de conception de tableau de bord d'apprentissage	91
5.5.3	Principe	91
5.5.4	Préparation et matériel	93
5.5.5	Ateliers de test de l'outil de conception participative	95
5.5.6	Déroulement de l'atelier dans le cadre du projet TactileoMap	96
5.5.7	Résultats de la capture des besoins : cas de TactileoMap	96
5.5.8	Discussion	99
5.6	Conclusion	99
6	Modélisation de tableaux de bord d'apprentissage	101
6.1	Modélisation des besoins et contextes utilisateurs	102
6.1.1	Modèle de contexte utilisateur	102
6.1.2	Modèle de décision	103
6.2	Modélisation des indicateurs	105
6.2.1	Indicateur	106
6.2.2	Contexte d'un indicateur	107
6.2.3	Caractéristiques techniques	107
6.3	Modélisation des moyens de visualisation	108
6.4	Modélisation pour la réutilisation du tableau de bord d'apprentissage	109
6.4.1	Modèle de composition du tableau de bord d'apprentissage	110
6.4.2	Modélisation du patron d'un tableau de bord d'apprentissage	111
6.5	Conclusion	113
7	Processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage	115
7.1	Étape 1 : l'identification des indicateurs	116
7.1.1	Identification du contexte utilisateur	117
7.1.2	Identification de la liste des indicateurs	117
7.1.3	Identification du patron	118
7.1.4	Identification des indicateurs clés	118
7.2	Étape 2 : l'organisation des indicateurs clés	120
7.2.1	Création des vues du tableau de bord d'apprentissage	122
7.2.2	Création des sections du tableau de bord d'apprentissage	122
7.3	Étape 3 : l'instanciation du tableau de bord d'apprentissage	125
7.3.1	Création des composants graphiques	126
7.3.2	Filtrage des mesures	127
7.3.3	Identification de la liste des moyens de visualisation possibles	129
7.3.4	Présentation du tableau de bord d'apprentissage	130
7.3.5	Ajustement du format des mesures	130
7.4	Conclusion	131

III	Mise à l'essai et évaluation	133
8	Architecture du générateur de tableaux de bord d'apprentissage	134
8.1	Architecture du générateur de tableaux de bord d'apprentissage	134
8.1.1	Modèles conceptuels	135
8.1.2	Questionnaire	138
8.1.3	Générateur de tableaux de bord d'apprentissage	139
8.2	Prototype de générateur de tableaux de bord d'apprentissage	141
8.2.1	Instrumentation du questionnaire	142
8.2.2	Instrumentation du tableau de bord d'apprentissage	143
8.3	Conclusion	145
9	Mise à l'essai et résultats du générateur de tableaux de bord d'apprentissage	147
9.1	Application au cas de TactileoMap	147
9.1.1	Première itération : la génération d'un tableau de bord d'apprentissage général	148
9.1.2	Deuxième itération : l'introduction de la notion de patron de tableaux de bord d'apprentissage	151
9.1.3	Troisième itération : l'intégration des indicateurs	154
9.2	Application au cas de RearthM3	158
9.2.1	Présentation du jeu RearthM3	158
9.2.2	Tableaux de bord pour RearthM3	159
9.3	Conclusion	161
IV	Conclusion	163
10	Conclusion	164
10.1	Synthèse	164
10.1.1	Processus de capture des besoins	164
10.1.2	Modélisation des tableaux de bord	165
10.1.3	Génération des tableaux de bord d'apprentissage	165
10.1.4	Expérimentation de la génération de tableaux de bord d'apprentissage	166
10.2	Limites et Perspectives	166
10.2.1	Amélioration du prototype de générateur de tableaux de bord d'apprentissage	167
10.2.2	Co-conception des tableaux de bord d'apprentissage	168
10.2.3	Capitalisation des tableaux de bord d'apprentissage	168
10.2.4	Évaluation du générateur de tableaux de bord d'apprentissage	168
10.2.5	Vers une génération de tableaux de bord d'apprentissage adaptatifs	169
A	Questionnaire de capture des besoins	181
B	Vue comparative de tableaux de bord d'apprentissage	183

Table des figures

2.1	Vue comparative entre les deux processus d'analyse	29
2.2	Illustration du modèle IMCC	35
2.3	Liens entre la prise de décision, l'aide à la décision et la réalisation de l'objectif	35
3.1	Étapes d'un processus de conception centré sur l'utilisateur [Jokela <i>et al.</i> , 2003]	39
3.2	Comparaison d'un processus de capture des besoins entre une approche centrée sur l'utilisateur et une approche participative	41
3.3	Modèle de référence de l'analytique de l'apprentissage numérique [Chatti <i>et al.</i> , 2012]	44
3.4	Métamodèle d'une stratégie d'observation [Ouali <i>et al.</i> , 2014]	47
3.5	Métamodèle d'un tableau de bord [Chowdhary <i>et al.</i> , 2006]	48
3.6	Architecture du processus de spécification [Ouali, 2016]	51
3.7	Flux de composants du tableau de bord [Chowdhary <i>et al.</i> , 2014]	51
3.8	Architecture du moteur de composition [Iksal et Garlatti, 2002]	55
4.1	Statistiques sur les progrès [Van Leeuwen <i>et al.</i> , 2017]	59
4.2	Tableau de bord de GISMO [Mazza et Botturi, 2007]	60
4.3	Tableau de bord HeatMap [Bueckle et Börner, 2017]	60
4.4	Tableau de bord LARAE [Charleer <i>et al.</i> , 2014]	61
4.5	Visualisation de données sur Lab4CE [Venant, 2016]	62
4.6	Tableau de bord LAPA [Park et Jo, 2015]	62
4.7	Tableau de bord Student Explorer [Aguilar <i>et al.</i> , 2014]	63
4.8	Maquette du tableau de bord de [Abel et Evans, 2013]	64
4.9	Tableau de bord multi-institutionnel de [Broos <i>et al.</i> , 2018]	65
4.10	Interface de conception des indicateurs de DDART [Ji <i>et al.</i> , 2014]	67
4.11	Outil EVADE [Kapros et Peirce, 2014]	68
4.12	Tableau de bord PADA [Mejia <i>et al.</i> , 2012]	68
4.13	Tableau de bord de l'outil Lumilo [Holstein <i>et al.</i> , 2018]	69
5.1	Démarche de travail	77
5.2	Processus de capture des besoins	78
5.3	Répartition des cas d'étude par rôle	80
5.4	Résultats de l'activité de réalisation de croquis	87
5.5	Résultats de l'activité de réalisation des wireframes	87
5.6	Résultats de l'activité de réalisation des maquettes	88
5.7	Espace de conception de tableaux de bord d'apprentissage	94
5.8	Résultats de l'étape de caractérisation	97
5.9	Résultats de l'étape de prototypage	98
5.10	Résultats de l'étape de la présentation	99

6.1	Modèle conceptuel du contexte utilisateur (UML)	103
6.2	Modèle conceptuel de décision	104
6.3	Modèle conceptuel d'indicateur (UML)	106
6.4	Modèle conceptuel du moyen de visualisation (UML)	108
6.5	Modèle de composition d'un tableau de bord d'apprentissage	110
6.6	Lien entre le patron et le modèle de composition	111
6.7	Modèle conceptuel du patron	112
7.1	Vue d'ensemble du processus de génération	115
7.2	Étape 1 : identification des indicateurs	117
7.3	Identification du contexte utilisateur	117
7.4	Processus de sélection des indicateurs	118
7.5	Illustration de la correspondance entre les termes génériques et spécifiques	119
7.6	Exemple d'indicateur étiqueté	120
7.7	Illustration d'extraction des dimensions	120
7.8	Illustration de l'organisation des indicateurs clés en vues et sections	121
7.9	Illustration de la création des vues (R1)	122
7.10	Illustration de la création des sections (R2)	123
7.11	Illustration de l'organisation inter-sections (R3)	123
7.12	Illustration de l'application de la règle de continuité (R4)	124
7.13	Exemple d'application de la règle de précision (R6)	125
7.14	Étape 3 : l'instanciation du tableau de bord d'apprentissage	125
7.15	Résultat d'application de la règle de répartition (R7)	126
7.16	Illustration de la sélection des moyens de visualisation	130
7.17	Exemple d'un indicateur réparti en quatre composants graphiques (<i>widget</i>)	131
8.1	Architecture du prototype	134
8.2	Exemples des moyens d'interactions présentés dans le générateur	136
8.3	Architecture du questionnaire	138
8.4	Moteurs du générateur de tableaux de bord d'apprentissage	139
8.5	Représentation du fichier de description générique du tableau de bord d'apprentissage (Schéma XML)	140
8.6	Représentation du composant graphique (Schéma XML)	141
8.7	Interface utilisateur en trois pages	142
8.8	Exemple d'un tableau de bord d'apprentissage généré	143
8.9	Exemple d'un tableau de bord opérationnel	144
8.10	Exemple d'un tableau de bord stratégique	145
9.1	Application TactileoMap [Sanchez <i>et al.</i> , 2014]	147
9.2	Résultat de la première génération d'un tableau de bord d'apprentissage	149
9.3	Tableau de bord opérationnel : le suivi de la performance des équipes après une seule séance	152
9.4	Tableau de bord tactique : le suivi de la performance des équipes sur des périodes de temps.	153
9.5	Premier tableau de bord stratégique	153
9.6	Deuxième tableau de bord stratégique	154
9.7	Génération d'un tableau de bord tactique lors de la troisième itération	155
9.8	Génération d'un tableau de bord opérationnel lors de la troisième itération	156
9.9	Génération d'un tableau de bord stratégique lors de la troisième itération	158
9.10	Interfaces de RearthM3	159
9.11	Tableau de bord généré par l'outil UTL [Iksal <i>et al.</i> , 2018]	160

9.12 Génération d'un tableau de bord stratégique pour RearthM3 161

Liste des tableaux

2.1	Comparaison entre les deux processus d'analyse	32
3.1	Comparaison entre les modèles de tableaux de bord	49
3.2	Étude sur les travaux de Ouali [2016] : Intervention des acteurs durant la génération de tableau de bord	52
3.3	Étude sur les travaux de Chowdhary <i>et al.</i> [2014] : Intervention des acteurs durant la génération de tableau de bord	53
4.1	Liste des éléments décrivant les dimensions de conception	72
4.2	Liste des valeurs pour chaque dimension de conception	72
5.1	Synthèse des résultats du questionnaire	82
5.2	Synthèse des éléments associés aux dimensions de conception	100
7.1	Exemple d'indicateur avec trois niveaux de granularité différents	128
7.2	Exemple d'application de la règle de fusion (R9)	128
9.1	Évaluation du tableau de bord organisée par section	150
9.2	Évaluation du tableau de bord en termes des modèles	150
A.1	Description des éléments du questionnaire	182
B.1	Étude comparative des tableaux de bord d'apprentissage existants	184

Chapitre 1

Introduction générale

Nombre d'Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH) engendrent une production de traces numériques résultant de l'activité des différents utilisateurs au cours d'une situation pédagogique. Cependant, l'exploitation de ces traces nécessite la définition de tout un processus d'analyse permettant de traiter et de visualiser des données autour d'une situation d'apprentissage.

La construction de ces processus d'analyse rend explicites de nombreuses informations qui sont mises à disposition des utilisateurs (enseignants, apprenants, concepteurs, administratifs, etc.). Cela permet également à l'analyste et au chercheur de proposer, de concevoir et de tester de nouveaux concepts, indicateurs ou modèles. Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons à un modèle particulier dont l'objectif est de décrire un tableau de bord d'apprentissage adapté, contextuel et dynamique au service de chaque utilisateur intervenant dans le système d'enseignement.

Dans ce chapitre d'introduction, nous présentons d'abord le contexte scientifique dans lequel s'insère notre recherche. Le travail que nous présentons dans cette thèse s'inscrit principalement dans une problématique générale de l'analytique de l'apprentissage numérique et particulièrement dans le contexte du projet ANR HUBBLE. Ensuite, nous présentons notre problématique, tout en détaillant nos questions de recherche. Nous énumérons par la suite les limites des travaux existants et nos hypothèses. Nous décrivons ainsi nos contributions de recherche. Enfin, nous terminons ce chapitre par le plan de ce manuscrit.

1.1 Contexte scientifique

Ce paragraphe propose, dans un premier temps, une brève introduction aux analytiques des apprentissages numériques et à l'affichage des résultats d'analyse à différentes catégories d'utilisateurs. Dans un second temps, les objectifs principaux du projet ANR HUBBLE sont présentés tant du point de vue des analyses que du point de vue des tableaux de bord. En effet, cette thèse s'inscrit dans le cadre de ce projet ANR.

1.1.1 Analytique de l'apprentissage numérique (*Learning Analytics*)

Les *Learning Analytics (LA)* appelés analytique de l'apprentissage numérique [Labarthe et Luengo, 2016] ont notamment pour enjeux de collecter des traces d'interaction des apprenants, de les analyser et de proposer un affichage des résultats d'analyse à différents utilisateurs. Il est donc nécessaire de leur proposer des affichages adaptés à leurs besoins, principalement sous la forme de tableaux de bord [Few, 2013].

Un tableau de bord d'apprentissage est un affichage unique qui regroupe différents indicateurs sur l'apprenant, le(s) processus d'apprentissage et/ou le(s) contexte(s) d'apprentissage en un ou plusieurs moyens des visualisations [Schwendimann *et al.*, 2017]. Un indicateur, c'est l'implémentation et le résultat d'un processus d'analyse. Il est défini comme un observable signifiant sur le plan pédagogique, calculé ou établi à l'aide d'observés, et témoignant de la qualité de l'interaction, de l'activité et de l'apprentissage dans un EIAH. L'indicateur est défini en fonction d'un objectif d'observation et motivé par un objectif pédagogique [Iksal, 2012]. Le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique est un nouveau domaine qui s'est donné comme objectif de construire ces processus d'analyse en lien avec les utilisateurs. Selon Scelier [2017], le but est d'analyser les traces numériques laissées par les apprenants afin de mieux les comprendre et d'optimiser l'apprentissage. En effet, l'analytique de l'apprentissage numérique porte sur la mesure, la collecte, l'analyse et la communication de rapports fondés sur des traces d'apprenants en situation d'apprentissage dans le but de comprendre et d'optimiser l'apprentissage et son contexte [Siemens *et al.*, 2011]. Selon Chatti *et al.* [2012], les outils de l'analytique de l'apprentissage numérique devraient fournir une rétroaction axée sur les objectifs des différentes parties prenantes en vue d'une réflexion, d'une prise de conscience de soi et d'une aide à la décision.

Nous en déduisons que le calcul des indicateurs et leurs visualisations sous la forme de tableaux de bord d'apprentissage dépendent principalement d'une compréhension fine des objectifs et des besoins utilisateurs.

1.1.2 Projet HUBBLE

Cette thèse s'inscrit dans le contexte du projet ANR HUBBLE qui vise à la création d'un observatoire national et d'un dépôt de processus d'analyse de haut niveau. Le projet a pour but de proposer principalement des moyens pour accompagner les différents utilisateurs tout au long du processus d'analyse. Conformément à la définition de l'analytique de l'apprentissage numérique, le projet veut proposer des moyens pour les étapes de mesure, de collecte, d'analyse et de communication. Ceci implique des moyens de collecte et de modélisation de traces. Le projet envisage de fournir d'autres moyens pour décrire les processus d'analyse pour différents utilisateurs décisionnels [Luengo, 2014] ainsi que pour décrire et mettre en œuvre les calculs d'indicateurs et leurs visualisations. En effet, la visualisation des indicateurs est utilisée pour communiquer clairement l'information importante [Few, 2013] et constitue souvent un moyen beaucoup plus rapide de partager un message que de tout décrire dans un texte écrit [Crampton, 2001]. L'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage est considérée comme le moyen de communication le plus connu pour visualiser des indicateurs [Few, 2013].

Le projet s'intéresse principalement à proposer des moyens pour décrire les processus d'analyse. Un processus d'analyse est un ensemble d'actions appliquées dans un ordre logique qui vise à manipuler un corpus de données afin de produire des résultats pertinents et utilisables, comme peuvent l'être les modèles mathématiques, les indicateurs et les visualisations¹. L'objectif principal du projet est de faciliter la capitalisation et la réutilisation de processus d'analyse en analytique de l'apprentissage numérique. Néanmoins, ce domaine est confronté à une hétérogénéité en ce qui concerne les traces, les processus d'analyse et les outils d'e-learning conduisant ces analyses [Chatti *et al.*, 2012]. Par conséquent, les processus d'analyse doivent être redéfinis lorsque leur contexte de mise en œuvre change : ils ne peuvent pas être facilement réutilisés, partagés ou améliorés [Lebis *et al.*, 2016]. L'objectif est alors de proposer un formalisme indépendant et des

1. <http://HUBBLElearn.imag.fr/>

modèles pour décrire les processus d'analyse en vue de les capitaliser. Ces modèles sont introduits dans toutes les étapes du processus d'analyse à partir de l'étape de collecte jusqu'à la communication.

Dans notre travail, nous intervenons durant l'étape de communication en proposant des tableaux de bord d'apprentissage aux utilisateurs comme des enseignants, des responsables pédagogiques, etc. La définition de modèles pour la génération de ces tableaux de bord d'apprentissage est nécessaire. Ces modèles sont considérés comme une structure de capitalisation de tableaux de bord d'apprentissage.

1.2 Problématique générale et questions de recherche

Problématique de recherche

D'une part, ces tableaux de bord doivent être adaptés aux contextes des utilisateurs et répondre à leurs besoins de visualisation pour les accompagner dans l'analyse de leurs situations d'apprentissage. D'autre part, ces tableaux de bord d'apprentissage doivent être aussi réutilisables dans des contextes utilisateurs similaires. L'idée est, ici, de répondre en partie à l'objectif principal du projet HUBBLE autour de la capitalisation du processus d'analyse, en particulier sur l'exploitation du résultat.

Ceci nous a conduit à formuler la problématique suivante :

Notre problématique est donc l'identification d'une ou plusieurs structures génériques de tableaux de bord d'apprentissage. Ces structures doivent être à la fois génériques pour assurer leur réutilisation, tout en s'adaptant aux besoins spécifiques des utilisateurs.

L'idée est donc de comprendre le contexte des utilisateurs et de capturer leurs besoins en termes de visualisation de la manière la plus exhaustive possible, de capitaliser cette capture au travers de modèles explicites, et de proposer une génération de tableaux de bord d'apprentissage fondée sur ces modèles.

La compréhension de ces informations permettra de définir le contexte d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage. Nous appliquons, pour y parvenir, la mise en place d'un processus de capture des besoins. La formalisation de ces informations à travers des modèles permettra leur exploitation. En effet, la définition des différents contextes d'utilisation et des contextes utilisateurs permet par la suite d'assurer une génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage adaptés.

Questions de recherche

Les questions qui découlent de notre problématique de recherche se répartissent autour des trois grandes parties correspondant aux grandes étapes d'élaboration des tableaux de bord d'apprentissage : la capture des besoins, la spécification des modèles et la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Considérant qu'un premier challenge consiste à identifier l'utilisateur des tableaux de bord d'apprentissage, ses besoins et son contexte, nous avons posé la première question de recherche suivante :

Q1. Comment capturer les besoins des utilisateurs avec un niveau de précision suffisant pour générer les tableaux de bord d'apprentissage ?

Notre objectif général de recherche est de proposer une ou plusieurs structures génériques de tableaux de bord d'apprentissage, afin de développer un ou plusieurs outils pour aider les utilisateurs à analyser et prendre des décisions autour de leurs contextes d'apprentissage.

Nous émettons l'hypothèse qu'il est nécessaire d'établir un processus de capture des besoins pour générer un tableau de bord d'apprentissage de la manière la plus appropriée (c.-à-d. la plus compréhensible par l'utilisateur). En effet, l'une des difficultés majeures consiste à proposer une représentation graphique des indicateurs qui fasse sens aux utilisateurs. Nous supposons que les utilisateurs peuvent prendre une décision s'ils utilisent un tableau de bord d'apprentissage répondant à leurs contextes et qui est adapté aux besoins capturés.

L'objectif est alors de spécifier le contexte d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage. Celui-ci représente à la fois le contexte de l'utilisateur et ses besoins en termes de visualisation. En effet, nous avons retenu la définition proposée par Chaker [2012] où un contexte d'objet correspond à toutes les dimensions pouvant avoir un impact sur cet objet. Par ailleurs, la définition du contexte d'utilisation peut être représentée par un ensemble de dimensions nommé dimensions de conception [Shaw, 2012] dans une perspective de génération dynamique des tableaux de bord d'apprentissage. Ces dimensions de conception présentent à la fois des dimensions contextuelles et des dimensions de génération de tableaux de bord d'apprentissage. L'identification de ces dimensions permet de mieux représenter le contexte de l'utilisateur et donc de caractériser la ou les structures pertinentes de tableaux de bord d'apprentissage. Ces réflexions nous ont amenés à formuler deux questions intermédiaires de recherche.

Q1.1. Comment identifier les dimensions de conception pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage ?

Les dimensions de conception sont des éléments centraux de notre travail. Nous supposons que chaque utilisateur peut avoir plusieurs contextes et donc plusieurs tableaux de bord d'apprentissage pour l'accompagner tout au long d'une situation d'apprentissage. Un premier challenge consiste à identifier le contexte d'utilisation d'un tableau de bord d'apprentissage et donc les dimensions de conception. Nous devons nous orienter vers l'utilisateur pour assurer une compréhension fine de son contexte et ainsi assurer une capture exhaustive de ses besoins. En effet, les dimensions de conception doivent être établies à partir des besoins capturés, des situations d'apprentissage et des objectifs des utilisateurs, qui forment le contexte d'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage. Notre objectif est d'aboutir à une méthode de capture des besoins contextualisés permettant d'explicitier ces différentes dimensions pour chaque tableau de bord d'apprentissage.

Un second challenge consiste à déterminer un processus de génération par lequel nous produisons des tableaux de bord d'apprentissage tout en nous fondant sur les dimensions de conception identifiées. Ce challenge nous amène à prendre en compte une deuxième question intermédiaire de recherche :

Q1.2. Comment passer d'un processus de capture des besoins à la génération d'un tableau de bord d'apprentissage ?

À partir des besoins utilisateurs obtenus par le processus de capture, nous devons proposer des tableaux de bord d'apprentissage dynamiques et adaptés aux contextes utilisateurs. L'idée étant que les utilisateurs puissent obtenir des tableaux de bord générés sans l'intervention d'un expert en visualisation de données. Nous partons du principe que la

spécification des informations par le biais de modèles exprimant les besoins et contextes utilisateurs pourront servir de base à un processus de génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage.

Pour répondre à cette question, nous nous sommes intéressés à deux autres questions de recherche :

Q1.2.1. Comment faire le lien entre la capture des besoins et la construction des modèles ?

Nous émettons l'hypothèse que la capture des besoins en soi, est une activité itérative où chaque étape permettra à la fois d'identifier et de raffiner les dimensions de conception. Ces dimensions doivent être formalisées avec des modèles de tableaux de bord d'apprentissage. Ces derniers doivent être suffisamment descriptifs et structurés pour permettre la génération automatique d'un tableau de bord d'apprentissage.

Ces modèles doivent faciliter la compréhension des contextes utilisateurs et de leurs besoins pour que l'on puisse croiser automatiquement les descriptions des indicateurs avec celles des moyens de visualisation.

Dans la pratique, les contextes et les besoins d'utilisateurs évoluent et se développent au fur et à mesure. Nous avons constaté qu'en revenant vers les mêmes utilisateurs, notre raffinement leur permettait de mieux appréhender leurs besoins, tout en nous permettant d'étendre nos modèles.

La question reste ici liée à la bonne compréhension des besoins et à la définition des contextes d'utilisation.

Q1.2.2. Comment exprimer le contexte d'utilisation d'un tableau de bord d'apprentissage ?

L'objectif est de proposer un processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage permettant d'intégrer les utilisateurs eux-mêmes dans la conception. Nous supposons que nous devons permettre aux utilisateurs d'exprimer au mieux leurs besoins en vue de leur proposer des tableaux de bord d'apprentissage adaptés. La génération automatique doit par ailleurs associer les résultats de la co-conception et les différents indicateurs calculés sur les données d'apprentissage.

Deux derniers challenges connexes sont d'une part d'assurer une description exhaustive permettant d'identifier les dimensions de conception des tableaux de bord d'apprentissage à produire, et d'autre part de permettre une capitalisation des éléments de conception. Considérant que ces deux challenges peuvent être résolus conjointement par la capacité à documenter et à formaliser la conception des tableaux de bord d'apprentissage, nous formulons la deuxième question principale de recherche ainsi :

Q2. Comment décrire les dimensions de conception et la structure d'un tableau de bord d'apprentissage ?

Le travail à réaliser ici consiste à identifier la ou les structures pertinentes pour les utilisateurs ainsi que les modèles dérivés des besoins permettant la génération automatique de tableaux de bord d'apprentissage.

La définition des modèles a deux objectifs. Le premier est de fournir des représentations formelles pour les dimensions de conception, et donc le contexte d'utilisation, dans le but de les rendre exploitables par un traitement automatique. Le deuxième objectif est d'assurer la capitalisation et la réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage par la proposition de structures génériques.

De cette question découlent deux questions de recherche connexes :

Q2.1. Comment formaliser le contexte d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage ?

Après l'expression du contexte d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage, la formalisation de ce dernier à travers des modèles devient nécessaire. L'objectif est de fournir des spécifications pour la production des tableaux de bord d'apprentissage. Ces modèles prennent en compte des dimensions de conception variées et agissent comme un intermédiaire entre le processus de génération et les besoins capturés.

Notre objectif étant de permettre une génération automatique et contextuelle, la formalisation des dimensions avec des modèles facilitera leur exploitation automatisée dans le processus de génération.

Q2.2. Existe-t-il des structures génériques permettant de factoriser des tableaux de bord d'apprentissage ?

La capitalisation est un objectif partagé au sein du projet HUBBLE. L'enjeu est alors de définir des modèles permettant d'organiser les dimensions de conception, selon une approche de type ingénierie de la connaissance (IC), dont l'objectif est de représenter le rôle que jouent les données et les informations dans un processus de résolution de problèmes. La démarche en ingénierie passe par plusieurs étapes : le recueil, la modélisation et la représentation. Dans une telle approche, ces étapes sont organisées autour de simples questionnements en rendant explicites les dimensions de conception.

Dans ce sens, nous considérons qu'un tableau de bord d'apprentissage est composé d'une agrégation de composants notamment des indicateurs et des moyens de visualisation tout en considérant le contexte d'utilisateur. La définition et l'organisation des composants sont basées explicitement sur les dimensions de conception. Nous supposons que la gestion du tableau de bord d'apprentissage en tant qu'ensemble de composants identifiés séparément favorise à la fois leur identification et leur réutilisation dans des contextes similaires. La description générique de ces composants et de leurs organisations permet de former une structure réutilisable de tableaux de bord d'apprentissage.

Pour résumer, nous émettons l'hypothèse que la réutilisation repose sur une description générique : (1) qui sert à spécifier et à définir l'ensemble des composants de tableaux de bord d'apprentissage (2) qui est utilisée pour spécifier comment organiser les composants en fonction des contextes utilisateurs et (3) qui spécifie formellement chaque dimension de conception.

Un autre challenge consiste alors à concevoir un processus de génération pour assurer l'exploitation de ces descriptions formelles. Ce qui nous amène à poser une troisième question principale de recherche :

Q3. Quel(s) processus pour générer dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage adaptés ?

Le travail à réaliser vise à concevoir un processus de génération qui permet une production dynamique et contextuelle de différents tableaux de bord d'apprentissage. L'idée est de permettre une génération de tableaux de bord d'apprentissage en respectant les descriptions génériques proposées tout en mettant en avant les liens entre les dimensions de conception. Dans le but d'adapter le tableau de bord d'apprentissage à l'utilisateur, nous supposons que l'organisation du processus doit être basée sur les dimensions de conception préalablement identifiées. Ces dimensions permettent de définir le contexte d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage. Ainsi, elles facilitent l'identification des composants des tableaux de bord d'apprentissage.

Ici, l'objectif est d'adapter et d'organiser à la fois le contenu et la structure des tableaux de bord d'apprentissage afin d'offrir une meilleure expérience utilisateur. Dans le cadre de cette thèse, nous souhaitons fournir un processus de génération produisant dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage adaptés. Nous émettons l'hypothèse qu'un processus sur mesure est en phase avec l'idée de générer dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage adaptés. En effet, le processus sur mesure fait que chaque utilisateur a son propre contexte et qu'il exige des indicateurs diversifiés pour suivre ses objectifs. Autrement dit, les tableaux de bord d'apprentissage présentent des indicateurs en fonction des besoins des utilisateurs. Pour cette raison, nous envisageons de rendre ce processus automatique tout en réduisant l'intervention des utilisateurs ou des experts en visualisation de données au moment de la génération.

1.3 Limites des travaux existants

Nous avons consacré une partie de l'état de l'art à étudier les travaux existants en termes de capture des besoins, de modélisation et de génération de tableaux de bord d'apprentissage. Cette étude bibliographique nous a permis d'établir les cinq constats suivants :

1. **Limites des tableaux de bord d'apprentissage en termes de prise de décision** : ce premier constat concerne la limite de l'analytique de l'apprentissage numérique en vue de la visualisation pour la prise de décision. En effet, nous avons effectué une étude comparative entre le processus d'analyse du domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique et le processus d'analyse du domaine de l'informatique décisionnelle. Cette étude comparative se justifie par l'importance des tableaux de bord en informatique décisionnelle. Durant cette étude, nous avons distingué deux visions différentes. L'analytique de l'apprentissage numérique met la question du traitement des données au centre de ses préoccupations. Tandis que le domaine de l'informatique décisionnelle considère l'objectif et la décision des utilisateurs comme l'élément central.

Nous nous orientons donc vers la logique de l'informatique décisionnelle en raison de sa vision centrée sur l'utilisateur et sa décision. En effet, des travaux existants dans l'analytique de l'apprentissage numérique ont supposé que les utilisateurs ayant le même rôle partagent le même objectif de visualisation. En revanche, nous avons constaté que les tableaux de bord réalisés ne produisent pas nécessairement le même impact sur ces utilisateurs. Les évaluations de ces travaux ont démontré que les utilisateurs n'ont pas eu la même réaction vis-à-vis d'un tableau de bord d'apprentissage [Corrin et de Barba, 2014].

2. **Des problèmes de compréhension des besoins des utilisateurs** : Un tableau de bord permet d'améliorer une prise de décision. Il doit communiquer un ensemble d'informations adaptées à la situation d'apprentissage de l'utilisateur. Ceci nécessite une meilleure capture des besoins et des contextes de l'utilisateur. Cependant, l'étude bibliographique a démontré la limite des travaux existants sur cette problématique. Nous avons constaté qu'un problème de compréhension s'avère récurrent entre ce qui est exprimé comme besoin par les utilisateurs et les avis de ces derniers pendant l'évaluation des tableaux de bord. Cela peut être expliqué par la difficulté de trouver la meilleure méthode de capture des besoins et les bonnes questions à poser aux utilisateurs dans le but de développer une analyse plus fine de ces derniers.

3. **Le processus de génération dépend d'une intervention des utilisateurs et/ou des experts** : le troisième constat est en lien avec l'intervention soit par des utilisateurs soit par des experts de visualisation de données durant la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Nous avons étudié les travaux de Ouali [2016] et Chowdhary *et al.* [2006] qui ont décrit explicitement leurs processus de génération de tableaux de bord. Le premier processus tend à générer des tableaux de bord d'apprentissage sur mesure. En revanche, cette génération est semi-automatique. Le processus dépend principalement d'une intervention technique récurrente des utilisateurs. Cependant, ceci exige de la part des utilisateurs de bien comprendre et de maîtriser les indicateurs. Le deuxième processus adopte une approche générale. Ce dernier permet une génération automatique, mais inadaptée aux besoins des utilisateurs. Pour cela, une intervention technique des experts est exigée afin d'adapter les tableaux de bord.
4. **Une modélisation limitée des dimensions de conception** : le quatrième constat concerne la modélisation des tableaux de bord d'apprentissage. L'étude bibliographique a montré qu'il existait une grande diversité de contextes d'utilisation. Ceci implique une modélisation d'un ensemble de dimensions de conception.
Nous avons observé que les processus de génération existants ont intégré seulement trois dimensions de conception : "Qui", "Quoi" et "Comment". Ceci limite le contexte d'utilisation à la description du rôle de l'utilisateur et de ses préférences en termes d'indicateurs et de visualisation. L'objectif est alors de vérifier la pertinence de ces dimensions de conception et de les raffiner pour assurer une génération adaptée aux besoins utilisateur pour guider la prise de décision.
La difficulté est aussi de s'approprier et de définir ces dimensions en fonction du contexte de chaque utilisateur. En effet, les dimensions de conception décrivent un élément générique de contexte. L'idée est d'identifier l'ensemble des valeurs permettant de définir chaque dimension.
5. **La nature des tableaux de bord d'apprentissage (sur mesure ou générale) dépend de la dynamique des indicateurs** : le dernier constat est lié à la nature des tableaux de bord d'apprentissage générés. Les travaux existants présentent des tableaux de bord d'apprentissage généraux ou sur mesure. La majorité d'entre eux offre aux utilisateurs des tableaux de bord généraux avec des indicateurs prédéfinis et fixes [Abel et Evans, 2013], [Charleer *et al.*, 2014] et [Park et Jo, 2015]. Ces tableaux de bord sont proposés pour un contexte précis. Le changement de contexte engendre généralement une intervention des experts pour un développement sur mesure d'un autre tableau de bord. Cependant, les tableaux de bord sur mesure existants nécessitent l'intervention des utilisateurs au moment de leurs générations. Ces travaux proposent aux utilisateurs non seulement la conception, mais aussi le calcul des indicateurs. Les utilisateurs doivent ici construire un ensemble de requêtes pour calculer les indicateurs et les associer aux moyens de visualisation appropriés. Cette étape exige de la part des utilisateurs de bien comprendre et de maîtriser les indicateurs. Cependant, entre l'étape consistant à fournir aux utilisateurs des indicateurs sur leurs situations d'apprentissage et les changements réels dans la situation d'apprentissage, l'utilisateur doit prendre en compte un processus de prise de décision. Ici, l'utilisateur doit à la fois interpréter les données des indicateurs et décider "comment agir". Cette charge d'intervention peut compliquer le processus de prise de décision.

Notre objectif est donc de proposer un processus de génération de tableaux de bord

d'apprentissage à partir des besoins utilisateur, dans lequel nous souhaitons limiter l'intervention à la fois des utilisateurs et des experts pendant la génération. Nous envisageons de mener une étude de capture de besoins des utilisateurs afin de leur proposer des tableaux de bord d'apprentissage adaptés. Sur la base de notre étude bibliographique, nous présentons les hypothèses qui en découlent dans la prochaine section.

1.4 Hypothèses

À l'issue de l'étude bibliographique, nous avons émis un ensemble d'hypothèses. Ces dernières sont organisées de la manière suivante : 1) Un tableau de bord d'apprentissage permet une prise de décision ; 2) Une prise de décision nécessite des indicateurs et des moyens de visualisation adaptés ; 3) Un tableau de bord d'apprentissage dépend du contexte ; 4) Une compréhension fine des besoins utilisateur est nécessaire pour une génération automatique de tableaux de bord ; 5) Une intervention technique par des utilisateurs peut ralentir la prise de décision.

1. **Un tableau de bord d'apprentissage permet une prise de décision** : les hypothèses que nous avons posées stipulent que la visualisation d'un tableau de bord d'apprentissage peut inciter un utilisateur à prendre une décision durant une situation d'apprentissage précise.
2. **La décision est structurante pour la conception de tableaux de bord d'apprentissage** : nous supposons que l'expression de la prise de décision a un impact sur la conception de tableaux de bord d'apprentissage. Nous supposons que le choix et l'organisation des indicateurs varient généralement selon le niveau de décision : opérationnel, tactique ou stratégique. Plus précisément, nous supposons que la prise en compte de la décision peut influencer le niveau de détail des indicateurs.
3. **Les tableaux de bord d'apprentissage varient selon le contexte d'utilisation** : nous formulons l'hypothèse que le contexte d'utilisation d'un tableau de bord d'apprentissage influence son organisation. Il est donc nécessaire de pouvoir expliciter ce contexte, tant pour aider aux aspects réflexifs des utilisateurs que pour capitaliser sur ces utilisations à des fins de réutilisation. Ainsi, les utilisateurs ont besoin d'un tableau de bord d'apprentissage qui peut varier d'un contexte à un autre. Selon cette hypothèse, les tableaux de bord d'apprentissage doivent être adaptés aux contextes d'usage des utilisateurs.
4. **Une compréhension fine des besoins utilisateur peut permettre une automatisation de processus de génération** : Nous considérons aussi que la compréhension des besoins assure une génération automatique des tableaux de bord d'apprentissage. Pour cela, un recueil des besoins des utilisateurs en termes d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage est nécessaire. Ce recueil peut être confronté à plusieurs difficultés. Nous supposons que les utilisateurs peuvent être peu habitués à utiliser des tableaux de bord d'apprentissage durant leurs situations d'apprentissage. Par ailleurs, ils peuvent rencontrer des difficultés liées à l'expression des besoins en termes de visualisation.

Dans ce contexte, nous avançons donc l'hypothèse que la proposition d'un processus de capture des besoins participatifs permettra de combler l'écart entre ce que l'utilisateur exprime et ce qu'il doit avoir. Nous supposons qu'un tel processus permet de placer l'utilisateur comme un expert de son contexte. La participation

de l'utilisateur permet d'introduire un décalage de point de vue qui contribue à réévaluer les pratiques et les idées reçues par le concepteur. Nous supposons donc que cette participation amène à faire l'équilibre entre les besoins et les attentes des utilisateurs. Nous vérifions, dans le chapitre 5, ces hypothèses lors d'une première étape de capture des besoins. Nous émettons aussi des hypothèses concernant les pratiques des utilisateurs pour générer des tableaux de bord d'apprentissage.

5. **L'intervention technique par des utilisateurs peut ralentir le processus de la prise de décision** : nous supposons que l'intervention technique excessive des utilisateurs lors de la génération de tableaux de bord d'apprentissage peut ralentir la prise de décision. En effet, ces interventions suggèrent que l'utilisateur doit avoir une bonne maîtrise technique et un temps d'étude et de réflexion autour de ses besoins. Ces interventions sont considérées comme une tâche chronophage, alors qu'une prise de décision nécessite une interaction au bon moment donc de la rapidité. Aussi, nous pensons que la construction des tableaux de bord d'apprentissage par l'utilisateur lui-même limite l'expression de ses besoins aux choix des moyens de visualisation et des indicateurs dont il a connaissance et qu'il pense comprendre. Nous pouvons donc perdre des informations liées au contexte des utilisateurs et à leurs objectifs.

Toutes ces hypothèses ont été définies dans le but de favoriser une prise de décision par un utilisateur dans un contexte donné. En d'autres termes, elles concernent principalement les trois problématiques suivantes : i) capture et compréhension des besoins utilisateur, ii) modélisation des éléments de conception des tableaux de bord d'apprentissage, iii) le processus de génération des tableaux de bord d'apprentissage.

Nous introduisons dans la prochaine section les contributions qui correspondent à ces trois problématiques.

1.5 Contributions

Suite à l'étude de la problématique et des questions de recherche décrites dans la section 1.2, nous apportons trois contributions, chacune relative à nos questions de recherche :

Q1 : comment capturer les besoins des utilisateurs avec un niveau de précision requis ?

Contribution 1 : une démarche itérative et centrée sur l'utilisateur pour proposer un processus participatif de capture des besoins

Q2 : comment décrire les éléments de la conception et la structure d'un tableau de bord d'apprentissage ?

Contribution 2 : des modèles dérivés des besoins capturés pour fournir une description des éléments de la conception de tableaux de bord d'apprentissage

Q3 : quel processus de génération l'utilisateur doit-il avoir pour concevoir et générer dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage adaptés ?

Contribution 3 : un processus de génération automatique pour fournir des tableaux de bord d'apprentissage adaptés.

Ces trois contributions sont étroitement liées. Elles décrivent les étapes principales d'une démarche de conception et d'élaboration de tableaux de bord d'apprentissage. Cette

dernière décrit principalement des étapes génériques permettant de faire le lien entre la capture des besoins et la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Dans le cadre de notre travail, cette démarche représente une contribution qui est réutilisable par d'autres et dans d'autres domaines comme celui de l'ingénierie des connaissances (IC).

Dans la suite de ce paragraphe, nous allons décrire plus précisément chacune de ces contributions, dans l'ordre de présentation ci-dessus.

1.5.1 Processus de capture des besoins et d'identification des dimensions de conception (Q1)

Afin de concevoir un tableau de bord d'apprentissage adapté, nous avons adopté dans notre travail une approche centrée sur l'utilisateur avec un recueil participatif. Une étude de la littérature nous a permis de justifier notre choix. Ce processus vise à développer, de manière itérative, une compréhension explicite des utilisateurs en tenant compte de leurs besoins, de leurs tâches et de leur environnement. L'identification de ces besoins sert de base à la conception et au développement des tableaux de bord adaptés à ces derniers. Le but de ce processus est de recueillir des données suffisantes pour identifier, clarifier et confirmer un ensemble de dimensions permettant la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Nous devons apprendre à connaître le contexte utilisateur. Il est défini par un ensemble de caractéristiques comme le rôle de l'utilisateur, ses objectifs, ses activités d'apprentissage ainsi que le contexte dans lequel les activités sont exécutées. Nous avons mené une démarche itérative qui nous a amenés à proposer quatre outils :

1. une grille d'analyse
2. un protocole d'enquête semi-directive individuelle et en groupe
3. un atelier de réalisation de maquettes
4. un outil de conception participatif

Nous avons identifié à travers ce processus itératif des éléments autour de six dimensions de conception définissant :

- Qui ? : le contexte utilisateur
- Pourquoi ? : la décision et l'objectif de l'utilisateur à atteindre lors de la visualisation des tableaux de bord d'apprentissage
- Quoi ? : les indicateurs
- Comment ? : les moyens de visualisation et l'organisation structurelle
- Quand ? : des dimensions temporelles spécifiant à la fois le moment de visualisation (en temps réel ou a posteriori) et l'horizon de la décision (court, moyen ou long terme).
- Où ? : le contexte d'apprentissage comme l'environnement (En classe, en ligne, etc.)

Ce processus de capture permet également la capitalisation des besoins des utilisateurs en vue de leurs prises en compte dans d'autres contextes d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage. Nos modèles de tableaux de bord d'apprentissage vont être fondés sur les six dimensions que nous avons explicitées ci-dessus.

1.5.2 Modèles pour la génération des tableaux de bord (Q2)

Pour traiter la deuxième question de recherche, nous proposons un ensemble de modèles de description des différents éléments sur lesquels nous nous basons pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Nous nous appuyons sur les six dimensions de conception "Qui, Pourquoi, Quoi, Comment, Quand et Où". La description de chaque dimension de conception sera employée dans nos modèles de tableaux de bord d'apprentissage. La prise en compte de ces dimensions de conception permet d'assurer un lien entre les besoins capturés et la génération de tableaux de bord d'apprentissage. En effet, l'objectif de la modélisation est de fournir des spécifications au processus de génération. Ce processus de génération doit fournir dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage réutilisables et adaptés tout en se basant sur des descriptions des besoins des utilisateurs. Nous relevons à partir de la définition de Schwendimann *et al.* [2017] qu'un tableau de bord d'apprentissage est composé d'une agrégation d'un ensemble des composants notamment les indicateurs et les moyens de visualisation tout en prenant en compte le contexte et les besoins des utilisateurs. L'identification de ces composants, leur organisation et leur présentation vont former les étapes principales de notre processus de génération. Ainsi, la gestion du tableau de bord d'apprentissage en tant qu'ensemble de composants identifiés séparément favorise sa réutilisation.

L'objectif de la modélisation est donc de fournir au processus de génération des descriptions (a) de besoins et de contexte d'utilisateur, (b) d'indicateurs, (c) des moyens de visualisation. Ces trois aspects sont définis explicitement autour des six dimensions de conception. Nous fournissons aussi des descriptions autour d'un quatrième aspect : (d) la réutilisation de tableaux de bord d'apprentissage.

(a) Les besoins et le contexte utilisateur : Une description des besoins, de la décision et du contexte de l'utilisateur d'une manière générique à l'aide de modèles conceptuels assurera leurs identifications.

- Le contexte utilisateur : l'objectif est de modéliser les besoins, le contexte et de décrire sa situation d'apprentissage. La modélisation peut être basée sur les feedbacks explicites et implicites de l'utilisateur. Chaque utilisateur a des besoins, des objectifs et des préférences particuliers. Cela signifie qu'ils ont tous des attentes différentes à l'égard des tableaux de bord d'apprentissage. Par conséquent, la proposition d'une formalisation et une structuration de l'ensemble des informations autour de l'utilisateur est capitale. L'objectif de ce modèle est de permettre au processus de génération d'identifier et de sélectionner l'ensemble des informations adaptées à l'utilisateur. Nous prenons comme hypothèse que le contexte utilisateur influence le choix du contenu d'un tableau de bord d'apprentissage et son organisation.
- La décision : nous proposons dans nos modèles une représentation de la décision. Chaque utilisateur peut avoir une ou plusieurs décisions à prendre. L'intérêt de ce modèle est de pouvoir spécifier la manière dont le contenu d'un tableau de bord d'apprentissage est structuré. Pour prendre une décision, il faut que l'utilisateur reconnaisse le problème et décide de mener une action. Autrement dit, il faut définir par rapport à quoi l'utilisateur veut prendre une décision. Par ailleurs, l'utilisateur doit avoir la possibilité de juger une situation d'apprentissage particulière et de définir le point qui l'intéresse le plus à observer pour prendre une décision.

(b) La description des indicateurs : l'étude bibliographique nous a démontré que les utilisateurs ne maîtrisent pas la tâche de calcul des indicateurs. Nous supposons

aussi que l'intervention technique par des utilisateurs, à ce niveau, complique la prise de décision. Dans le cadre du projet HUBBLE, les indicateurs sont calculés par des analystes durant le processus d'analyse. Nous devons intégrer et décrire ces indicateurs pour faciliter leur identification.

Nous proposons donc un modèle d'indicateur afin de les décrire de façon suffisamment précise pour pouvoir les identifier et les organiser dans le tableau de bord d'apprentissage. Ce modèle permet de faire le lien entre les besoins des utilisateurs en termes d'indicateurs et les indicateurs eux-mêmes. Il a pour but aussi de faire correspondre le travail des analystes et les besoins des utilisateurs.

- (c) **Les moyens de visualisation** : nous proposons un modèle d'indexation des moyens de visualisation qui porte sur la description d'outils existants pour la visualisation des indicateurs. Ces moyens permettent de transformer les données des indicateurs en une forme graphique compréhensible par les utilisateurs. Un moyen de visualisation peut aussi ajouter un sens supplémentaire aux données des indicateurs [Keim *et al.*, 1995]. Chacun d'entre eux est utilisé pour un usage spécifique [Abela, 2006]. L'idée est que les moyens de visualisation peuvent mettre en évidence des informations clés pour une décision comme la comparaison, la tendance, etc.
- (d) **La réutilisation** : la réutilisation dans notre travail repose sur deux éléments supplémentaires :

- un modèle de composition qui sert à définir l'ensemble des composants d'un tableau de bord d'apprentissage et à spécifier les relations entre eux. Le modèle de composition que nous proposons permet de représenter explicitement la structure du tableau de bord d'apprentissage ce qui facilite sa génération.
- un patron est utilisé pour spécifier les composants d'un tableau de bord d'apprentissage, et la manière dont ils sont organisés en fonction d'une décision. La description inclut l'organisation des composants et la description des indicateurs dans un tableau de bord d'apprentissage dédié à une décision bien précise. Autrement dit, ce modèle représente la structuration pour guider l'ordre de lecture ou le rapprochement d'indicateurs dans le processus d'aide à la décision. En effet, le modèle de patron à l'aide du modèle de description des moyens de visualisation permet de représenter les deux niveaux : compréhension et aide à la décision. Alors que le modèle des moyens de visualisation propose une manière de représenter les données des indicateurs, le modèle de patron décrit l'organisation de ces données pour guider l'utilisateur dans l'utilisation et la lecture des tableaux de bord d'apprentissage. Le modèle de patron permet aussi de fournir des descriptions génériques sur des catégories de tableaux de bord d'apprentissage. L'idée est alors d'assurer la réutilisation de ces tableaux de bord d'apprentissage pour permettre leur capitalisation dans des contextes d'utilisation similaires.

1.5.3 Processus de génération des tableaux de bord (Q3)

Notre travail vise à concevoir un processus de génération qui permette une production contextuelle de différents tableaux de bord d'apprentissage adaptés afin de répondre aux différents besoins de visualisation. Le processus se concentre sur la génération de tableaux de bord d'apprentissage en respectant le modèle de composition proposé tout en mettant en avant les liens entre les différents modèles de tableaux de bord d'apprentissage : le contexte utilisateur, la décision, les indicateurs, les moyens de visualisation et le patron.

Afin d'instrumenter le processus de génération, nous proposons de mettre en place un prototype dont l'architecture est basée sur deux éléments essentiels : un ensemble de modèles conceptuels et un générateur de tableau de bord d'apprentissage.

1.6 Organisation du document

Après ce chapitre d'introduction, le mémoire est organisé en quatre parties.

La première partie du mémoire est dédiée à l'étude bibliographique. Elle présente les éléments de l'état de l'art permettant de répondre à notre problématique dans le contexte de notre travail. Elle est composée des trois chapitres suivants.

Le chapitre 2 décrit le cadre d'étude de notre travail au travers une étude comparative entre deux domaines d'analyse des données : l'analytique de l'apprentissage numérique et l'informatique décisionnelle. Puis, nous présentons les dimensions liées à l'aide à la décision qui permettent d'aborder les questions de guidage dans la conception des tableaux de bord.

Le chapitre 3 synthétise notre étude de la littérature existante relative aux méthodes d'élaboration et d'opérationnalisation des tableaux de bord. Ce chapitre a comme objectif d'identifier les étapes principales de génération des tableaux de bord d'apprentissage. Nous identifions aussi un ensemble de dimensions de conception.

Le chapitre 4 est consacré à la comparaison de différents tableaux de bord d'apprentissage basés sur plusieurs critères. Cette exploration nous permet, entre autres, de dresser les caractéristiques qui nous semblent fondamentales pour la conception de tableaux de bord.

La deuxième partie détaille les contributions de cette thèse et se compose de trois chapitres.

Le chapitre 5, sur la base de l'analyse produite au chapitre 3, présente un processus de capture des besoins des utilisateurs. Ce processus est centré sur l'utilisateur et itératif. Nous proposons ici à un outil de conception participatif.

Le chapitre 6 présente les différents modèles de tableaux de bord. La modélisation est organisée autour des dimensions de conception identifiées dans le chapitre 5.

Le chapitre 7 décrit le processus de génération des tableaux de bord d'apprentissage que nous avons conçu. Celui-ci consiste en un ensemble d'étapes destinées à la génération automatique de tableaux de bord d'apprentissage. Le processus est réparti en trois étapes : l'identification, l'organisation et l'instanciation.

La troisième partie concerne le prototype développé et la mise à l'essai que nous avons conduite afin de valider notre travail, elle est composée de deux chapitres.

Le chapitre 8 présente l'architecture du prototype qui a été développé. Ce prototype met en place un générateur de tableaux de bord.

Le chapitre 9 présente une mise à l'essai de prototype. Nous testons le prototype comme une preuve de concept afin de démontrer la faisabilité de la génération automatique d'un tableau de bord d'apprentissage répondant aux besoins des utilisateurs. Nous nous intéressons à présenter l'évaluation des résultats de génération dans deux cas d'étude.

La dernière partie conclut ce manuscrit. Elle propose des prolongements de nos travaux et des perspectives de recherche sur les thèmes développés dans ce mémoire.

Enfin, nous joignons des annexes pour compléter et expliciter certains éléments présentés dans les chapitres précédents : l'annexe A présente une vue comparative détaillée des tableaux de bord existants en vue d'identifier les dimensions de conception prises en compte et l'ensemble des éléments et des champs définissant ces dimensions. Et l'annexe B présente une description détaillée des éléments du questionnaire envoyé aux utilisateurs durant la phase de capture des besoins.

Première partie

État de l'art

Chapitre 2

Cadre d'étude

La visualisation des données à travers des tableaux de bord est une problématique étudiée dans de nombreux domaines tels que l'analytique de l'apprentissage numérique (*Learning Analytics (LA)* en anglais) et l'informatique décisionnelle (*Business Intelligence (BI)* en anglais), il est important pour nous de clarifier dès à présent la terminologie que nous utilisons. En faisant ceci, nous allons également délimiter notre domaine d'étude à savoir l'analytique de l'apprentissage numérique tout en intégrant les bonnes pratiques d'aide à la conception issues du domaine de l'informatique décisionnelle.

Nous allons faire dans ce chapitre un parallèle entre les deux domaines d'analyse des données. Dans les deux cas, nous verrons que la notion d'indicateur est centrale pour conduire ces analyses, avec une différence d'approche entre les deux domaines, l'analytique de l'apprentissage numérique se concentre d'abord sur la sémantique des traces laissées par les apprenants, l'informatique décisionnelle se concentrant sur les indicateurs clés liés à la performance d'une organisation. Dans ce second cas, on parle d'indicateurs clés de performance.

Nous avons d'une part une vision interne à la sémantique des traces et au processus d'apprentissage, et d'autre part une vision externe sur l'objectif de l'utilisateur.

Si le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique se concentre sur le calcul d'indicateurs, l'informatique décisionnelle se pose avant tout la question de l'organisation des données en vue de leur visualisation. Nous nous appuyerons dans notre thèse sur l'informatique décisionnelle en évoquant la visualisation des données et plus particulièrement la représentation sous la forme de tableaux de bord.

Le but est de s'inspirer de l'informatique décisionnelle pour améliorer la construction de tableaux de bord en analyse des données d'apprentissage. Nous souhaitons associer la vision de l'analytique de l'apprentissage numérique et celle de l'informatique décisionnelle afin d'orienter l'analyse des besoins vers une décision pertinente dans une situation d'apprentissage pour un utilisateur.

Nous terminerons ce chapitre sur la formulation de la décision qui guide la démarche de l'informatique décisionnelle.

2.1 Processus d'analyse des données

2.1.1 Analytique de l'apprentissage numérique (*Learning Analytics*)

L'analytique de l'apprentissage numérique (ou *Learning Analytics (LA)* en anglais) se définit comme la mesure, la collecte, l'analyse et la communication de données sur les apprenants et leurs contextes, dans le but de comprendre et d'optimiser l'apprentissage

et les environnements dans lesquels il se déroule [Siemens *et al.*, 2011]. Ces dernières années, l'analytique de l'apprentissage numérique s'est imposée comme un domaine qui traite du développement et de l'amélioration des méthodologies pour soutenir le processus d'apprentissage [Muslim *et al.*, 2017]. En effet, ce domaine cherche à apporter des réponses à des questions autour de l'amélioration de l'apprentissage des apprenants. Selon Elias [2011] et Larusson *et al.* [2014], l'analytique de l'apprentissage numérique permet de donner à des utilisateurs comme les enseignants un aperçu de ce qui se passe dans une classe pendant une période donnée et quel que soit le type d'activité qui s'y déroule. Autrement dit, l'analytique de l'apprentissage numérique est définie comme l'effort visant à améliorer l'apprentissage à travers une analyse ciblée des données.

Notre travail de thèse s'inscrit principalement dans le cadre de ce domaine d'analyse des données. En effet, le projet HUBBLE veut faciliter la capitalisation et la réutilisation des processus d'analyse en analytique de l'apprentissage numérique. Afin de mettre en place un processus complet d'analyse, plusieurs outils et méthodes doivent être mis en place lors des différentes étapes (mesure, collecte et analyse des données [Siemens *et al.*, 2011] recueillies pour appuyer l'expérience de l'apprentissage) [Chatti *et al.*, 2012], [Dimopoulos *et al.*, 2013].

Dans notre contexte, nous retenons la définition de Siemens *et al.* [2011] qui s'intéresse à mettre le lien entre les données produites et leurs visualisations par les utilisateurs cibles. Selon Siemens [2011], plusieurs techniques et méthodes utilisées dans le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique pour analyser une expérience d'apprentissage sont issues du domaine de l'informatique décisionnelle. En effet, le tableau de bord, en tant que concept clé du domaine de l'informatique décisionnelle, est défini comme un support qui améliore la prise de décision et la performance utilisateur [Rasmussen *et al.*, 2009]. C'est pour cette raison que nous nous intéressons à étudier le processus d'analyse des données du domaine de l'informatique décisionnelle dans le but d'évaluer la démarche utilisée du point de vue de l'analyse et de la visualisation de données. Selon Few [2013], le domaine qui se concentre sur l'analyse des données et plus particulièrement la conception des tableaux de bord est l'informatique décisionnelle.

Pour résumer, notre travail s'inscrit dans le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique tout en intégrant les pratiques du domaine de l'informatique décisionnelle. Donc, nous nous intéressons à étudier ce dernier dans le but de tirer des éléments clés pour la conception des tableaux de bord.

2.1.2 Informatique décisionnelle (*Business Intelligence*)

L'informatique décisionnelle (*Business Intelligence en anglais (BI)*) est un domaine de l'aide à la décision. Ce domaine propose un ensemble de processus, de technologies et d'outils permettant la sélection, la présentation et l'analyse des données. Le but est de transformer les données en informations et, par l'analyse humaine, en connaissances [Valenti *et al.*, 2016]. L'utilisateur doit s'appropriier l'information afin qu'elle devienne une connaissance au sens de Valenti *et al.* [2016]. Cette appropriation passe par un processus qui permet de faciliter la présentation de l'information pour aider à l'analyser.

En intégrant des fonctions d'analyse et de visualisation, les données sont transformées en une représentation à haute valeur ajoutée qui permet aux décideurs de prendre des décisions plus rapides et plus éclairées. L'objectif est d'améliorer la rapidité et la qualité des contributions au processus décisionnel [Negash, 2004]. La facilité de compréhension des données est essentielle lorsqu'il s'agit de visualisation. Une meilleure représentation facilitera la tâche des décideurs pour arriver à une vision critique de la situation actuelle qui pourra guider leurs décisions [Stodder, 2013].

L'informatique décisionnelle présente une vaste catégorie d'outils et de techniques [Larusson et White, 2014] permettant d'assurer la collecte, le stockage, l'analyse, l'accès et la visualisation de données afin d'aider les utilisateurs à prendre de meilleures décisions qui apportent une valeur [Larson et Chang, 2016] et qui contribuent à la réalisation des objectifs de l'organisation [Hannula et Pirttimaki, 2003], [Goldstein et Katz, 2005]. Autrement dit, l'application de techniques de l'informatique décisionnelle fait référence à l'organisation et la gestion d'une grande quantité de données de manière pertinente et facile à utiliser dans le processus de prise de décision [Brohman *et al.*, 2000]. L'idée est d'éviter les mauvaises décisions qui peuvent compromettre l'avenir d'une organisation, au travers d'un processus de décision qui leur permet d'atteindre des objectifs stratégiques, tactiques et opérationnels [Bara *et al.*, 2009], [Elbashir *et al.*, 2008], [Hannula et Pirttimaki, 2003].

L'idée est d'aider les décideurs non seulement à accélérer leurs processus de prise de décision, mais aussi à améliorer la qualité de leur décision [Seify, 2010]. Par ailleurs, le nombre d'indicateurs doit être limité et doit varier selon la responsabilité des décideurs. Dans le domaine d'informatique décisionnelle, une adoption des indicateurs clé de performance (ICP) (*Key Performance Indicator (KPI)* en anglais) pour assurer une prise de décision. Ces ICP sont considérés comme des indicateurs spécifiques, mesurables, réalisables, axés sur les résultats et limités dans le temps.

Ces ICP sont visualisés et analysés par différents décideurs. Au niveau des instances dirigeantes d'une structure, il s'agit de la contribution aux décisions stratégiques et tactiques. À d'autres niveaux plus bas dans la hiérarchie, l'informatique décisionnelle aide aux décisions opérationnelles dans le travail quotidien.

2.1.3 Discussion

Nous retrouvons dans les deux domaines étudiés des étapes similaires dans les processus : collecte/sélection, analyse et présentation/communication. En outre, les deux domaines traitent un objectif principal lié à la communication des informations pertinentes aux différents utilisateurs. Pourtant, nous constatons l'existence d'une différence de vision dans chaque domaine. L'analytique de l'apprentissage numérique considère le traitement des données comme une question centrale [Chatti *et al.*, 2012], [Larson et Chang, 2016], tandis que le domaine de l'informatique décisionnelle s'intéresse à la mise en place d'un processus d'analyse pour guider la prise de décision fondée sur des données. Ce processus s'intéresse principalement à un type d'utilisateur particulier, le décideur. Il propose des éléments méthodologiques, souvent pragmatiques pour guider la conception du processus d'analyse en tant qu'aide à la décision. Nous illustrons dans la figure 2.1 une vue comparative entre les deux processus d'analyse adoptés dans chaque domaine.

Dans les deux domaines, nous avons constaté que la notion d'indicateur est centrale pour conduire les analyses de données. La différence entre leurs deux processus d'analyses est que l'analyse des données en analytique de l'apprentissage numérique se concentre d'abord sur la sémantique des traces laissées par les apprenants et les indicateurs issus des analyses de ces traces, alors que l'informatique décisionnelle se concentre sur les objectifs et les indicateurs clés liés à la performance d'une organisation. En matière de visualisation, l'informatique décisionnelle met l'accent sur les fonctions d'agrégation et d'organisation des données en vue de leur visualisation afin d'aider les décideurs à prendre des décisions et à réaliser par la suite leurs objectifs.

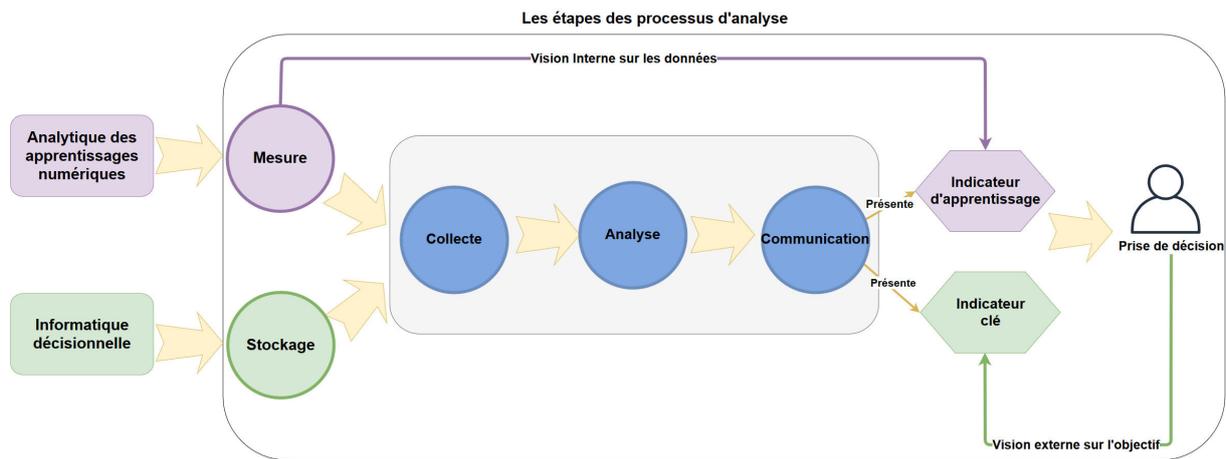


FIGURE 2.1 – Vue comparative entre les deux processus d'analyse

Nous focalisons notre travail de thèse sur des tableaux de bord adaptés aux besoins des utilisateurs afin de les aider à prendre une décision. La place de l'utilisateur et son objectif sont centraux dans notre travail. Pour cette raison, nous nous appuyerons sur l'informatique décisionnelle pour sa vision concernant l'objectif. Notre intérêt se porte aussi sur le concept d'indicateur clé en raison de son importance dans le processus de prise de décision.

Nous consacrons la prochaine section à détailler la différence entre les deux domaines d'analyse en présentant la différence entre les termes importants présentés auparavant tels que les indicateurs et les indicateurs clés.

2.2 Indicateur d'apprentissage et Indicateur clé

Nous consacrons cette section à la définition et la comparaison de la notion d'indicateur dans les domaines de l'analytique de l'apprentissage numérique et de l'informatique décisionnelle.

2.2.1 Indicateur d'apprentissage

Un indicateur est une variable au sens mathématique à laquelle est attribuée une série de caractéristiques pour la rendre signifiante à son destinataire, afin de lui apporter de l'information sur une situation donnée [Dimitracopoulou et Bruillard, 2006]. Il peut représenter des formes numériques, alphanumériques ou graphiques qui ont des valeurs brutes (sans unité) ou interprétées (l'information est alors issue du jugement humain) [Dimitracopoulou *et al.*, 2006]. Selon Choquet *et al.* [2006], un indicateur est une donnée qui a une signification pédagogique. Iksal [2012] a ajouté qu'un indicateur est un observable signifiant sur le plan pédagogique, calculé ou établi à l'aide d'observés, et témoignant de la qualité de l'interaction, de l'activité et de l'apprentissage dans un EIAH. Il est défini en fonction d'un objectif d'observation et motivé par un objectif pédagogique [Choquet et Iksal, 2007], [Iksal, 2012]. L'idée est qu'un indicateur peut être généré en même temps que la situation à analyser ou bien a posteriori, en fonction du besoin et d'un objectif de calcul clairement défini. Un indicateur peut être dépendant aussi des outils d'apprentissage analysés, des données manipulées, de la manière de procéder de l'analyste et de la plateforme d'analyse utilisée. Suivant le même raisonnement, Schwendimann *et al.* [2017] ont identifié différents types d'indicateurs d'apprentissage tels que des indicateurs liés aux apprenants, des indicateurs liés aux actions, etc.

2.2.2 Indicateur clé de performance

Dans le domaine de l'informatique décisionnelle, le terme indicateur est fortement utilisé comme un élément important reflétant la performance d'une organisation (une entreprise par exemple). Les indicateurs adoptés sont des indicateurs clés de performance, aussi appelés ICP (*Key Performance Indicator (KPI) en anglais*). Les ICP aident l'organisation à définir et à mesurer les progrès réalisés vers l'atteinte de ses objectifs.

Un ICP doit être spécifique, mesurable, réalisable, axé sur les résultats et limité dans le temps. Les ICP servent à évaluer ou à mesurer certains aspects des activités commerciales de l'organisation dans son ensemble, ou de certaines de ses composantes, qui pourraient être difficiles à quantifier autrement, comme la satisfaction des employés ou des clients, le développement du leadership ou la qualité du service [Muntean et Cabau, 2011]. De plus, Committee *et al.* [2002] ont ajouté qu'un ICP fournit un moyen simple et fiable de mesurer les résultats, de refléter les changements liés à une intervention ou d'aider à évaluer la performance d'un acteur du développement. Eckerson [2006] a associé un ICP à des objectifs de performance afin que les organisations puissent suivre les progrès accomplis dans la réalisation des objectifs.

Le terme mesure désigne un indicateur utilisé par la direction pour mesurer, communiquer et améliorer le rendement. Ceux-ci peuvent être classés en tant qu'indicateur de performance clé. La différence entre un ICP et une mesure est qu'un ICP représente les mesures les plus importantes pour le succès actuel et futur de l'organisation [Parmenter, 2015].

2.2.3 Discussion

Pour résumer, le concept d'indicateur prend une place centrale dans les deux processus d'analyse. Ce concept est issu de l'étape d'analyse dans les processus d'analyse. Dans l'analytique de l'apprentissage numérique, le calcul des indicateurs a pour objectif de témoigner de la qualité de l'interaction, de l'activité et de l'apprentissage dans une situation d'apprentissage. Les indicateurs sont calculés principalement pour mettre en avant la sémantique des traces laissées par les apprenants. En informatique décisionnelle, l'importance d'un indicateur est définie selon l'objectif de l'utilisateur. Un indicateur calculé pour répondre à un objectif précis est considéré comme un indicateur clé dans ce contexte. Dans les deux processus, l'indicateur permet de passer des données/traces brutes aux informations. L'utilisation des tableaux de bord durant l'étape de communication permettra de transformer par l'analyse humaine ces indicateurs en connaissances pour aider à la prise de décision.

Nous continuons notre étude comparative des deux processus d'analyse par la comparaison de la place et la définition des tableaux de bord. Les tableaux de bord sont utilisés durant l'étape de communication qui consiste à présenter l'information et la compréhension (ou l'interprétation) acquises à l'étape d'analyse.

2.3 Tableau de bord

Dans notre contexte de recherche, la visualisation des indicateurs est utilisée comme un moyen permettant de remonter les données portées par les différents indicateurs (le résultat de l'analyse) aux utilisateurs. Il est donc important de se poser la question liée à la manière de visualiser les indicateurs.

La visualisation est définie comme une communication de l'information à l'aide de représentations graphiques. Une seule image peut contenir une mine d'informations et

peut être traitée beaucoup plus rapidement qu’une page de mots représentant le même contenu. En effet, l’interprétation des images est réalisée en parallèle au sein du système perceptuel humain, tandis que la vitesse de l’analyse du texte est limitée par le processus séquentiel de lecture. Les images peuvent également être indépendantes de la langue locale, car un graphique ou une carte peut être compris par un groupe de personnes sans langue commune [Ward *et al.*, 2015].

En termes d’indicateurs, leurs visualisations sont utilisées pour communiquer clairement l’information importante [Few, 2013] et constituent souvent un moyen beaucoup plus rapide de partager un message que de tout retranscrire dans un texte [Crampton, 2001].

D’après Few [2013], l’utilisation des tableaux de bord est considérée comme le moyen de communication des indicateurs le plus approprié. En effet, les tableaux de bord peuvent exploiter la puissance de la perception visuelle pour communiquer à l’aide des présentations graphiques. Ces derniers sont souvent faciles à communiquer avec une plus grande efficacité et une signification plus riche que la visualisation d’un texte seul.

2.3.1 Tableau de bord d’apprentissage

Les tableaux de bord d’apprentissage sont définis comme un affichage qui visualise de manière utile les résultats de l’exploration de données éducatives [Yoo *et al.*, 2015]. Pour Verbert *et al.* [2013], un tableau de bord d’apprentissage présente généralement les traces des activités d’apprentissage, afin de promouvoir la prise de conscience, la réflexion et la création de sens, et de permettre aux apprenants de définir des objectifs et de suivre leurs progrès vers ces objectifs. Il s’agit d’un moyen simple d’organiser et de gérer plusieurs graphiques qui partagent les mêmes données sous-jacentes.

Dans notre thèse, nous tenons à visualiser des indicateurs. Ces derniers sont considérés comme un ensemble de données qui ont une signification pédagogique tandis que les traces représentent seulement le résultat d’une observation ou d’une production enregistrée. Par ailleurs, nous retenons la définition proposée par Schwendimann *et al.* [2017]. *Un tableau de bord d’apprentissage est un affichage unique qui regroupe différents indicateurs sur les apprenants, le(s) processus d’apprentissage et/ou le(s) contexte(s) d’apprentissage en une ou plusieurs visualisations.* Les tableaux de bord d’apprentissage peuvent montrer les données à l’aide de différentes représentations comme des graphiques. Les tableaux de bord d’apprentissage s’appuient sur la recherche en visualisation de l’information, en analyse de l’apprentissage et en exploration de données éducatives [Schwendimann *et al.*, 2017].

2.3.2 Tableau de bord décisionnel

Le terme tableau de bord est défini dans plusieurs domaines et particulièrement dans le domaine de l’informatique décisionnelle. *un tableau de bord est un affichage des informations les plus importantes nécessaires pour atteindre un ou plusieurs objectifs ; consolidés et disposés sur un seul écran de façon à ce que l’information puisse être suivie d’un seul coup d’œil* [Few, 2013]. Les tableaux de bord ont été décrit aussi comme une interface utilisateur facile à lire, souvent d’une seule page, montrant une présentation graphique de l’état actuel et des tendances historiques des indicateurs clés de performance (ICP) d’une organisation pour permettre de prendre des décisions instantanées et éclairées en un clin d’œil [Brouns *et al.*, 2015]. Shemwell [2005] a suggéré que les présentations visuelles sont essentielles à la prise de décision, car les humains peuvent traiter de grandes quantités de données si elles sont présentées de façon significative. L’idée est qu’un tableau de bord permet d’améliorer la prise de décision et les performances des utilisateurs

[Rasmussen *et al.*, 2009]. Finalement, l’objectif du tableau de bord diffère également en fonction du niveau managérial de l’utilisateur. Cette différence est due au rôle de l’utilisateur dans une organisation. Le but du tableau de bord est identifié en fonction de la tâche que l’utilisateur effectue. Il y a trois niveaux de tableaux de bord : opérationnel, tactique et stratégique.

2.3.3 Discussion

Les deux domaines emploient le terme indicateur bien qu’ils ne le traitent pas de la même manière. Dans le domaine de l’analytique de l’apprentissage numérique, un tableau de bord d’apprentissage présente des indicateurs pour aider principalement les utilisateurs à suivre la performance des apprenants durant une situation d’apprentissage. Dans l’informatique décisionnelle, les tableaux de bord proposent une vue orientée décision. L’idée est de proposer une visualisation des indicateurs clés permettant d’aider un utilisateur à prendre une décision.

Nous adopterons ici la logique de l’informatique décisionnelle qui met l’accent sur la décision et les objectifs des utilisateurs. L’idée est de passer d’une vision interne au processus d’apprentissage vers une vision externe de l’objectif visé.

Nous présentons dans la prochaine section un bilan dans le but de présenter une comparaison globale entre les deux processus d’analyse.

2.4 Parallèle entre les deux domaines d’analyse

Dans cette section, nous avons tenu à faire un parallèle entre les deux domaines d’analyse des données. Dans les deux cas, nous avons remarqué que l’indicateur et le tableau de bord sont deux notions importantes pour conduire ces analyses et les communiquer aux différents utilisateurs. Cependant, nous avons constaté des différences.

D’après l’analyse ci-dessus, nous comparons, dans le tableau 2.1, les deux domaines présentés précédemment selon trois critères : le processus d’analyse, la définition des indicateurs et les tableaux de bord.

Critères	Analytique de l’apprentissage numérique	Informatique décisionnelle
Processus d’analyse	Data-Driven : La question du traitement des données est centrale.	Data-driven decision-making : Guider la prise de décision fondée sur des données.
	Focalisation sur la sémantique des traces.	Focalisation sur l’organisation des données en vue de leurs visualisations.
	Une vision interne au processus d’apprentissage.	Une vision externe sur l’objectif.
Indicateur	Indicateur d’apprentissage : Témoigne de la qualité de l’apprentissage.	Indicateur clé de performance : Aide à définir et à mesurer les progrès réalisés vers l’atteinte d’objectifs.
Tableau de bord	Permet le suivi des situations d’apprentissage.	Aide à la prise de décision. Dépend du niveau de décision.

TABLE 2.1 – Comparaison entre les deux processus d’analyse

Les deux processus d'analyse visent un objectif en commun qui consiste à transformer les données brutes en connaissances. Cependant, chaque processus d'analyse porte une vision différente : l'un se concentre sur la sémantique des traces et l'autre se concentre sur la décision d'un utilisateur. Cette vision a un impact sur la nature des indicateurs et des tableaux de bord. En effet, dans le domaine de l'informatique décisionnelle, la nature de la décision a un impact sur le calcul d'indicateurs généralement et sur le tableau de bord particulièrement. Un tableau de bord décisionnel permet de regrouper et présenter des indicateurs pour répondre à une décision précise. Le choix et l'organisation de ces indicateurs varie généralement selon le niveau de décision : opérationnel, tactique ou stratégique. Nous détaillons, dans la prochaine section, la notion de décision, la prise de décision et la définition des objectifs.

2.5 Processus de prise de décision

2.5.1 Décision

Décider ou, de façon plus large, intervenir dans un processus de décision ne se limite pas à trouver une solution à un problème [Roy et Bouyssou, 1993]. C'est, le plus souvent, imaginer des compromis, faire accepter un arbitrage dans une situation de conflit. Autrement dit, une décision est un choix d'actions à faire par un décideur parmi différentes possibilités d'actions. Ce choix est fondé sur les valeurs, les préférences et les objectifs d'un ou plusieurs décideurs. Il existe plusieurs niveaux de décision qui sont fondés sur différents critères tels que a) l'objet de la décision, b) l'échéance de la décision.

(a) L'objet de la décision

Selon Ansoff [1969], nous pouvons distinguer trois objets de la décision : stratégique, tactique et opérationnel.

Ces trois objets se distinguent par la quantité d'informations disponibles et nécessaires.

- La décision stratégique concerne la relation entre l'entreprise et son environnement. Il s'agit d'un problème de décision de l'activité de l'entreprise et des types d'activités qu'elle veut exercer [Ansoff, 1965]. La stratégie d'une organisation consiste en des décisions qui sont prises à son plus haut niveau de gestion et qui touchent l'ensemble de l'organisation [Ackoff *et al.*, 1974].
- La décision tactique dite aussi décision de gestion ou encore décision administrative, est prise pour organiser les moyens à court et à plus long terme. Sa mise en place permet de résoudre les problèmes qui surgissent durant la réalisation des décisions stratégiques [Ansoff, 1965].
- La décision opérationnelle nécessite la visualisation d'informations plus spécialisées, plus précises, plus homogènes que celles disponibles aux niveaux précédents et en moindre volume [Ansoff, 1965].

(b) L'échéance de la décision

Les décisions sont définies aussi selon l'horizon temporel. Il existe des décisions à court, moyen et long terme [Ansoff et Brandenburg, 1969].

- Les décisions à court terme sont des décisions opérationnelles. La décision opérationnelle devrait être invoquée quotidiennement pour planifier les opérations par rapport à l'information actuelle [Xu et Birge, 2008]. Par

exemple, la décision opérationnelle planifie les opérations pour assurer la livraison en temps voulu des produits finaux aux clients.

- Les décisions à moyen terme ou les décisions tactiques visent des objectifs qui n'affectent généralement qu'une partie de l'organisation.
- Les décisions à long terme sont des décisions stratégiques qui fixent des objectifs pour l'ensemble de l'organisation, des objectifs à relativement long terme, et formulent des politiques et des principes destinés à régir le choix des moyens par lesquels les objectifs visés doivent être poursuivis.

2.5.2 Prise de décision

La prise de décision est un processus cognitif complexe, différent de la réaction instinctive et immédiate, visant à la sélection d'un type d'action parmi différentes alternatives. Ce processus est basé sur le choix des critères en fonction d'un objectif, et sur l'analyse des enjeux et des options puis conduit à un choix final [Saaty, 2008]. La prise de décision repose généralement sur l'information détenue par le décideur. En fonction des paramètres présentés, cette information peut être quantitative ou qualitative.

Afin de mettre en place un tel processus, plusieurs techniques d'aide de décision ont été mises en place. Simon [1960] a proposé un modèle très général expliquant le processus mental de la prise de décision. Le modèle proposé est un modèle IMCC (Intelligence, Modélisation, Choix, Contrôle). Dans ce modèle, le processus de résolution d'un problème passe par quatre phases bien distinctes.

1. **La phase d'*intelligence*** : Elle repose sur l'idée que le décideur doit analyser et identifier le problème qui nécessite une prise de décision.
2. **La phase de *modélisation*** : Le décideur doit identifier l'ensemble des solutions envisageables pour résoudre le problème. Cette phase est basée sur la structuration des informations recueillies autour d'un problème, il est alors question de les organiser dans le but de réaliser les objectifs du décideur.
3. **La phase de *choix* (ou sélection) de la meilleure solution** : L'idée est de choisir une solution pour le problème identifié. La solution sélectionnée doit être utile pour la réalisation de l'objectif.
4. **La phase de *contrôle*** : Durant cette phase, le choix de la solution doit être évalué par le décideur et confirmé. Dès que la décision est prise, le décideur va appliquer un ensemble d'actions.

Nous présentons une illustration du modèle IMCC dans la figure 2.2. Le modèle proposé décrit un processus itératif. L'essentiel de ce modèle se trouve dans les itérations, qui doivent être nombreuses, entre les trois premières phases. Si la prise de décision est bien rationnelle, il y aura plusieurs phases d'Intelligence du problème, puisque l'ensemble du processus est toujours itératif [Simon, 1960]. L'idée est que les deux autres phases retournent toujours à la phase de l'intelligence. En effet, les deux phases Modélisation et Choix relèvent de la résolution du problème. Dans le cas où le choix n'était pas identifié correctement, cela nécessite un retour vers la phase d'intelligence. Ceci définit la première phase comme une phase critique. C'est pour cette raison que nous nous intéressons à la première phase de ce processus de prise de décision en proposant une solution permettant d'aider un utilisateur tel qu'un enseignant à prendre une décision autour de la situation d'apprentissage. Notre objectif est donc de proposer une solution pour l'aide à la décision.

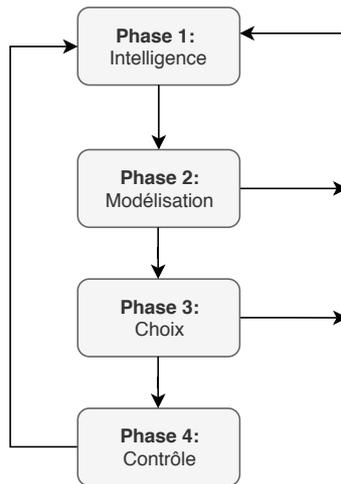


FIGURE 2.2 – Illustration du modèle IMCC

2.5.3 Aide à la décision

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, en prenant appui sur des modèles, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision. Les aides à la décision sont donc des opérations qui facilitent la tâche de prise de décision en simplifiant ou en raccourcissant le chemin cognitif suivi par le décideur. Les fonctions de ces aides peuvent être très diverses : recherches d'informations pertinentes, organisation des informations, visualisation des données, etc. Généralement, les aides à la décision permettent d'éclairer la décision et de recommander un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus et les objectifs de ce décideur [Roy, 2013]. La figure 2.3 illustre le lien entre le processus de prise de décision, l'aide à la décision et la réalisation de l'objectif du décideur. En effet, pour atteindre son objectif, le décideur doit passer par un processus de prise de décision lui permettant de prendre une décision et de faire une action. Ce décideur peut être accompagné par des outils d'aide à la décision comme un tableau de bord durant une ou plusieurs phases du processus de prise de décision.

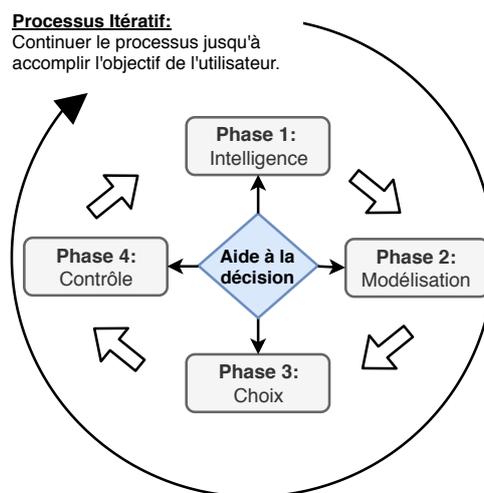


FIGURE 2.3 – Liens entre la prise de décision, l'aide à la décision et la réalisation de l'objectif

Comme nous l'avons illustré dans la figure 2.3, le processus de prise de décision est itératif. La fin de ce processus est conditionnée par la réalisation de l'objectif du décideur.

Nous présentons dans la prochaine section la notion d'objectif, plus spécifiquement les objectifs pédagogiques, dans notre contexte de travail.

2.6 Définition des objectifs

Dans notre contexte, l'objectif des tableaux de bord est d'aider les utilisateurs à prendre des décisions dans le but d'atteindre leurs objectifs pédagogiques. En effet, un élément fondamental de tout processus de décision consiste à définir des objectifs. Nous introduisons dans cette section le lien entre quatre objectifs : l'objectif pédagogique, l'objectif du tableau de bord, l'objectif des indicateurs et l'objectif des moyens de visualisation.

Objectif pédagogique Il appartient, en effet, aux utilisateurs des tableaux de bord en tant que décideurs de prévoir et d'orienter leurs situations d'apprentissage. Pour cela, il faut donc identifier leurs objectifs finaux, adopter une démarche de prise de décision. Les objectifs sont des résultats spécifiques qu'un utilisateur vise à atteindre dans un délai donné et avec les ressources disponibles. Nous tenons donc à proposer des tableaux de bord pour aider les utilisateurs à prendre des décisions. Ces décisions servent à la réalisation de leurs objectifs pédagogiques.

Objectif du tableau bord d'apprentissage L'objectif du tableau de bord d'apprentissage est de fournir des informations afin d'aider l'utilisateur à résoudre certains problèmes ou à réaliser ses tâches. En effet, la visualisation d'un tableau de bord permet à son utilisateur de réaliser certaines tâches dans le but d'atteindre un objectif pédagogique. L'objectif peut varier d'un utilisateur à un autre. Mais encore, l'utilisateur lui-même peut avoir plusieurs objectifs. Par exemple, l'un des objectifs pour un concepteur est d'avoir un feedback, une information précise et exploitable pour ce qui est de la convergence entre le scénario pédagogique conçu et le déroulement effectif de la session d'apprentissage. Pour un tuteur, l'un des objectifs serait d'avoir une visibilité sur la prise en compte par les apprenants des ressources mises à leur disposition et sur leurs productions pour les accompagner dans leur processus d'acquisition des connaissances. L'apprenant pourrait avoir aussi besoin de vérifier son état d'avancement et sa situation dans le groupe, comme il peut utiliser sa propre trace a posteriori pour comprendre sa démarche, etc.

Objectif des indicateurs Le tableau de bord est défini comme un regroupement des indicateurs et des moyens de visualisation [Few, 2013]. En effet, la définition des indicateurs d'apprentissage et des indicateurs de performance en informatique décisionnelle s'aligne sur un objectif précis [Muslim *et al.*, 2017]. Chaque indicateur permet de mesurer les progrès réalisés vers l'atteinte d'un objectif pédagogique.

Objectif des moyens de visualisation Les moyens de visualisation expriment de leurs côtés des objectifs de visualisation supplémentaires qui aident les utilisateurs à comprendre les indicateurs et à prendre des décisions. Les objectifs des moyens de visualisation sont répartis en quatre catégories [Abela, 2006] : (1) comparaison (2) distribution (3) composition et (4) relation. Finalement, l'objectif d'un tableau de bord est donc la représentation et l'organisation de l'ensemble des indicateurs et des moyens de visualisation pour aider les utilisateurs à accomplir leurs objectifs pédagogiques.

2.7 Conclusion

Nous avons présenté ici les terminologies importantes liées à la conception des tableaux de bord. Nous avons constaté que la visualisation des données sous forme de tableaux de bord est considérée comme une notion importante dans plusieurs domaines tels que l'analytique de l'apprentissage numérique et l'informatique décisionnelle. Par conséquent, nous avons étudié la ressemblance et la différence entre les termes que nous avons identifiés comme importants dans ces deux domaines dans le but de nous inspirer des particularités de ces derniers. Nous avons constaté principalement qu'ils ont un objectif commun lié à l'amélioration de la prise de décision grâce à une meilleure compréhension. Cependant, le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique a adopté une approche fondée plutôt sur l'analyse des données qui se concentre d'abord sur la sémantique des traces numériques. Alors que le domaine de l'informatique décisionnelle vise principalement à aider un utilisateur particulier qui est le décideur et propose des éléments méthodologiques, souvent pragmatiques pour guider la conception du processus d'analyse en tant qu'aide à la décision. De plus, l'informatique décisionnelle se concentre sur les indicateurs clés liés à la performance d'une organisation. Ces indicateurs sont mesurables et simples à interpréter ce qui permet de mesurer les progrès réalisés pour atteindre les objectifs des décideurs. C'est pourquoi nous nous baserons sur l'informatique décisionnelle en évoquant les aspects liés à la visualisation des données et plus particulièrement sous une forme de tableaux de bord pour la représentation des indicateurs pédagogiques. L'idée est de proposer des tableaux de bord d'apprentissage comme des supports d'aide à la décision qui accompagneront les utilisateurs à prendre des décisions pour accomplir leurs objectifs pédagogiques ou résoudre des problèmes durant une situation d'apprentissage.

Dans le chapitre suivant, nous étudions un ensemble de travaux autour de la conception et de l'opérationnalisation des tableaux de bord d'apprentissage tout en comparant ces travaux avec le domaine de l'informatique décisionnelle. Cette étude présente à la fois les processus, des démarches et les modèles exploités pour concevoir et générer des tableaux de bord.

Chapitre 3

Processus de conception de tableaux de bord d'apprentissage

Dans ce chapitre, nous proposons un cadre pour l'étude des différentes étapes du processus de conception de tableaux de bord d'apprentissage. L'objectif est d'avoir un aperçu sur les processus de génération adoptés dans la littérature d'une part et d'identifier les dimensions de conception importantes pour la modélisation puis la génération de tableaux de bord d'apprentissage d'autre part. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous avons constaté que les besoins des utilisateurs sont variés et souvent mal explicités. Nous avons donc fait le choix de travailler sur la capture des besoins dans une démarche centrée sur l'utilisateur et itérative pour nous permettre de raffiner nos modèles de conception. Par ailleurs, nous avons fait le choix de limiter l'intervention technique de l'utilisateur, nous proposons donc un processus de génération automatique de tableaux de bord d'apprentissage.

Nous proposons ici un panorama bibliographique pour éclairer les 3 questions de recherche proposées pour articuler nos contributions (cf. section 1.5).

Dans un premier temps, nous étudions les approches et les méthodes de capture des besoins des utilisateurs. Nous précisons l'intérêt d'une capture centrée sur l'utilisateur, puis nous nous centrons sur l'approche participative et son intérêt pour la capture et l'enrichissement de nos modèles de conception.

Dans un second temps, nous étudions les pratiques de modélisation de tableaux de bord d'apprentissage. L'objectif est d'identifier l'ensemble des dimensions qui permettent de caractériser la ou les structures de tableaux de bord dans le but de raffiner progressivement l'ensemble de nos modèles. L'idée est de fournir des spécifications pour un processus de génération.

Enfin, la dernière section est consacrée à la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Nous présentons une étude comparative entre deux solutions pour le développement et la mise en place des processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage.

3.1 Étapes d'un processus de conception

Nos travaux consistent à proposer des tableaux de bord d'apprentissage adaptés aux besoins de l'utilisateur. Nous considérons l'utilisateur au centre de notre travail. Par exemple, certains travaux comme Park et Jo [2015] ont adopté une approche de conception centrée sur l'utilisateur (CCU) [Jokela *et al.*, 2003]. L'application d'une approche CCU peut nous aider à établir les besoins, les préférences et les limites des utilisateurs, à découvrir les possibilités de conception tout au long d'un processus de conception

[McKenna *et al.*, 2015]. Pour présenter notre processus de conception, nous reprenons les quatre étapes principales proposées par [Jokela *et al.*, 2003] :

- La capture des besoins utilisateurs : Cette étape concerne l'identification des besoins utilisateurs et tous les éléments contextuels qui peuvent influencer son activité et qui ont un impact sur le processus de décision.
- La formalisation des besoins utilisateurs : Les besoins utilisateurs sont formalisés afin de permettre une exploitation informatisée des informations. Nous utiliserons des modèles qui seront instanciés avec les besoins utilisateurs et l'expression des éléments de contexte.
- Le développement d'une solution : Afin de tester notre processus de conception, nous proposons une solution technique sous la forme d'un générateur de tableaux de bord. Ce générateur s'appuie sur différentes spécifications (besoins utilisateurs, moyens de visualisation, indicateurs, contexte) pour produire dynamiquement des tableaux de bord adaptés aux utilisateurs.
- L'évaluation de la solution proposée : Les tableaux de bord produits seront présentés aux utilisateurs afin d'évaluer la pertinence du processus de conception et du processus de génération. Dans le cadre d'un processus itératif, cette évaluation permet de faire évoluer les processus proposés. Cette évaluation porte notamment sur la facilité d'utilisation des processus par rapport aux tâches de l'utilisateur. La satisfaction des utilisateurs est une mesure clé du succès de la conception qui permet de valider le fait que les besoins des utilisateurs sont correctement identifiés et exploités [Doroftei *et al.*, 2017].

Le lien entre les différentes activités est illustré dans la figure suivante 3.1 :



FIGURE 3.1 – Étapes d'un processus de conception centré sur l'utilisateur [Jokela *et al.*, 2003]

En terme de conception de tableaux de bord, deux approches de conception sont distinguées [Pauwels *et al.*, 2009] : une approche générale et une approche sur mesure. La différence principale entre les deux approches dépend du degré d'intervention de l'utilisateur dans la conception du tableau de bord.

L'approche générale permet de limiter le nombre de mesures de façon à ce que cela soit appliqué à pratiquement tous les contextes. Ces indicateurs à visualiser sont fixes et ne varient pas d'un contexte à un autre. Autrement dit, les indicateurs sont entièrement définis auparavant par le système.

En revanche, l'approche sur mesure offre des indicateurs différenciés pour chaque utilisateur dans le but de pouvoir suivre les progrès accomplis dans la réalisation de leur objectifs. Autrement dit, les tableaux de bord présentent une sélection d'indicateurs adaptée aux besoins des utilisateurs.

Nous nous intéressons par la suite à un processus sur mesure plus en phase avec nos objectifs, ce qui guidera notre étude sur les 3 premières étapes du processus.

Concernant l'évaluation de la solution proposée, Schwendimann *et al.* [2017] constatent que dans la littérature les évaluations mises en œuvre restent très partielles dans les études liées aux tableaux de bord d'apprentissage. Dans le cadre du projet HUBBLE, Matthieu Cisel démontre qu'une méthode d'analyse de tableaux de bord d'apprentissage devra faire appel à une diversité de techniques issues de disciplines comme la psychologie, l'ergonomie, la science des documents et les sciences humaines [Cisel, 2017]. Récemment Jivet *et al.* [2018] ont proposé d'intégrer les concepts pédagogiques comme bases de telles évaluations, pour valider si un tableau de bord d'apprentissage a effectivement un impact sur l'apprentissage. La mise en place d'une telle méthodologie dépassait le cadre de cette thèse, nous nous concentrons sur une évaluation empirique des solutions de tableaux de bord d'apprentissage générés dans l'objectif de construire un premier catalogue de tableaux de bord d'apprentissage.

3.2 Étape de capture des besoins centrée utilisateur

3.2.1 Intérêt d'une démarche centrée sur l'utilisateur

L'approche centrée sur l'utilisateur vise à développer une compréhension explicite des besoins utilisateurs en tenant compte de leurs tâches et de leurs environnements [Jokela *et al.*, 2003]. L'application d'une approche CCU peut aider un concepteur à établir les besoins, les préférences et les limites des utilisateurs, à découvrir les possibilités de conception tout au long du processus [McKenna *et al.*, 2015].

La place de l'utilisateur dans une telle approche est définie en tant que source d'information. L'utilisateur est représenté par l'interprétation des besoins réalisée par des spécialistes comme les chercheurs, les concepteurs, etc. [Sanders, 2003]. Par ailleurs, l'interprétation des données recueillies est considérée comme une étape critique pour la conception d'un outil.

Dans une approche CCU, la satisfaction des utilisateurs est une mesure clé du succès de la conception [Lanter et Essinger, 2016], qui permet à la fois d'identifier les besoins utilisateurs et d'évaluer l'efficacité et la pertinence des outils [Miksch et Aigner, 2014].

Un aspect important de cette approche de conception concerne sa nature itérative, basée sur de multiples validations intermédiaires par les utilisateurs, menant à une validation finale d'une solution [Doroftei *et al.*, 2017].

3.2.2 Apport d'une démarche participative

Une démarche participative est une approche de conception caractérisée par la participation active des utilisateurs dans le processus de conception pour s'assurer que le résultat réponde à leurs besoins et qu'il est utilisable [Spinuzzi, 2005]. Les utilisateurs participent à l'exploration initiale, à la définition du problème et à la génération d'idées de solution. Ils sont ainsi associés à des choix de conception, sans toutefois devoir se préoccuper du développement de la solution. Ils interviennent ensuite dans la phase d'évaluation des solutions proposées [Trischler *et al.*, 2018]. Dans les expériences participatives, le rôle de l'utilisateur devient un élément essentiel du processus. Par

ailleurs, les utilisateurs peuvent s'exprimer et participer directement et de manière pro-active au processus [Sanders *et al.*, 2010].

Dans le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique, cette approche est encore peu utilisée [Abel et Evans, 2013]. Elle permet pourtant une meilleure expression des besoins utilisateurs et l'exploration d'alternatives de conception. L'implication des utilisateurs potentiels du tableau de bord dans sa création est pourtant obligatoire pour réduire le risque de fournir un outil non conforme aux attentes et inutilisé par les utilisateurs [Martins *et al.*, 2017]. Dans les travaux menés par Abel et Evans [2013], l'approche participative a été utilisée pour explorer, extraire et intégrer soigneusement les besoins, les perspectives et les capacités des enseignants dans le but d'accroître la probabilité de déploiement et d'adoption d'un tableau de bord d'apprentissage dédié aux enseignants.

Une approche participative permet de combiner les connaissances de différents acteurs. Le concepteur peut comprendre de manière plus approfondie les besoins utilisateurs, suggérer et valider des options directement avec les utilisateurs. En associant les différents acteurs lors de la phase de capture de besoins, il devient possible de gérer la complexité de défis utilisateurs [Sanders et Stappers, 2008]. Le chercheur en étant associé directement à la capture des besoins peut, tout en contribuant à la solution proposée, tester des hypothèses et affiner ses modèles. Dans une approche participative, chaque acteur a conscience de contribuer collectivement à la solution finale, les rôles peuvent parfois sembler moins marqués. Ainsi, en proposant une approche participative autour de la sélection, voire de la création, des indicateurs [Sardain *et al.*, 2016] a permis d'équilibrer les rôles et de faire le lien entre les chercheurs et les utilisateurs. Ils ont ainsi utilisé une technique de groupes de discussion, qui vise à stimuler le dialogue entre les participants d'un petit groupe sur un thème spécifique, encouragé par un modérateur.

Nous présentons dans la figure 3.2 une comparaison entre les deux approches : centrée sur l'utilisateur et participative. Nous illustrons le changement de rôle des différents acteurs. L'utilisateur passe d'un objet d'étude passif à un expert riche de son expérience jouant un rôle important dans le développement des connaissances, la génération d'idées et le développement de concepts. La capture de besoins se fait à l'aide des outils d'idéation et d'expression fournis par les chercheurs. Ces outils eux-mêmes peuvent être discutés dans les séances participatives.

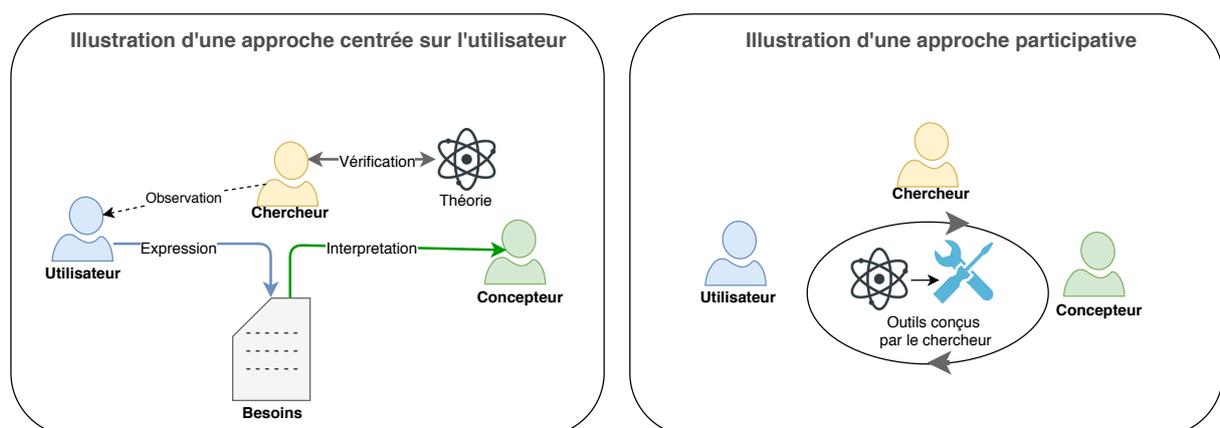


FIGURE 3.2 – Comparaison d'un processus de capture des besoins entre une approche centrée sur l'utilisateur et une approche participative

3.2.3 Quelques outils pour accompagner la capture des besoins

La mise en place d'une approche centrée utilisateur, a fortiori si elle est participative, doit se faire au travers de l'application de différentes techniques et outils.

La capture des besoins dans une approche centrée sur l'utilisateur exige l'utilisation d'un mélange de techniques et d'outils d'enquête (ex., sondages et entrevues) et de génération (ex., atelier participatif) pour développer une compréhension des besoins des utilisateurs. Il existe un certain nombre de techniques utilisées dans les travaux Mitreuter *et al.* [2003], Bourmaud [2006], Carey et Asbury [2016] comme des entretiens, une observation de l'activité médiatisée, l'auto-confrontations (vidéo de l'utilisateur en action), des simulations, des tests utilisateurs, des focus groups, des participations aux réunions structurantes du projet, etc.

Dans leurs travaux, Bakharia *et al.* [2016] ont réalisé des entretiens semi-structurés pour capturer des besoins autour d'un framework d'analytique de l'apprentissage numérique. Mazza et Dimitrova [2007] ont utilisé des enquêtes pour déterminer l'information que les enseignants peuvent avoir besoin de visualiser dans un tableau de bord d'apprentissage. Ali *et al.* [2012] ont réalisé des questionnaires afin d'identifier les caractéristiques d'un outil d'analyse des données. Xhakaj *et al.* [2017] ont appliqué des diagrammes d'affinité dans le cadre d'une enquête contextuelle. D'autres travaux ont réalisé à la fois des questionnaires et des prototypes rapides pour identifier au fur à mesure les besoins et les pratiques des utilisateurs. Dans le but d'élaborer un tableau de bord d'apprentissage, Park et Jo [2015] ont utilisé ces deux techniques auprès des apprenants dans le but d'examiner comment les apprenants perçoivent leurs besoins par rapport au tableau de bord d'apprentissage et ce qui devrait être pris en compte dans sa mise en œuvre.

Pour la conception de tableaux de bord d'apprentissage, Abel et Evans [2013] ont proposé trois ateliers semi-structurés et des prototypes sur papier dans le but de capturer et de raffiner les besoins utilisateurs. Les ateliers permettent l'identification de l'ensemble de données ayant une importance pour les enseignants en classe, tandis que le prototype sur papier permet d'affiner les choix des données et les caractéristiques clés nécessaires.

Dans le but d'atteindre l'objectif d'amélioration de suivi des opérations de manière efficace, Martins *et al.* [2017] ont procédé au développement de tableaux de bord de suivi. Ils ont utilisé des techniques de manière participative de telle sorte que tous les utilisateurs impliqués participent de manière critique à de multiples itérations afin d'améliorer le processus. Cette approche permet aux utilisateurs d'identifier les problèmes, de participer et d'interpréter eux-mêmes leurs besoins.

La diversité des besoins, des contextes d'utilisation, des préférences peut amener à une diversité de propositions difficiles à structurer. Un outillage adapté à ses utilisateurs peut s'avérer important [Sanders *et al.*, 2010]. Nous proposerons dans le chapitre 5 les différents outils utilisés pour améliorer la capture des besoins et raffiner notre modèle, ainsi qu'un outil participatif spécifique aux tableaux de bord d'apprentissage.

3.3 Modélisation de tableaux de bord d'apprentissage

L'objectif de la modélisation de tableaux de bord d'apprentissage est la représentation et l'organisation des contextes et besoins utilisateurs recueillis. L'idée est d'identifier les dimensions de conception [Shaw, 2012] et de les organiser autour des modèles de tableaux de bord d'apprentissage. Les dimensions de conception constituent les éléments les plus pertinents du contexte permettant d'adapter le tableau de bord d'apprentissage aux besoins des utilisateurs. En effet, le contexte d'un objet est défini comme un moyen

de regrouper toutes les dimensions pouvant avoir un impact sur cet objet [Chaker, 2012]. L'identification des dimensions est importante car elle influe sur la conception des tableaux de bord d'apprentissage et la manière dont une interface homme-machine est organisée [Shaw, 2012].

Dans cette section, nous étudions l'ensemble des dimensions de conception et leurs modélisations dans la littérature [Chatti *et al.*, 2012], [Schneider et Passant, 2012].

3.3.1 Dimensions de conception : d'une capture des besoins vers une modélisation

Une question particulièrement importante liée à la modélisation est la suivante : quelles sont les dimensions de conception considérées comme pertinentes pour organiser les contextes et les besoins recueillis ?

Pour répondre à cette question, nous avons orienté notre recherche vers le domaine de la communication et du journalisme [Flint, 1917] et plus particulièrement sur la méthode QQQQCP dite des « 5Ws » en anglais.

La méthode QQQQCP : "Quoi ?, Qui ?, Où ?, Quand ?, Comment ?, Pourquoi ?", est une méthode empirique de questionnement. Les QQQQCP sont considérés comme les concepts les plus fondamentaux de l'analyse d'enquête [Wang *et al.*, 2008]. Notre choix est justifié par la capacité de cette méthode à récolter des informations précises et exhaustives d'une situation et d'en mesurer le niveau de connaissance des utilisateurs [Hulin, 2010].

Dans l'état de l'art, nous constatons la place importante des dimensions pour la modélisation [Chatti *et al.*, 2012] et la conception des tableaux de bord d'apprentissage [Schneider et Passant, 2012].

Nous présentons deux exemples de mises en œuvre de la méthode QQQQCP. La définition de ces dimensions varie d'un cas à un autre. La première mise en œuvre définit un cadre général pour la prise en compte de ces dimensions dans le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique. La deuxième mise en œuvre présente une liste de dimensions spécifiques pour les tableaux de bord.

Une application générique des dimensions : un modèle de référence pour l'analytique de l'apprentissage numérique En analytique de l'apprentissage numérique, Chatti *et al.* [2012] ont proposé un modèle de référence pour les outils de ce domaine (cf. fig. 3.3). Ce modèle est basé sur quatre dimensions, à savoir les données et les environnements (quoi ?), les personnes impliquées (qui ?), les objectifs (pourquoi ?) et les méthodes (comment ?).

Ce modèle peut également favoriser une compréhension commune des concepts clés dans ce domaine émergent.

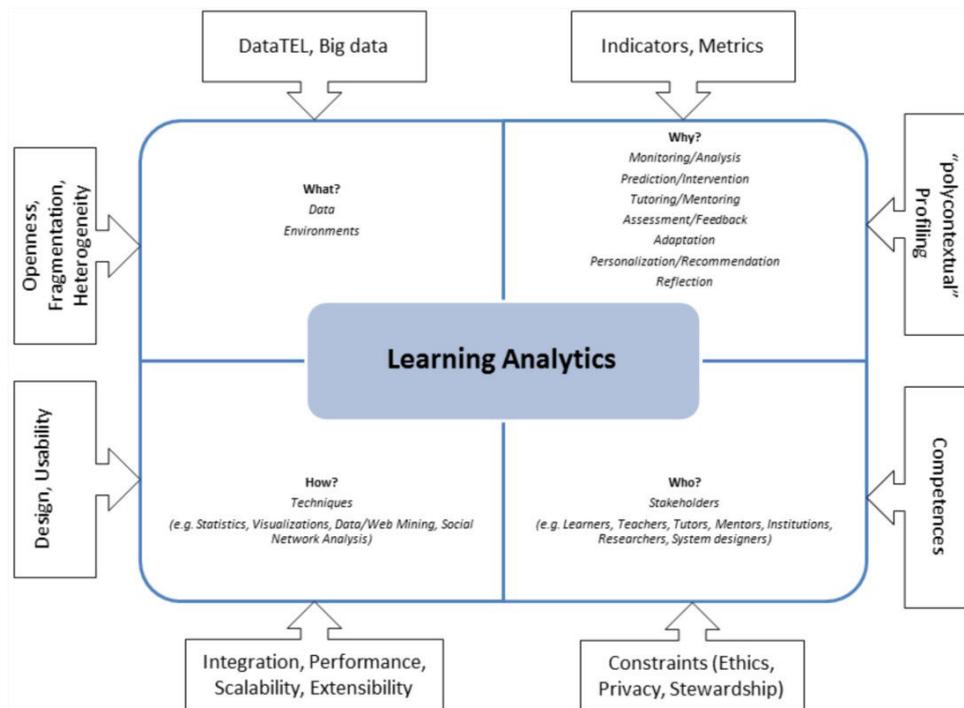


FIGURE 3.3 – Modèle de référence de l’analytique de l’apprentissage numérique [Chatti *et al.*, 2012]

Quoi ? : quels types de données le système recueille-t-il, gère-t-il et utilise-t-il pour l’analyse ?

Nous rappelons que le domaine de l’analytique de l’apprentissage numérique est centré sur les données (cf. chapitre 2). Répondre au "Quoi ?" permet d’identifier les dimensions autour des données comme leurs natures et leurs sources.

Avec la croissance d’utilisation des EIAH, une grande quantité de données est produite par les apprenants. Le défi consiste à agréger et à intégrer des données brutes provenant de sources multiples et hétérogènes, souvent disponibles sous différents formats, afin de créer un ensemble de données éducatives utiles qui reflètent les activités de l’apprenant. L’objectif est que les parties prenantes (comme les apprenants, les enseignants, etc.) aient la possibilité d’agir à temps sur les informations nouvellement obtenues.

Qui ? : qui est visé par l’analyse ?

L’analytique de l’apprentissage numérique est un domaine qui concerne tous les acteurs de l’éducation comme les apprenants, les enseignants, les tuteurs/mentors, les établissements d’enseignement (administrateurs et décideurs du corps enseignant), les chercheurs et les concepteurs de systèmes. Néanmoins, ces acteurs peuvent avoir des perspectives, des objectifs et des attentes différents. L’analytique de l’apprentissage numérique doit fournir un retour adapté à leurs différents objectifs dans l’optique d’une réflexion, d’une prise de conscience de soi et de fournir une aide à la décision.

Pourquoi ? : pourquoi le système analyse-t-il les données recueillies ?

Les objectifs variés des différents acteurs de l’apprentissage (comme : le suivi, l’analyse, la prévision, l’intervention, le tutorat, l’évaluation, la rétroaction, l’adaptation, la personnalisation, la recommandation et la réflexivité) sont parfois difficiles à mesurer et nécessitent alors un ensemble de mesures et d’indicateurs adaptés. Le défi est donc de définir les bons triplets {Objectif / Indicateur / Métrique} [Chatti *et al.*, 2012].

Comment ? : Comment le système procède-t-il à l’analyse des données recueillies ?

Plusieurs systèmes sont riches en données, mais pauvres en information. Les questions

qui en découlent ici sont : comment les données brutes disponibles peuvent-elles être converties en connaissances utiles pour l'utilisateur ? Comment peuvent-elles devenir une base empirique fiable pour la prise de décision ?

L'un des défis à relever consiste également à mettre au point des outils en analytique d'apprentissage numérique qui peuvent être intégrés dans les environnements et les systèmes d'apprentissage. Les outils d'analyse sont donc ceux qui minimisent le délai entre l'analyse et l'action. L'organisation des dimensions sous la forme d'un modèle de référence (cf. fig. 3.3) permet de fournir un cadre général pour la construction de l'analytique de l'apprentissage numérique [Chatti *et al.*, 2012]. Nous nous inspirons dans notre travail de thèse de ce modèle de référence en le spécialisant pour l'identification des dimensions qui sont considérées comme pertinentes pour la conception de tableaux de bord d'apprentissage.

Un cadre d'application spécifique des dimensions : un modèle conceptuel de tableau de bord d'apprentissage : Schneider et Passant [2012] ont organisé un modèle conceptuel de tableau de bord de discussion (chat, forum, etc.), autour de la méthode QQQQCP. L'objectif est de concevoir un tableau de bord de discussion et le rendre facile à interpréter. Plus précisément, le modèle repose sur cinq dimensions "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Quand ? et Où ?".

Qui ? : Cette dimension correspond aux personnes représentées par les données. La réponse à cette question permet de filtrer l'accès aux données.

Quoi ? : Cette dimension permet de comprendre la discussion effectuée entre les apprenants. Elle permet de représenter les résultats d'une analyse complète.

Quand ? : Cette dimension identifie l'ordre des messages effectués dans une discussion entre les apprenants.

Où ? : Dans ce contexte, cette dimension représente les positions des émissions de messages.

Pourquoi ? : Cette dimension cherche à clarifier l'objectif d'une discussion.

Dans le travail de Schneider et Passant [2012], l'application de la méthode QQQQCP était orientée données. L'idée est de faciliter la compréhension du raisonnement ou des explications que les personnes donnent à l'égard de leurs points de vue. Il est important de clarifier les points sur lesquels les désaccords surviennent pour démêler les problèmes [Schneider et Passant, 2012].

3.3.2 Discussion

L'étude bibliographique a permis de mettre l'accent sur la place des dimensions pour la capture des besoins, la modélisation et la conception des tableaux de bord. Nous avons présenté deux applications de la méthode QQQQCP. Le choix des dimensions et leurs places varient d'un cas à l'autre.

Chatti *et al.* [2012] ont présenté une liste de dimensions générales pour le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique. Ces dimensions permettent de décrire un cadre général des outils à proposer. Cependant, en termes de visualisation et de tableau de bord, cette liste reste restreinte.

La conception de tableaux de bord nécessite la prise en compte d'autres dimensions comme "Quand ?" et "Où ?" [Schneider et Passant, 2012]. Contrairement à notre travail, ce tableau de bord était orienté données. L'idée est de se focaliser autour de la discussion effectuée et non sur l'utilisateur. Cependant, la dimension "comment ?" n'était pas prise en compte. L'importance de cette dimension est justifiée dans le cadre des analytiques d'apprentissage numérique généralement [Chatti *et al.*, 2012] et dans le

cadre de tableaux de bord particulièrement [Schneider et Passant, 2012]. Le choix des moyens de visualisation des données est un élément important pour la conception d'un tableau de bord d'apprentissage [Schwendimann *et al.*, 2017]. Selon Chatti *et al.* [2012], cette dimension est un élément principal qui définit le cadre général de l'analytique de l'apprentissage numérique.

Nous tenons dans notre travail à identifier un cadre spécifique pour la conception des tableaux de bord d'apprentissage. Ce cadre spécifique doit être défini par l'ensemble de dimensions impactant la conception de tableaux de bord d'apprentissage. Nous reprenons ici les dimensions identifiées à partir des travaux de [Chatti *et al.*, 2012] et [Schneider et Passant, 2012].

Nous identifions donc six questions où chacune fait référence à une dimension de conception "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?".

3.3.3 Modèles pour les tableaux de bord

La modélisation des dimensions de conception identifiées est nécessaire, car elle permet principalement d'évaluer et d'exploiter ces dimensions. La mise en place des modèles vise à rendre opérationnels les besoins utilisateurs. Nous tenons dans cette section à étudier l'organisation et la modélisation des six dimensions "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?" dans la littérature.

Modélisation pour les tableaux de bord d'apprentissage : les travaux de Ouali [2016]

Dans le domaine des EIAH, Ouali *et al.* [2014] ont proposé une modélisation d'un ensemble d'éléments permettant une organisation stratégique de l'activité d'observation des situations d'apprentissage. Ils ont proposé la définition d'une stratégie d'observation présentée sous la forme d'un métamodèle (cf. fig. 3.4). Ce métamodèle est conçu dans l'optique d'exploiter informatiquement le concept de stratégie d'observation.

Une stratégie d'observation "consiste en un ensemble d'indicateurs, leurs mécanismes de perception (forme de restitution des indicateurs) et les destinataires de ces indicateurs. Elle est aussi constituée du contexte d'utilisation (en lien avec le scénario pédagogique), des objectifs d'observation (réingénierie, tutorat, etc.) ainsi que du moment de l'observation (pendant ou après la session, etc.).

Le métamodèle de la stratégie d'observation met au centre l'utilisateur final de l'observation, plus précisément l'enseignant-concepteur de l'activité d'observation. Cet utilisateur a le pouvoir de choisir quels sont les indicateurs à observer, quel moment est pertinent pour les observer et sur quelles parties du scénario pédagogiques vont porter ces observations.

L'idée est de présenter l'ensemble des éléments constituant une stratégie d'observation sous la forme d'un triplet « indicateur, individu, moyen de visualisation » et du moment de l'observation. Ce triplet est organisé autour de quatre dimensions : "Qui ?" est défini par un modèle utilisateur (individu), "Quoi ?" est défini par modèle d'indicateur, "Comment ?" est présentée par le modèle de moyen de visualisation et "Quand ?" est présentée par un modèle temporel.

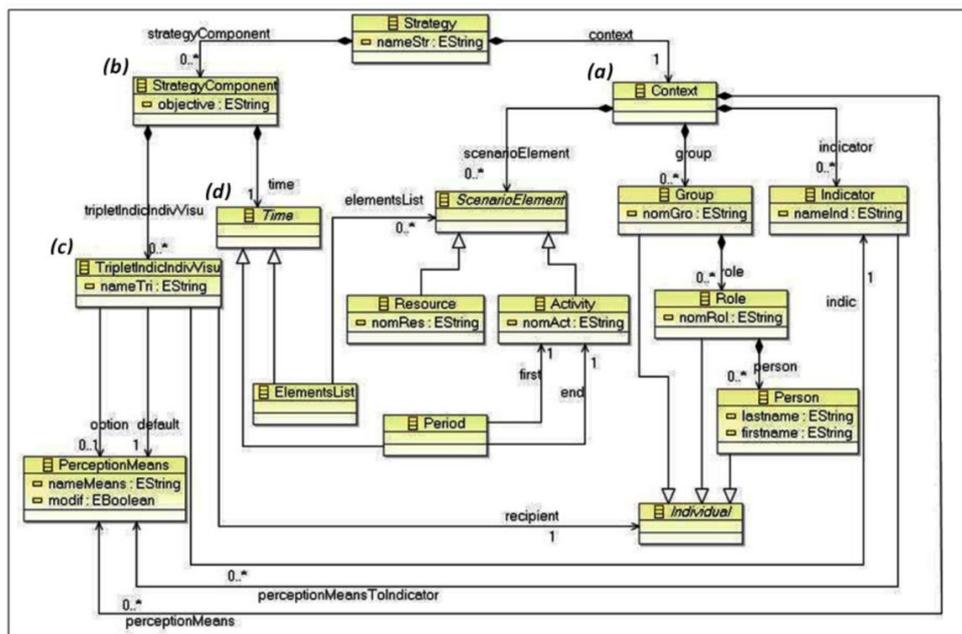


FIGURE 3.4 – Métamodèle d’une stratégie d’observation [Ouali *et al.*, 2014]

Le modèle utilisateur définit le destinataire des tableaux de bord. Ce modèle est déterminant dans la conception des tableaux de bord d’apprentissage, car chacun d’entre eux contiendra les composants pour lesquels les triplets ont des acteurs en commun. Ce modèle présente des informations sur le nom et le prénom de l’individu ainsi que son rôle afin d’identifier les indicateurs et les moyens de visualisation qu’il faut lui attribuer.

Le modèle indicateur définit principalement les indicateurs à visualiser. Ce modèle présente un ensemble d’éléments qui sont : le nom, le type, la dimension afin de faire le lien avec les moyens de visualisation, ainsi qu’un descriptif permettant d’en savoir plus sur l’indicateur lui-même.

Le modèle des moyens de visualisation permet de décrire l’ensemble des possibilités de représentation graphique. Ces éléments sont : le nom, la dimension afin de faire le lien avec les indicateurs, ainsi qu’un descriptif permettant d’en savoir plus sur le moyen de visualisation.

Le modèle temporel définit le moment d’observation des indicateurs comme étant la période couvrant toutes les activités d’apprentissage.

En effet, la stratégie d’observation est basée sur l’association entre ces modèles. Chaque stratégie d’observation nécessite la définition d’un triplet. Chaque triplet caractérise un utilisateur destinataire de l’indicateur dans le format proposé. Un destinataire visualise l’ensemble des indicateurs appartenant à des triplets l’ayant comme destinataire commun. Afin d’optimiser la visualisation des résultats de calcul des indicateurs, une association est faite avec au moins un moyen de visualisation, avec la possibilité ou non de changer pour chaque indicateur les moyens avec lesquels il peut être perçu [Ouali, 2016].

Un autre élément défini dans ce métamodèle est le contexte. Un contexte selon eux est composé de quatre éléments : les éléments du scénario pédagogique, les groupes d’individus dont l’activité est à observer, les indicateurs à observer et les moyens de visualisation disponibles. Ce composant permet de mettre l’accent sur l’ensemble des éléments importants pour la conception des tableaux de bord.

Modélisation pour les tableaux de bord dans l'informatique décisionnelle : les travaux de Chowdhary *et al.* [2014]

Dans le domaine de l'informatique décisionnelle, les travaux de Chowdhary *et al.* [2014] ont appliqué une méthodologie dirigée par les modèles pour la génération de tableaux de bord. Chowdhary *et al.* [2014] ont proposé un métamodèle de tableau de bord (cf. fig. 3.5). Ce métamodèle présente différents aspects du tableau de bord. Il définit à travers un modèle d'indicateurs des métriques et des informations à afficher sur le tableau de bord. Il permet à travers un modèle de visualisation et un modèle de navigation de décrire l'organisation de l'information en pages, et la définition des chemins de navigation entre ces pages. Finalement, il attribue à l'aide d'un modèle utilisateur des privilèges de contrôle d'accès aux informations du tableau de bord, en fonction des rôles des utilisateurs. Ceci permet de mettre l'accent sur trois dimensions : "Qui?", "Quoi?" et "Comment?".

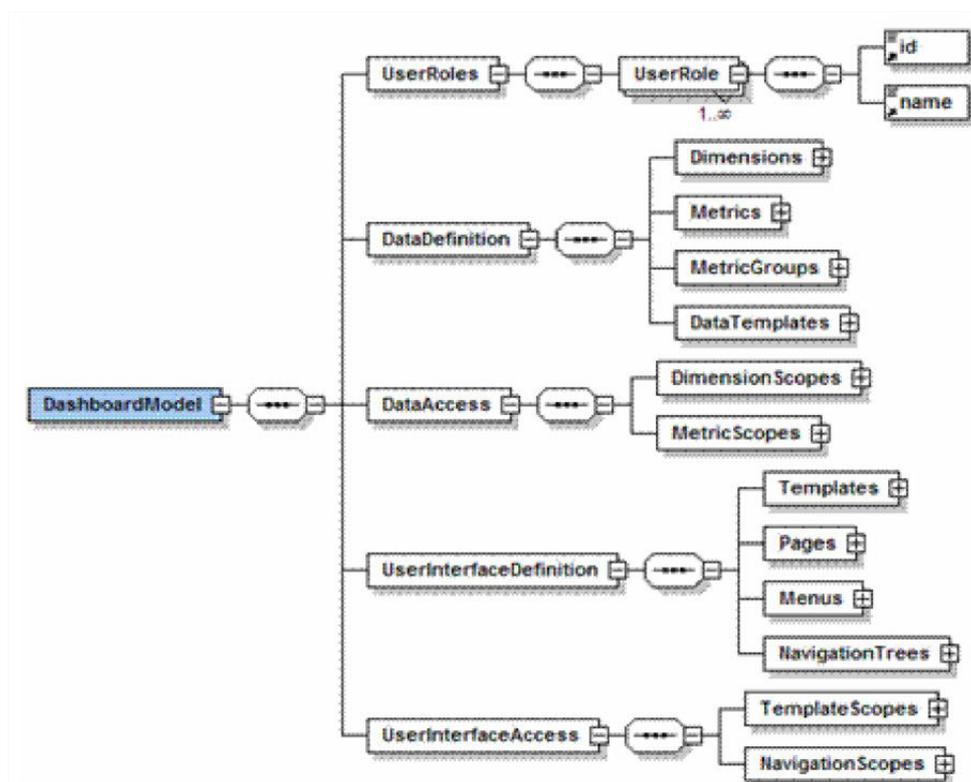


FIGURE 3.5 – Métamodèle d'un tableau de bord [Chowdhary *et al.*, 2006]

Par ailleurs, afin d'obtenir une représentation d'un métamodèle de tableau de bord, ils ont proposé au concepteur un certain nombre de modèles personnalisables par l'utilisateur. Ils ont fourni différents modèles pour les données, les utilisateurs et leurs privilèges d'accès aux données, et enfin, la navigation entre les différentes vues de données.

3.3.4 Discussion

L'objectif de la section 3.3.3 est d'étudier l'organisation des six dimensions "Qui?", "Pourquoi?", "Quoi?", "Comment?", "Quand?" et "Où?" dans des modèles. Nous avons discuté de deux métamodèles de tableaux de bord. Dans le tableau 3.1, nous présentons une vue comparative entre les modèles présentés précédemment. La comparaison est basée sur la manière dont les six dimensions de conception sont prises en compte.

Dimensions	Ouali [2016]			Chowdhary <i>et al.</i> [2014]		
	Modèles	Élément	Description	Modèles	Élément	Description
Qui	Modèle utilisateur	Rôle Utilisateur	Contrôle l'accès aux données	Modèle utilisateur	Rôle Utilisateur	Contrôle l'accès aux données
		Groupe	Représentation d'un élément de contexte		-	-
		Contexte			-	-
Pourquoi	-	-	-	-	-	-
Quoi	Modèle d'indicateur	Indicateur	Définition des données disponibles	Modèle d'indicateur	Dimension	Définition des données disponibles
		Contexte	Description de scénario d'apprentissage		-	-
Comment	Modèle de visualisation	Moyen de visualisation (perception)	Définition des moyens de visualisation	Modèle de visualisation	Templates	Définition des moyens de visualisation Définition de contenu de chaque page du tableau de bord
		-	-	Modèle de navigation	Templates	Organisation des données en pages
		-	-	-	Pages Menu Navigation	Définition des liens entre les pages
Quand	MetaModele	Time Period	Temps de visualisation des données	-	-	-
Où	-	-	-	-	-	-

TABLE 3.1 – Comparaison entre les modèles de tableaux de bord

Le métamodèle de Ouali [2016] permet de répondre à plusieurs dimensions présentées dans la méthode empirique de capture des besoins. Les dimensions traitées sont "Qui?", "Quoi?", "Comment?" et "Quand?".

La dimension "Qui?" est présentée par le modèle utilisateur. La dimension "Quoi?" correspond au modèle d'indicateur. Le métamodèle présente des éléments de contexte et l'aspect temporel "Quand?".

Finalement, la dimension "Comment?" est présentée par un modèle de visualisation. Ce modèle de visualisation restreint la dimension "comment?" aux moyens de visualisation. Il ne traite pas l'aspect structurel du tableau de bord comme l'organisation et la navigation entre les indicateurs. D'après Few [2013], le contenu du tableau de bord doit être organisé de manière à ce qu'il reflète la sémantique de l'information. En effet, l'information ne peut pas être placée n'importe où sur le tableau de bord, et les sections de l'écran ne peuvent pas non plus être dimensionnées simplement pour s'adapter à l'espace disponible. Les éléments qui se rapportent les uns aux autres doivent généralement être placés à proximité les uns des autres.

Le métamodèle de Chowdhary *et al.* [2014] répond seulement à trois dimensions "Qui?", "Quoi?" et "Comment?". Contrairement aux travaux de Ouali [2016], ce métamodèle limite la modélisation des utilisateurs à leurs rôles. En effet, le rôle de l'utilisateur sert à contrôler l'accès aux données sans la prise en compte du contexte et des objectifs des utilisateurs. La modélisation de la dimension "Comment?" est plus détaillée. Le modèle de visualisation proposé présente à la fois les moyens de visualisation disponibles et la structure de tableau de bord y compris l'organisation des composants et la méthode de navigation entre les pages.

Nous avons vu que les métamodèles présentés nous fournissent une base de réflexion, même si des limites sont à poser. En effet, les métamodèles existants ne considèrent pas les dimensions "Pourquoi?" qui font référence à l'objectif du tableau de bord et "Où?" qui représente son aspect physique. Or, l'absence du "Pourquoi?" peut influencer la pertinence de choix de contenu de tableaux de bord d'une part, et d'autre part il peut évoquer un problème d'indexation de tableaux de bord. En effet, l'indexation permettra

de sélectionner le contenu selon le contexte et permettra la réutilisation de ces tableaux de bord dans un contexte similaire.

Comme solution, nous envisageons de proposer des tableaux de bord mettant l'utilisateur et son objectif au centre de la conception. La définition de l'objectif de tableau de bord est considérée comme une dimension importante pour pouvoir répondre aux besoins des utilisateurs. En effet, le but de la visualisation de l'information est de transformer les données en connaissances. Cela devrait permettre de mieux comprendre les processus et les relations de l'enseignement et de l'apprentissage, qui sont à la base des activités d'amélioration [Chatti *et al.*, 2012]. Par ailleurs, il est important de répondre à la question "Pourquoi?" visualiser des données particulières. L'idée est de rendre un outil comme un tableau de bord adapté aux besoins des utilisateurs dans le but de faciliter la compréhension du contenu visualisé. Ce qui met l'accent sur le rôle central des utilisateurs dans la conception de tableaux de bord.

3.4 Génération de tableaux de bord

Dans la section 3.3, nous avons identifié les différentes dimensions de conception et les modèles présentant chaque dimension.

Nous allons tout d'abord exposer les solutions menées dans la littérature pour la génération des tableaux de bord. Puis, nous menons une comparaison entre les solutions étudiées.

Le processus de génération de tableaux de bord que nous allons proposer dans cette thèse, se base sur un ensemble de modèles tout en intégrant les besoins utilisateurs. L'idée est de pouvoir identifier et organiser le contenu pour répondre à un objectif d'utilisateur et de l'aider à prendre une décision pendant sa situation d'apprentissage.

3.4.1 Solutions pour la génération de tableaux de bord

Nous nous focalisons, dans cette section, sur les travaux de Ouali [2016] et Chowdhary *et al.* [2014] présentés dans la section 3.3 pour étudier comment ils ont exploité leurs modèles pour la génération de tableaux de bord. Ces travaux décrivent aussi des stratégies d'automatisation partielles mais différentes. Nous nous intéressons aussi à étudier les stratégies d'automatisation et le choix de technologies de génération.

Ouali [2016] ont proposé un processus de spécification des stratégies d'observation. La figure 3.6 présente l'architecture de ce processus de spécification. Cette architecture est constituée de trois éléments :

1. Un métamodèle est défini autour d'un ensemble de modèles conceptuels décrits sur la base du métamodèle. Ces modèles présentent les indicateurs, les scénarios d'apprentissage (les activités et les ressources qui lui sont associées), et les moyens de visualisation.
2. Un éditeur de stratégies : l'utilisateur plus particulièrement l'enseignant concepteur manipule ce langage de spécification sans se confronter au langage technique informatique. Autrement dit, cet éditeur permet à l'utilisateur de manipuler les éléments du contexte afin de construire les composants des stratégies d'observation que l'utilisateur souhaite définir.
3. Le tableau de bord : le tableau de bord va prendre en entrée la stratégie d'observation générée par l'éditeur afin de produire les composants de l'interface de visualisation.

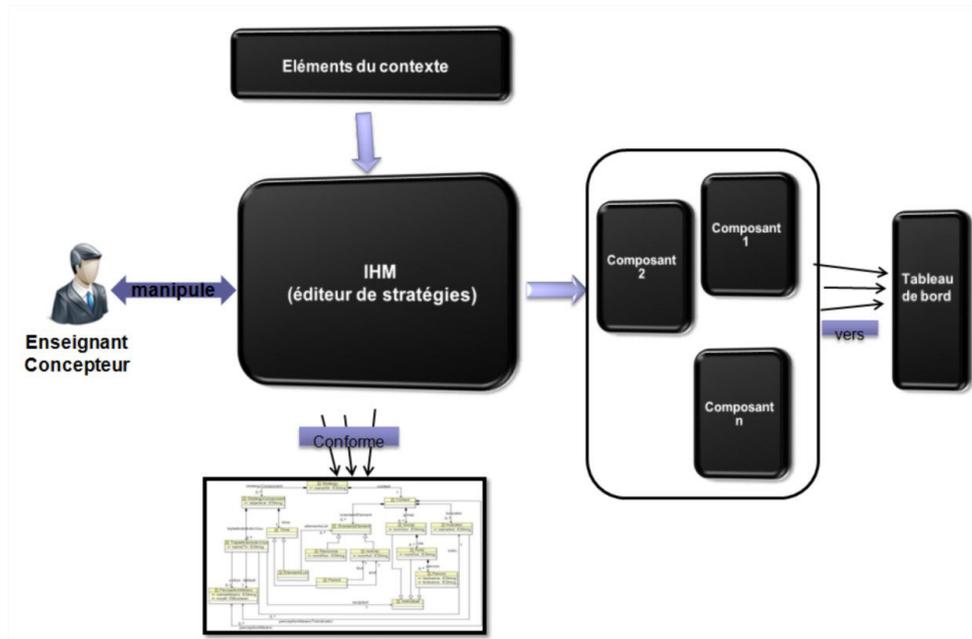


FIGURE 3.6 – Architecture du processus de spécification [Ouali, 2016]

Chowdhary *et al.* [2006] ont proposé un framework de développement de tableaux de bord dirigé par les modèles. Ce framework est basé sur la description et la combinaison d'un ensemble de modèles qui peuvent représenter tous les éléments nécessaires pour réaliser un processus de conception de tableaux de bord. Il présente un certain nombre de modèles personnalisables par l'utilisateur dans le but de capturer la fonctionnalité d'un tableau de bord. Les modèles ont été présentés dans la section 3.3.3. Les utilisateurs ici ont la possibilité de concevoir le tableau de bord avec les fonctionnalités désirées en utilisant les modèles fournis. Par la suite, le framework génère automatiquement du code pour le déploiement du tableau de bord ne laissant que des problèmes mineurs de personnalisation pour le développeur. Le code généré couvre des aspects du tableau de bord, tels que la gestion des données à afficher, la conception de différentes vues des données et de la navigation entre ces vues et l'attribution de privilèges d'accès aux utilisateurs du tableau de bord, afin que chaque utilisateur ne puisse accéder qu'aux données et aux vues qui le concernent.

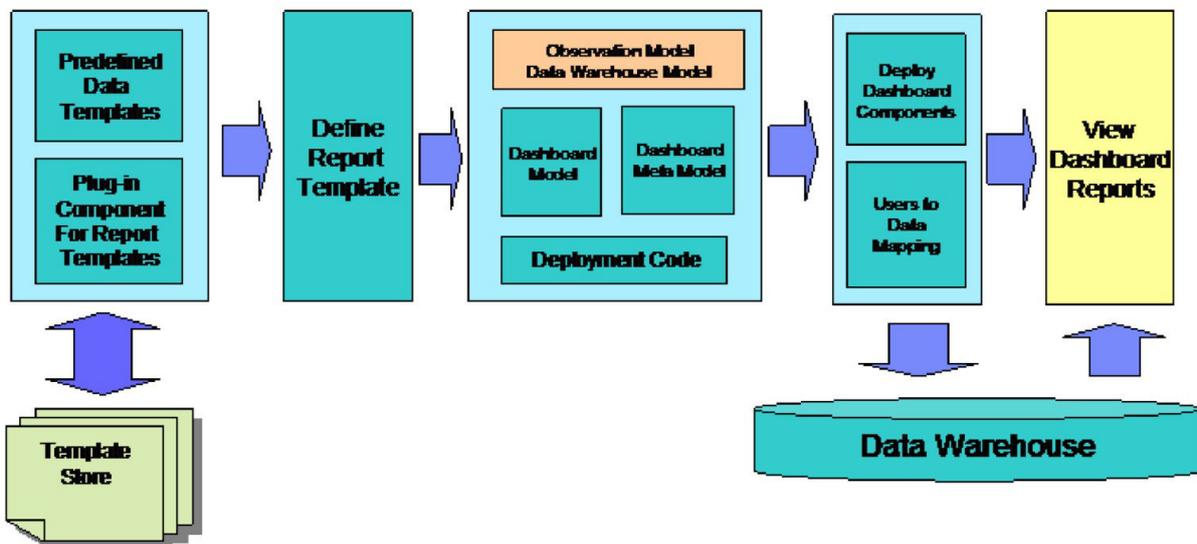


FIGURE 3.7 – Flux de composants du tableau de bord [Chowdhary *et al.*, 2014]

La figure 3.7 donne un aperçu du déroulement du framework. Deux acteurs sont impliqués : l'utilisateur de tableau de bord lui-même et le concepteur :

1. L'utilisateur a comme rôle de définir des templates de rapport personnalisés à utiliser par le tableau de bord, ou en sélectionnant simplement certains des templates prédéfinis dans la base de données de modèles. Ces templates décrivent les données à visualiser et la manière dont elles sont présentées dans un tableau de bord.
2. Le concepteur a comme rôle de modéliser, à l'aide d'un éditeur, les éléments du tableau de bord. Le modèle est défini au travers de l'éditeur puis est transformé pour générer les composants du tableau de bord à déployer.

Une fois les composants déployés, le tableau de bord peut être consulté à l'aide d'un navigateur Web.

3.4.2 Discussion

Le processus de spécification proposé par Ouali [2016] est basé sur la création des composants représentant les stratégies d'observation. La composition de tableaux de bord a pour but de faciliter l'activité de l'enseignant en termes d'organisation et d'optimisation de son activité d'observation.

Dimension	Acteur	Rôle	Automatisation
Qui	Enseignant concepteur	Définition du contexte d'utilisateur	Manuelle (Éditeur)
	Système	Identification de l'instance du modèle utilisateur	Automatique
Quoi	Système	Filtrage du contenu (Indicateur, moyen de visualisation)	Automatique
	Enseignant concepteur	Définition des composants du tableau de bord	Manuelle (Éditeur)
Comment	Enseignant concepteur	Organisation des composants du tableau de bord	Manuelle (Éditeur)
Quand	Manuelle (Éditeur)	Sélection du moment de génération de tableau de bord	Manuelle (Éditeur)

TABLE 3.2 – Étude sur les travaux de Ouali [2016] : Intervention des acteurs durant la génération de tableau de bord

Le processus de spécification génère des tableaux de bord conformes au métamodèle proposé. Cependant, il nécessite une intervention de l'utilisateur lui-même pour organiser ce tableau de bord. L'organisation de tableaux de bord permet de guider la prise de décision [Xhakaj *et al.*, 2017]. Les composants d'un tableau de bord doivent être disposés sur un seul écran de façon à ce que l'information puisse être suivie d'un seul coup d'œil [Few, 2013].

Le tableau 3.2 présente les différents acteurs dans la génération de tableaux de bord selon Ouali. Le système filtre automatiquement le contenu qui répond à un contexte d'utilisateur. Cependant, le processus de Ouali [2016] exige une intervention de l'utilisateur afin de décider du moment de génération, pour définir et organiser les composants des tableaux de bord.

Le framework de Chowdhary *et al.* [2006] décrit un ensemble d'éléments nécessaires pour la génération comme, les données à visualiser, le choix des moyens de visualisation et la description de l'utilisateur. En revanche, la représentation des utilisateurs seulement par

leurs rôles ne garantit pas la génération d'un tableau de bord adapté. Chaque utilisateur a son propre contexte d'usage de tableau de bord qui varie selon ses objectifs au moment de la visualisation. De plus, dans ce framework, la génération de tableaux de bord nécessite une intervention d'experts développeurs pour personnaliser le résultat généré pour qu'il soit conforme aux attentes des utilisateurs finaux.

Le tableau 3.3 présente le rôle des différents acteurs dans la génération de tableaux de bord de Chowdhary.

Dimension	Acteur	Rôle	Automatisation
Qui	Développeur	Définition de l'utilisateur cible	Manuelle (Éditeur)
Quoi	Développeur	Définition de modèles de données	Manuelle (Éditeur)
	Générateur du code	Filtrage du contenu (Template, Indicateur, moyen de visualisation)	Automatique
Comment	Utilisateur ou Analyste	Sélection d'un template pour le tableau de bord	Manuelle (Éditeur)
	Générateur du code	Génération des composants	Automatique

TABLE 3.3 – Étude sur les travaux de Chowdhary *et al.* [2014] : Intervention des acteurs durant la génération de tableau de bord

Les travaux présentés ont mis l'accent sur des étapes de génération communes qui sont principalement la sélection, l'organisation et la présentation du tableau de bord. Aussi, dans les deux frameworks, les utilisateurs doivent intervenir dans certaines étapes pour sélectionner des instances des modèles de données et de visualisation. Cette intervention engendre la spécification de composants de tableaux de bord. Le système génère par la suite automatiquement une version d'un tableau de bord. Néanmoins, les travaux de Chowdhary *et al.* [2014] présentent un aspect additionnel lié à l'organisation automatique des composants de tableaux de bord. Cette organisation est basée sur la prise en compte des templates de tableaux de bord. Ces templates présentent des liens entre les indicateurs et les positions de chacun dans le tableau de bord.

Ce travail est fondé sur l'approche d'ingénierie de transformation des modèles formels. Ces modèles sont utilisés pour automatiser le processus de développement. Dans notre travail, nous tenons à exploiter des modèles de tableaux de bord d'apprentissage comme le modèle d'indicateur, modèle de moyen de visualisation et modèle d'utilisateur pour nous permettre d'assurer une étape d'identification de contenu basée sur le filtrage des données. Au niveau du processus de conception, comme dans les travaux de Chowdhary *et al.* [2006], nous tenons à suivre une démarche de génération automatique de tableaux de bord en nous basant sur la génération des composants de ces derniers. De plus, nous nous intéressons au principe de composition présenté dans le travail de Ouali [2016]. L'approche adoptée par Ouali [2016] est de décomposer le tableaux de bord d'apprentissage en un ensemble de composants dans le but de les organiser dans un deuxième temps. Ainsi, nous supposons que comme pour les interfaces utilisateurs [Van Ryseghem *et al.*, 2014], le principe de composition peut augmenter la possibilité de la réutilisation de ces composants pour construire un autre tableau de bord d'apprentissage.

Les deux solutions étudiées exigent une intervention technique récurrente soit de l'utilisateur [Ouali, 2016], soit d'un expert durant le moment de la génération des tableaux de bord. Dans notre travail, nous tenons à réduire cette intervention dans le processus de génération en faisant le lien entre le travail des experts et des utilisateurs. L'idée est qu'une intervention récurrente lors de la visualisation de tableau de bord d'apprentissage peut limiter la prise de décision. L'utilisateur doit consacrer son temps à interpréter des indicateurs pour prendre les meilleurs décisions. Ce processus doit assurer la sélection,

l'organisation du contenu et la génération de tableaux de bord d'apprentissage adaptés. Pour assurer une génération de tableaux de bord d'apprentissage adaptés, nous tenons à étudier dans la prochaine section le domaine des systèmes d'adaptation.

3.5 Structures des systèmes d'adaptation

L'adaptation des systèmes informatiques à leurs utilisateurs de manière générale permet de faciliter leur compréhension et leur utilisation [Iksal et Garlatti, 2002]. La notion d'adaptation peut avoir différentes facettes : adapté, adaptable et adaptatif [Sehaba, 2014].

Dans un système adapté, l'adaptation du système s'effectue durant la phase de conception. C'est donc le concepteur qui définit, avant la mise en place du système, les connaissances du domaine, les profils des utilisateurs et les interactions possibles.

Dans un système adaptable, l'adaptation devient dynamique, c'est-à-dire qu'elle a lieu pendant l'exécution du programme, mais demeure entièrement sous le contrôle de l'utilisateur, qui organise son environnement de travail et ses outils [Bobillier-Chaumon *et al.*, 2005].

Un système adaptatif est capable de changer automatiquement ses propres caractéristiques en fonction des besoins et des connaissances de l'utilisateur [Oppermann *et al.*, 1994]. Dans notre travail, nous nous intéressons dans un premier temps au système adapté. Nous tenons à générer dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage qui répond aux besoins des utilisateurs. La génération de ces derniers est réalisée par le système lui-même qui prend en compte les besoins des utilisateurs identifiés lors de la phase de capture et formalisation (cf. section 3.1).

3.5.1 Modélisation dans un système d'adaptation

Pour assurer l'adaptation des systèmes, une prise en compte de la modélisation des utilisateurs est nécessaire. Le modèle utilisateur est l'outil principal sur lequel se base la conception des systèmes d'adaptation [Fink *et al.*, 1996]. Höök *et al.* [1998] a défini un modèle utilisateur comme une connaissance à propos de l'utilisateur explicitement ou implicitement codé, utilisée afin d'améliorer son interaction avec la machine. Brusilovsky [1998] a défini de son côté le modèle d'utilisateur comme une représentation de l'information sur un utilisateur individuel qui est essentielle pour qu'un système adaptatif produise l'effet d'adaptation, c'est-à-dire, qu'il se comporte différemment pour différents utilisateurs. Dans le domaine des documents hypermédia par exemple, les utilisateurs peuvent différer les uns des autres par leurs objectifs, leurs acquis et leurs connaissances par rapport au sujet traité par l'hypermédia [Iksal, 2002]. Par conséquent, ils ne seront pas intéressés par les mêmes informations de la page et ne suivront pas les mêmes liens lors de leurs navigations. Le domaine des hypermédia adaptatifs s'intéresse à fournir aux utilisateurs des techniques de recherche d'informations en adaptant à l'utilisateur la navigation dans l'espace d'information ainsi que la présentation de cette information.

Pour créer et maintenir à jour un modèle d'utilisateur, un système adaptatif recueille des données pour le modèle d'utilisateur à partir de diverses sources qui peuvent comprendre l'observation implicite de l'interaction de l'utilisateur et la demande explicite de commentaires directs de l'utilisateur [Brusilovsky, 1998]. Ce processus est connu sous le nom de modélisation utilisateur. La modélisation de l'utilisateur et l'adaptation sont indissociables. L'adaptation d'un document nécessite de disposer d'informations sur l'utilisateur. Le modèle utilisateur correspond à une représentation des caractéristiques de l'utilisateur. Le modèle utilisé dans les travaux de Iksal [2002] est un modèle individuel composé de cinq sections qui représentent des informations personnelles, les préférences,

les connaissances, l'historique des activités des utilisateurs et finalement des informations autour la session. Ce modèle comporte à la fois des informations permettant de filtrer et de sélectionner l'information pertinente pour l'utilisateur, mais aussi des informations concernant son utilisation du système et les fragments consultés.

3.5.2 Processus de génération adaptatifs

Nous nous intéressons à l'étude du processus de génération des documents virtuels. Nous tenons à mettre en avant le lien potentiel entre les tableaux de bord et les documents virtuels. Les documents virtuels sont définis comme des documents hypermédia qui sont générés à la demande en fonction de plusieurs sources d'information et en réponse à une demande de l'utilisateur. Ces documents, une fois générés, ressemblent à des documents Web traditionnels et ne peuvent en être différenciés [Gruber *et al.*, 1997]. Alors qu'un tableau de bord peut être considéré comme un document hypermédia.

Dans le domaine des hypermédia, Iksal et Garlatti [2002] ont proposé un moteur de composition sémantique pour la génération des documents virtuels. Le moteur de composition sémantique permet une présentation et une navigation adaptatives. Le lecteur choisit un dossier de presse particulier et une stratégie de lecture correspondante. Ensuite, le système calcule à la volée un dossier de presse adapté pour ce lecteur, les pages web et leur mise en page.

L'architecture du moteur de composition sémantique s'appuie sur les trois vues d'un document (cf. fig. 3.8).

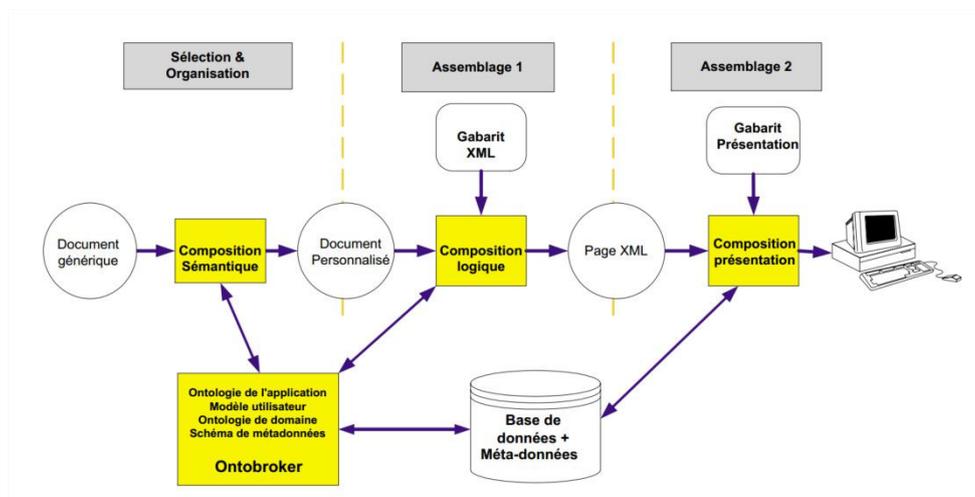


FIGURE 3.8 – Architecture du moteur de composition [Iksal et Garlatti, 2002]

L'une des idées principales derrière la notion de moteur de composition sémantique est de déclarer autant que possible toutes les tâches et interactions du lecteur. Ce moteur est fondé sur différents processus :

- Les processus de sélection et d'organisation de l'information sont réalisés par la composition sémantique.
- Le processus d'assemblage est réalisé par la composition logique puis la composition de la présentation.
 - La gestion de l'organisation de l'information au sein de la page Web est effectuée par la composition logique. Cette dernière calcule une page Web XML à partir du rapport spécial adapté aux utilisateurs.

- La gestion de la présentation de l’information est obtenue par la composition de la présentation qui calcule la disposition actuelle de la page Web à partir de la structure XML.

3.5.3 Discussion

Les travaux existants dans le domaine des systèmes d’adaptation ont mis en avant l’étape d’identification des utilisateurs et de leurs besoins. En effet, le modèle d’utilisateur proposé par Iksal et Garlatti [2002] permet de détailler une liste d’éléments descriptifs du profil utilisateur tout en considérant leurs préférences, leurs informations personnelles et leurs connaissances.

Comme les travaux de Iksal et Garlatti [2002], nous intégrons le modèle utilisateur parmi les éléments clés de notre processus de génération. En effet, nous adopterons une démarche centrée sur l’utilisateur. Nous nous intéressons donc au contexte utilisateur et à sa modélisation. Nous considérons que ce modèle permet de présenter un ensemble d’informations descriptives sur l’utilisateur. Ce modèle permet à un système d’être adapté aux préférences et aux connaissances des utilisateurs. Cependant, il ne prend pas en compte l’objectif de l’utilisateur. Nous considérons que l’objectif de l’utilisateur est un élément clé pour la génération de tableau de bord d’apprentissage. En effet, les tableaux de bord sont conçus pour amener l’utilisateur à réaliser son objectif.

Du point de vue du processus de génération, Iksal et Garlatti [2002] ont proposé plusieurs processus pour la génération des documents virtuels adaptatifs.

L’idée de ces processus est basée sur le principe de composition. Ceci permet d’assurer un niveau de généralité qui est considéré comme une ouverture vers l’adaptation et la réutilisation des documents.

Nous nous intéressons dans notre travail à ces deux aspects : l’adaptation et la réutilisation. L’idée est d’adapter des tableaux de bord aux besoins et contextes utilisateurs. Nous nous intéressons donc à ce principe de composition au sens où un tableau de bord d’apprentissage est comme un ensemble de composants dont chacun est traité à part. Ce principe permet de faciliter la sélection des composants, leur organisation et leur réutilisation.

3.6 Conclusion

L’objectif de cette thèse est de fournir un processus de génération automatique de tableaux de bord d’apprentissage. Nous avons suivi une démarche générale d’ingénierie qui se base sur la capture des besoins, la modélisation et la génération de tableaux de bord d’apprentissage.

Nous avons distingué deux démarches pour la capture des besoins et la conception de tableaux de bord : l’une centrée sur l’utilisateur et l’autre participative. L’état de l’art met en avant la variabilité des méthodes et outils de capture de besoins. Pourtant, les utilisateurs, souvent, peuvent être confrontés à des difficultés liées à l’expression de leurs besoins. Les méthodes proposées dans l’approche participative étaient encore peu utilisées dans le domaine de l’analytique de l’apprentissage numérique [Abel et Evans, 2013], pourtant, elles permettent une meilleure expression des besoins utilisateurs et l’exploration d’alternatives de conception. L’idée est alors de proposer un outil participatif pour aider l’utilisateur à exprimer au mieux ses besoins afin de lui proposer des tableaux de bord d’apprentissage adaptés.

L’objectif de la deuxième étape est d’identifier les éléments permettant de caractériser les dimensions de conception. Les travaux existants appliquent généralement la méthode

empirique QQQQCP pour identifier les besoins utilisateurs. Certains travaux ont proposé l'utilisation d'un espace de conception pour assurer une organisation des besoins utilisateurs autour ces dimensions. L'espace de conception sert également de base pour la capitalisation de l'expression des besoins et de tableaux de bord de référence. Nous tenons donc à concevoir un espace de conception autour d'un ensemble de dimensions de conception. L'organisation des dimensions était généralement présentée sous la forme des modèles de tableaux de bord. Cependant, les travaux étudiés n'ont pas considéré deux dimensions : "pourquoi?" qui concerne l'objectif du tableau de bord et "où?" qui représente l'aspect physique du tableau de bord. En effet, notre intérêt principal dans la mise à disposition d'un tableau de bord aux utilisateurs repose sur la nécessité de leur fournir des données et une représentation de ces données qui leur est utile et surtout compréhensible. Ces tableaux de bord doivent donc répondre au mieux aux objectifs décisionnels souhaités dans le processus d'apprentissage. Nous considérons donc dans notre travail la dimension "pourquoi?" comme l'un des éléments centraux de notre modélisation.

La dernière étape consistait à étudier les solutions de génération de tableaux de bord dans l'état de l'art. Nous avons identifié des traits génériques et communs pour la conception et la génération de tableaux de bord. Les travaux étudiés exigent une intervention technique récurrente soit de la part des utilisateurs, soit de la part des experts en visualisation de données. Cette intervention est présente généralement lors de la construction des indicateurs et/ou la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Nous nous intéressons à proposer une solution centrée sur les besoins et le contexte utilisateur de façon à l'abstraire de toutes ces compétences techniques que l'utilisateur ne possède pas nécessairement. Nous tenons donc dans notre travail à réduire l'intervention des utilisateurs au moment de la génération de tableaux de bord d'apprentissage en proposant un processus automatique basé sur une réutilisation de l'existant.

Notre objectif est donc de proposer un processus de génération de tableaux de bord afin d'aider l'utilisateur à obtenir de tableaux de bord de manière automatique. Nous allons nous baser sur les besoins d'observation spécifiques aux utilisateurs dans le but de leur proposer un processus adapté. Ce processus sera dirigé par un ensemble de modèles. Pour la mise en place de ce processus, nous tenons à appliquer une approche pluridisciplinaire inspirée par l'approche dirigée par les modèles et en tenant compte du principe de la composition appliqué dans le cadre des travaux de Iksal [2002] pour assurer une génération adaptée et réutilisable.

Nous tenons dans le chapitre suivant à examiner un ensemble de tableaux de bord d'apprentissage développés dans le cadre des EIAH. L'idée est d'identifier les valeurs possibles de chaque dimension qui ont eu un impact sur la présentation de tableaux de bord. Il est nécessaire donc de les étudier afin de comprendre leurs apports et de déceler leurs limites.

Chapitre 4

Revue de tableaux de bord d'apprentissage

De nombreux travaux ont été menés sur la visualisation dans un environnement d'apprentissage. Nous nous proposons d'examiner un ensemble de travaux tant pour analyser leur diversité que pour mettre en évidence les modes de génération possibles des tableaux de bord d'apprentissage.

Nous reprenons la grille proposée dans le chapitre 3 pour organiser cette analyse. Concernant les modes de génération des tableaux de bord d'apprentissage, nous nous inspirons des travaux de Pauwels *et al.* [2009], nous avons classé les tableaux de bord en deux catégories en fonction de la dynamique de ces derniers : tableau de bord d'apprentissage général ou sur mesure. Les tableaux de bord généraux proposent des vues prédéfinies dans lesquelles les indicateurs sont fixes et ne varient pas en fonction du contexte. Autrement dit, il n'y a pas moyen de redéfinir les tableaux de bord au sein du logiciel qui les propose en fonction de la demande des utilisateurs. Les tableaux de bord sur mesure peuvent par contre être définis en fonction des attentes précisées par les utilisateurs pendant l'exploitation du logiciel qui les instancie. Nous tenons ainsi à identifier les différentes modalités envisageables dans la lignée de ce que nous avons présenté dans le chapitre précédent.

L'objectif de cette étude est d'identifier et de raffiner la liste des éléments et des champs de valeurs pour les associer à chaque dimension. Ces informations permettront de caractériser le modèle de tableau de bord d'apprentissage. Nous rappelons que l'un de nos objectifs est d'assurer une réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage dans des contextes utilisateurs similaires. Donc, l'identification de la liste des éléments et des champs de valeurs possibles permettront d'initialiser une base de tableaux de bord existants.

Tout d'abord, dans la section 4.1, nous allons présenter les tableaux de bord d'apprentissage généraux tout en évoquant leurs limites liées principalement à leurs caractères statiques. Puis dans la section 4.2, nous allons étudier les tableaux de bord d'apprentissage sur mesure tout en présentant les solutions de génération à travers l'utilisation des éditeurs. Dans la section 4.3, nous allons présenter une synthèse des travaux discutés et définir les éléments qui décrivent les dimensions de conception présentée.

4.1 Travaux sur les tableaux de bord généraux avec des indicateurs prédéfinis

Dans cette section, nous nous intéressons à analyser neuf tableaux de bord d'apprentissage dont la conception et la génération sont réalisées en amont. L'analyse de ces tableaux de bord d'apprentissage vise l'étude de trois aspects : le contexte d'utilisation, la dynamique et la réutilisation.

4.1.1 Présentation des travaux

Les travaux de Van Leeuwen *et al.* [2017] concernent un outil appelé Progress Statistics (PS) qui offre aux enseignants des indicateurs qui les aide à suivre les apprenants. Il offre aux enseignants cinq indicateurs qui décrivent principalement le progrès des apprenants en ce qui concerne le nombre de mots écrits dans le cadre de leurs travaux et dans l'outil de Chat. Les cinq barres présentées dans la figure 4.1 représentent l'évolution de l'activité de cinq groupes concernant le nombre de mots qu'ils ont écrits dans l'éditeur de texte ou dans la conversation. La ligne horizontale indique la moyenne de la classe actuelle. Ceci peut permettre par la suite d'aider les enseignants à orchestrer les groupes au sein de la salle de classe. En effet, les tableaux de bord peuvent aider les enseignants ayant des connaissances en mathématiques et statistiques limitées à interpréter facilement les données sur les apprenants [Bueckle et Börner, 2017].

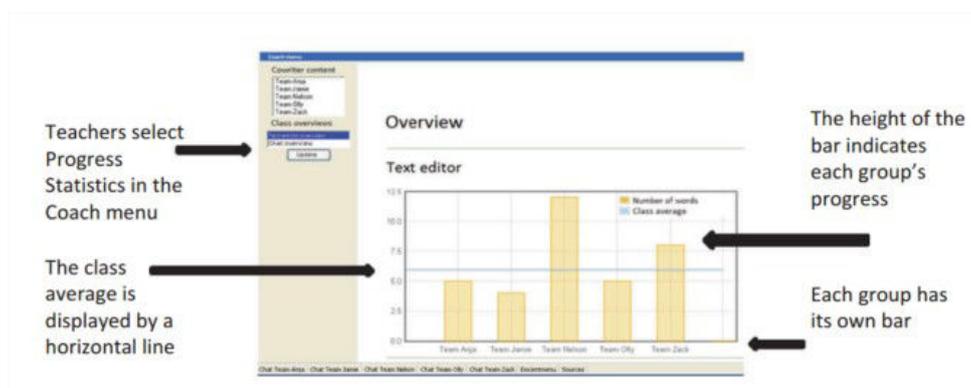


FIGURE 4.1 – Statistiques sur les progrès [Van Leeuwen *et al.*, 2017]

GISMO (Graphical Interactive Student Monitoring System for Moodle) est un autre outil de visualisation destiné aux enseignants. C'est un outil de suivi graphique interactif qui fournit aux enseignants une visualisation des activités des apprenants dans un contexte d'apprentissage en ligne. L'outil visualise les traces des activités des apprenants provenant d'une source unique de données qui est Moodle. Cet outil génère des visualisations graphiques qui peuvent être explorées par les enseignants pour prendre conscience des aspects sociaux, cognitifs et comportementaux des apprenants [Mazza et Botturi, 2007].

Cet outil offre deux niveaux d'analyse aux enseignants :

- Une vue globale de la classe : l'outil présente la totalité des activités de la classe.
- Une vue détaillée par apprenant ou groupe d'apprenants.

Pour chaque vue, l'outil fournit deux types d'indicateurs :

- Indicateur lié aux actions : l'outil montre les accès des apprenants au cours. La figure 4.2 représente une vue d'ensemble du nombre d'accès quotidien aux ressources

du cours. L'outil fournit un aperçu sur chaque apprenant (cf. fig. 4.2.(A)) ou de l'ensemble du groupe (cf. fig. 4.2.(B)).

- Indicateur lié aux ressources : l'outil est capable de montrer la popularité de chaque ressource, comme le nombre total d'accès de toutes les ressources visualisées par apprenant et par jour (cf. fig. 4.2.(C)).

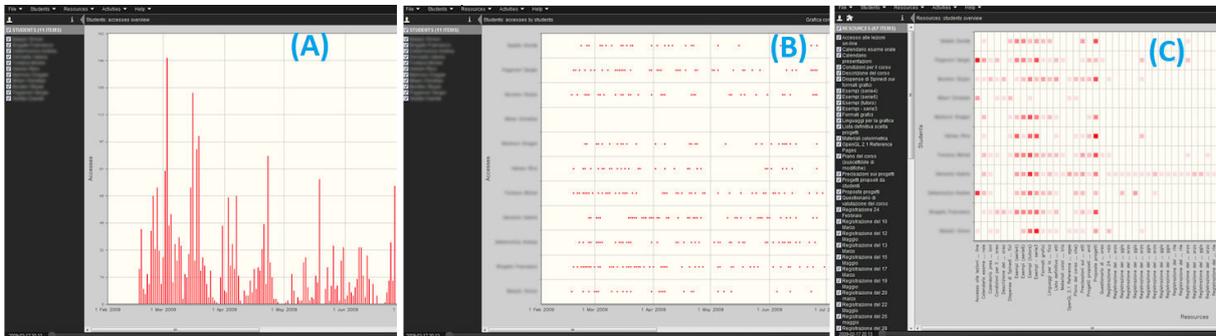


FIGURE 4.2 – Tableau de bord de GISMO [Mazza et Botturi, 2007]

Un autre tableau de bord inspiré de GISMO est développé par Bueckle et Börner [2017]. Le tableau de bord HeatMap tire parti de l'efficacité visuelle des cartes thermiques de [Mazza et Botturi, 2007] (cf. fig. 4.2.(C)). Ce tableau de bord permet aux enseignants d'examiner et de comparer deux types d'indicateurs liés au contenu de cours et aux apprenants tout en proposant des méthodes d'agrégation de données. Par conséquent, le tableau de bord permet de donner un accès à des données détaillées et sur demande sur le rendement des apprenants. HeatMap (cf. fig. 4.3) présente trois moyens de visualisation :

- Une carte thermique de niveau supérieur affiche les données sur l'activité et le rendement des apprenants regroupés par section de cours ;
- Une carte thermique de niveau inférieur affiche les données individuelles des apprenants agrégés pour chaque semaine du cours ;
- La légende fournit de l'information sur l'encodage visuel utilisé pour les deux niveaux du tableau de bord.



FIGURE 4.3 – Tableau de bord HeatMap [Bueckle et Börner, 2017]

Les deux cartes thermiques interagissent l'une avec l'autre ; en sélectionnant une cellule dans la carte thermique supérieure, la carte thermique inférieure est mise à jour avec les données hebdomadaires sur l'activité des apprenants ou les données sur le rendement

scolaire qui correspondent. La visualisation utilise une méthode de normalisation de classement et des indicateurs pondérés pour permettre la comparaison entre l'activité généralisée des apprenants et les comportements de performance. Ce tableau de bord permet de visualiser plusieurs données en même temps comme la visualisation du temps d'apprentissage, la fréquence d'accès, le nombre de connexions, le nombre de messages, le nombre de caractères écrits, etc. Le niveau de participation est défini par une couleur (par exemple, bon : vert, mauvais : rouge, etc.).

Charleer *et al.* [2014] proposent d'utiliser un tableau de bord d'apprentissage comme un outil de sensibilisation tout au long du cours pour les enseignants et les apprenants. Ils ont développé LARAE (Learning Analytics Reflection and Awareness environment), un tableau de bord orienté enseignant qui permet la visualisation des traces quantitatives autour de deux points d'intérêt : les apprenants et le contenu des cours. Dans leurs contextes de travail, les apprenants travaillent par groupes de trois. Chaque groupe rédige chaque semaine un rapport par le biais de blogs, de commentaires et de Twitter. L'idée de ce tableau de bord est de permettre aux enseignants de suivre l'activité des apprenants sur les réseaux sociaux sous la forme d'un espace de cours ouvert et libre. Il fournit des visualisations hebdomadaires pour faciliter la compréhension des interactions des apprenants avec le contenu, avec les autres groupes et les utilisateurs externes, etc. L'apport de ce tableau de bord est lié à l'utilisation des badges (cf. fig. 4.4 (A) et (B)). En effet, les badges se concentrent sur les points suivants : les activités et les objectifs les plus importants de la formation. Les badges fournissent une abstraction des données, qui aide à la prise de conscience des activités importantes, des objectifs du cours et des progrès des apprenants.

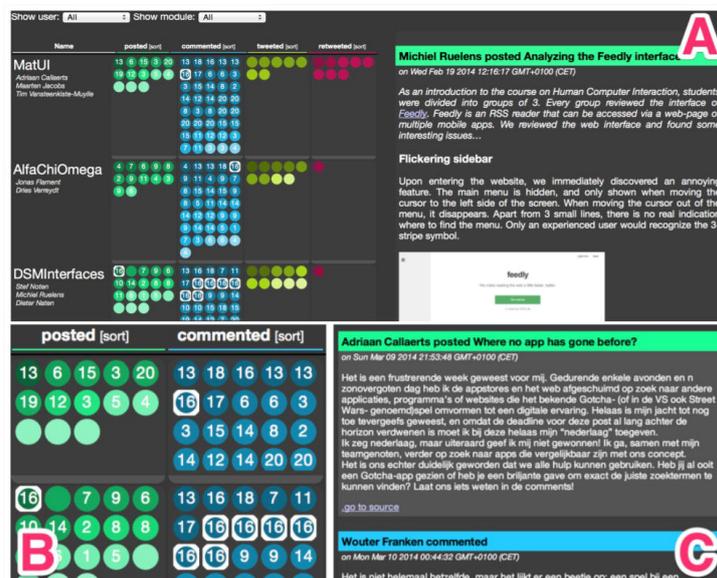


FIGURE 4.4 – Tableau de bord LARAE [Charleer *et al.*, 2014]

Lab4CE [Venant, 2016] est un environnement web qui permet aux enseignants de créer leurs propres sujets de travaux pratiques dans la discipline de l'Informatique, et à des apprenants de réaliser ces travaux en mettant à leur disposition les ressources nécessaires. Cet environnement offre aux apprenants un outil de visualisation. L'outil affiche un ensemble de barres de progression qui reflète le niveau de performance des apprenants par un simple code couleur (vert si la valeur est vraie, rouge sinon). L'idée est d'offrir une possibilité d'auto-suivi afin d'aider l'apprenant à suivre sa progression en temps réel et de se comparer avec le progrès des autres apprenants.

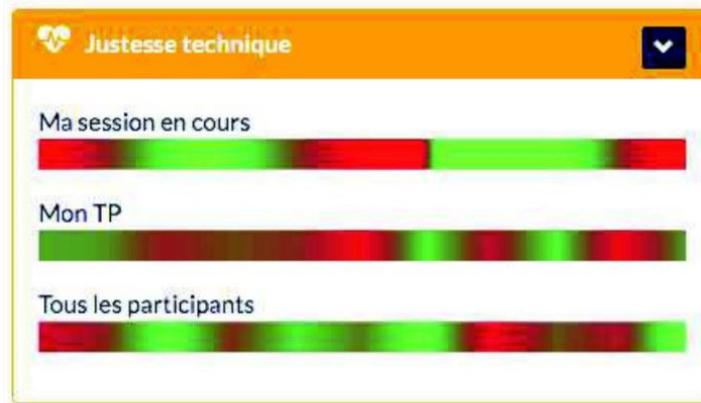


FIGURE 4.5 – Visualisation de données sur Lab4CE [Venant, 2016]

Lab4CE fournit trois barres de progression distinctes. La figure 4.5 illustre les trois niveaux de performance vis-à-vis du travail pratique en cours de réalisation :

- La première (ma session en cours) reflète la performance individuelle de l'apprenant connecté à la plateforme pendant sa session courante ;
- La seconde retranscrit le niveau de performance d'un apprenant pour l'ensemble des sessions de travail réalisées ;
- La dernière expose une vue de l'ensemble des apprenants depuis le début de la réalisation de ce travail pratique.

Ces moyens de visualisation adoptent un code couleur, plus les barres sont de couleur verte, plus le niveau de performance est important.



FIGURE 4.6 – Tableau de bord LAPA [Park et Jo, 2015]

LAPA (Learning Analytics for Prediction and Action) est un autre tableau de bord destiné aux apprenants [Park et Jo, 2015]. Il a pour but de soutenir les apprenants pendant

les situations d'apprentissage. L'objectif est d'informer l'apprenant de sa performance en ligne ; et de guider son apprentissage d'une manière intelligente et personnalisée. LAPA se base sur un modèle de prédiction. Il permet donc de prédire le rendement des apprenants.

La figure 4.6 présente un exemple de tableau de bord LAPA. Il se compose de 7 graphiques. Le graphique choisi pour fournir un résumé de l'activité en ligne est le nuage de points, où chaque apprenant peut choisir l'axe X et l'axe Y pour localiser sa position dans la classe. Les 6 autres graphiques sont munis d'un diagramme de colonne. Ce type de diagramme permet d'afficher la tendance de leur activité chaque semaine en comparant le rendement d'un groupe des apprenants. Tous les graphiques sont mis à jour chaque semaine jusqu'à la fin du semestre.

Le tableau de bord Student Explorer [Aguilar *et al.*, 2014] a été conçu pour suivre les efforts et le rendement des apprenants et pour fournir un soutien aux enseignants dans le cadre d'un programme intégré de perfectionnement des apprenants à risque qui en étaient à leur première et deuxième année d'études de premier cycle en STIM. L'objectif était de fournir l'information nécessaire sur l'engagement et le rendement des apprenants aux enseignants afin de faciliter les interventions opportunes auprès de leurs apprenants au cours du semestre.

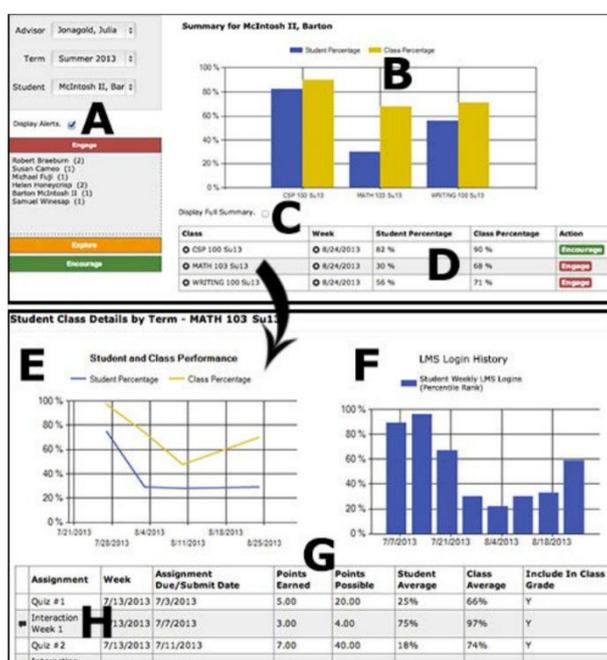


FIGURE 4.7 – Tableau de bord Student Explorer [Aguilar *et al.*, 2014]

L'outil offre deux vues de tableaux de bord (cf. fig. 4.7) : une vue synthétique et une vue détaillée. Le passage d'une vue à l'autre est fait avec un effet accordéon.

La première vue du tableau de bord présente quatre principales fonctionnalités : (A) les cases "Alertes" indiquent quels sont les apprenants en difficulté, et depuis combien de temps. (B) une vue comparative entre les notes d'un apprenant et la moyenne de la classe sous la forme d'un graphique. (C) une case à cocher qui fait basculer la vue "résumé complet" : une liste verticale de pourcentages de points représentant des apprenants par semaine. (D) une vue comparative entre les notes d'un apprenant et la moyenne de la classe sous la forme d'un tableau.

La deuxième vue du tableau de bord offre beaucoup plus de détails et elle présente quatre fonctionnalités : (E) un graphique présente l'évolution au fil du temps de la performance d'un apprenant par rapport à la moyenne de la classe. (F) un graphique présente en pourcentage les visites hebdomadaires du site du LMS par apprenant. (G)

une liste des travaux individuels de l'apprenant et son rendement. (H) Avec le passage de la souris, des commentaires sur un cours particulier apparaissent.

D'autres travaux ont étudié la capacité des apprenants à interpréter les feedbacks reçus à travers le tableau de bord d'une manière qui profitera à leur apprentissage [Corrin et de Barba, 2014]. Les résultats de cette étude ont fourni d'importantes indications sur la façon dont les apprenants interprètent et surveillent leurs actions en réponse à la visualisation des tableaux de bord d'apprentissage. La possibilité d'avoir un tableau de bord pour un auto-suivi a eu un impact sur la motivation des apprenants à l'égard de la matière et a aidé à les guider dans leurs progrès et leur rendement dans les activités d'apprentissage et les évaluations [Corrin et de Barba, 2014].

Les travaux de Abel et Evans [2013] impliquent la visualisation de données de niveaux d'analyse différents. Ils ont proposé un tableau de bord qui offre trois vues différentes aux enseignants. Ces vues sont structurées sur des pages multiples. La figure 4.8 présente une vue sur une large échelle qui permet de visualiser et comparer les données en niveau de l'école. Une autre vue sur toute la classe permet de visualiser les données recueillies des activités de la totalité de la classe avec la possibilité d'entrer dans le détail et de visualiser les données par apprenant.

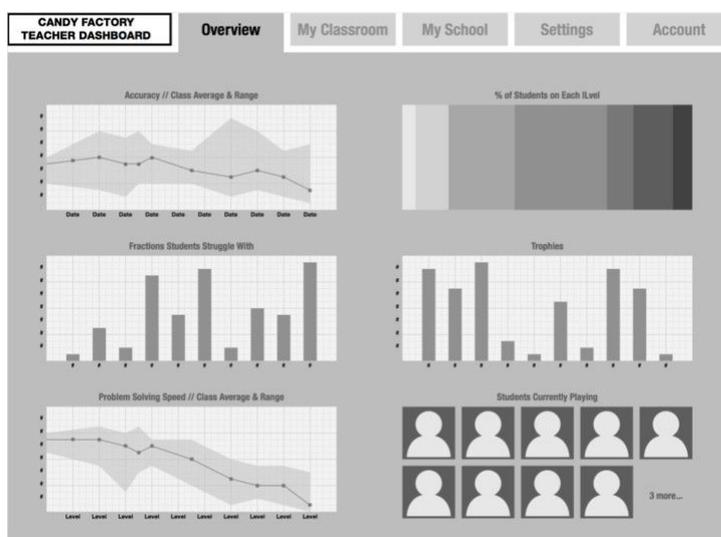


FIGURE 4.8 – Maquette du tableau de bord de [Abel et Evans, 2013]

Les travaux de Broos *et al.* [2018] fournissent aux apprenants un tableau de bord pour une visualisation des données volumineuses recueillies durant deux ans d'activité. L'objectif est de donner la possibilité aux apprenants d'assurer un auto-suivi. Le tableau de bord permet de fournir un retour d'information aux apprenants après leur participation à un test de positionnement social organisé dans un contexte d'apprentissage multi-institutionnel. Le tableau de bord vise à fournir une rétroaction aux apprenants du passage de l'enseignement secondaire vers l'enseignement supérieur.

La structuration de ce tableau de bord est hiérarchique. Il permet de représenter les données à l'aide de cartes. Les utilisateurs commencent la navigation par le haut, en sélectionnant l'une des catégories de feedback qu'ils veulent explorer. La figure 4.9 illustre deux vues. Une vue principale "compétences d'apprentissage" (1). Lorsque l'apprenant choisit la compétence à visualiser, comme la gestion du temps "Time management" de cet exemple, le score individuel de l'apprenant est mis en contexte dans une deuxième vue (2) et comparé aux scores des autres apprenants participant au même test.

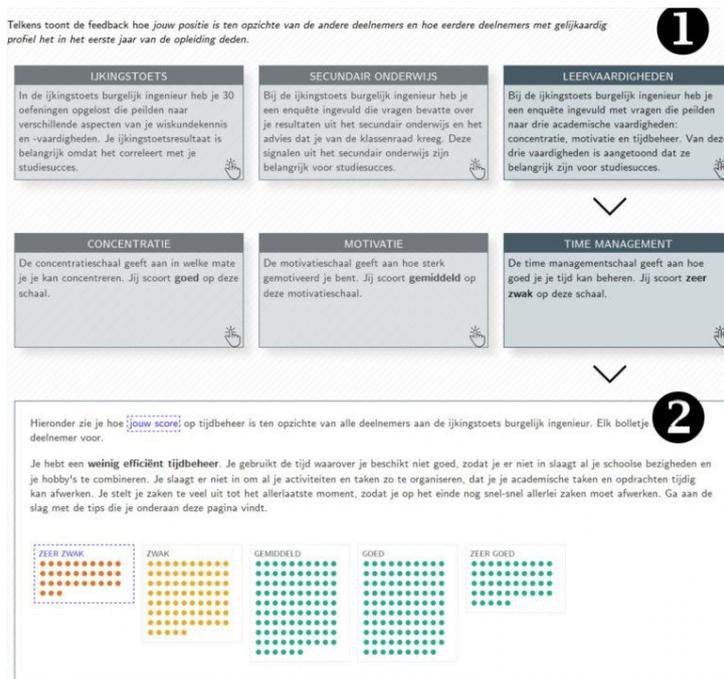


FIGURE 4.9 – Tableau de bord multi-institutionnel de [Broos *et al.*, 2018]

4.1.2 Limites

Nous tenons dans notre travail à proposer des tableaux de bord dynamiques, réutilisables et adaptés aux contextes d'utilisateurs. Notre étude des tableaux de bord généraux montre plusieurs limites liées à leur caractère statique. Nous avons analysé ces tableaux de bord en prenant en compte les trois aspects suivants : le contexte, la dynamique et la réutilisation. Quatre conclusions importantes ressortent : le problème de l'adaptation, la limitation sur les indicateurs et les moyens de visualisation, la structuration sur laquelle deux écoles se confrontent, faut-il afficher le tableau de bord sur une page unique ou sur plusieurs pages web, et pour terminer les difficultés liées à la portabilité des tableaux de bord.

Pas d'adaptation de tableaux de bord

Nous constatons que les tableaux de bord généraux ne permettent pas de prendre en compte différents contextes utilisateurs. En effet, nous constatons qu'ils permettent de répondre soit à un seul contexte d'apprentissage spécifique comme dans les travaux de Broos *et al.* [2018] soit à un contexte très général comme dans les travaux de Mazza et Botturi [2007].

L'évaluation du tableau de bord LAPA n'a pas montré un impact significatif sur les acquis d'apprentissage des apprenants [Park et Jo, 2015]. Dans ces travaux, les apprenants ont indiqué que "l'utilité dépend de la façon dont chaque classe utilise la plateforme d'apprentissage". La faible utilité perçue est liée à la nature du tableau de bord qui ne varie pas selon le contexte d'apprentissage.

La façon dont sont conçus les tableaux de bord généraux fait qu'ils semblent destinés à ne visualiser qu'un nombre limité d'indicateurs prédéfinis. La plupart des travaux ne permettent pas l'intégration de nouveaux indicateurs. Certains travaux comme Mazza et Botturi [2007], Aguilar *et al.* [2014], Broos *et al.* [2018] et Bueckle et Börner [2017] proposent alors une possibilité de personnaliser les tableaux de bord.

Les outils LAB4CE et LAPA présentent l'avantage pour les apprenants d'utiliser les tableaux de bord en temps réel et a posteriori. Cependant, les données visualisées sont les

mêmes dans les deux cas. L'idée est de fournir un rappel de ce qui s'est passé auparavant.

Les indicateurs et les moyens de visualisation sont intrinsèquement limités

De nombreux tableaux de bord fournissent la présentation d'un nombre limité d'indicateurs présentés sous la forme d'un moyen de visualisation unique. L'outil LAB4CE limite la visualisation des activités des apprenants autour d'un seul indicateur affiché à l'aide d'une barre de progression. Quant aux outils LARAE et HeatMap, ils offrent l'avantage de visualiser un nombre limité d'indicateurs, mais avec des données volumineuses. Ces données sont visualisées avec des badges pour LARAE ou des cartes thermiques pour HeatMap. Le problème ici est lié au niveau de détail présenté. Ces techniques utilisées en temps réel impliquent une forte attention de la part des utilisateurs pour pouvoir les interpréter le plus rapidement possible et donc d'interagir facilement et efficacement avec les apprenants en situation de difficulté. Les enseignants par exemple n'ont pas le temps d'interpréter les données détaillées dans certains moments, par exemple en classe, ils doivent observer et réagir à de nombreux événements différents en même temps [Van Harmelen et Workman, 2012].

La structure d'un tableau de bord peut être sur une page unique ou multiple

Pour faire face à la quantité volumineuse de données, le tableau de bord de Broos *et al.* [2018] présente les données séparément. Ceci nécessite pour les apprenants de prendre le temps d'analyser cette quantité de données dans le but d'identifier une vue globale sur leurs performances vis-à-vis des autres apprenants et cela avec différentes institutions.

Dans la création de tableaux de bord, certains pensent que toutes les données doivent être visibles en même temps sur une page unique alors que d'autres pensent qu'il faut organiser plus précisément l'information au travers de plusieurs pages/écrans. L'outil GISMO présente deux vues pour la visualisation des données, une vue synthétique ou une vue détaillée selon le niveau de précision attendu sur les données concernant les individus, les ressources, etc. Le problème est que cet outil ne permet pas à un utilisateur de visualiser plusieurs indicateurs au sein d'une même page. En effet, les indicateurs doivent être disposés sur un seul écran de façon à ce que les informations puissent être surveillées d'un seul coup d'oeil [Few, 2013]. L'outil présenté dans les travaux de Abel et Evans [2013], permet de présenter trois vues différentes pour un tableau de bord où chaque vue présente un niveau de détail différent : vue sur un individu, vue sur la classe et vue sur l'école. Chaque vue est présentée dans un onglet séparément. Dans ce cas, l'utilisateur peut passer d'une vue à une autre en prenant le risque que ces derniers aillent s'éparpiller entre différents indicateurs et différents niveaux de détail présentés chacun dans un onglet.

La portabilité limitée de tableaux de bord

Peu de travaux s'intéressent à l'utilisation d'un tableau de bord par plusieurs utilisateurs. L'outil Gismo offre un aspect général pour le tableau de bord qui permet d'assurer la visualisation des données déployées uniquement sur la plateforme Moodle. Ceci permet aux utilisateurs de cette plateforme de pouvoir visualiser leurs propres données.

Nous présentons dans la prochaine section, les travaux concernant la production de tableaux de bord sur mesure.

4.2 Travaux sur les tableaux de bord sur mesure avec des indicateurs non prédéfinis

Dans cette section, nous nous intéressons à des tableaux de bord d'apprentissage dont la génération peut être configurée pendant l'exploitation du logiciel support. Nous mettons en évidence plusieurs modalités permettant cette génération, afin de justifier notre choix de génération dynamique. Nous analysons ici quatre travaux présentés par Ji *et al.* [2014], Kapros et Peirce [2014], Mejia *et al.* [2012], Holstein *et al.* [2018]. Les deux premiers travaux offrent des éditeurs et impliquent l'utilisateur durant la construction de tableaux de bord d'apprentissage. Les deux derniers travaux présentent des indicateurs adaptés et générés dynamiquement lors de la visualisation de tableaux de bord d'apprentissage.

4.2.1 Présentation des travaux

DDART [Ji *et al.*, 2014] est un exemple d'outil conçu pour les apprenants afin de générer des tableaux de bord sur mesure. Cet outil a pour objectif principal d'améliorer les compétences d'autorégulation et de métacognition des apprenants. Il peut aider les apprenants à collecter, analyser et visualiser leurs traces d'activité sous la forme d'indicateurs créés par les apprenants eux-mêmes. Afin de faciliter la compréhension de ses indicateurs, DDART propose un éditeur mis à la disposition des apprenants pour un objectif spécifique qui est l'autorégulation. Cet éditeur prend en charge la conception d'indicateurs et la visualisation de ces derniers. L'éditeur proposé (cf. fig. 4.10) permet, par des "glisser et disposer" entre les zones "paramètres" et "Indicator design", de spécifier : les entités (les éléments sur lesquels se font les calculs) ; les types de données (fréquence, intervalle de temps, contenu, description) liés aux entités ; les types de calculs ; et enfin les types de visualisation.



FIGURE 4.10 – Interface de conception des indicateurs de DDART [Ji *et al.*, 2014]

L'outil EVADE [Kapros et Peirce, 2014] est dédié aux administrateurs. Cet outil permet de générer des visualisations basées sur les analyses des traces laissées par les apprenants et les enseignants. Ces analyses mettent en évidence des données anormales, et encouragent également l'identification des difficultés des apprenants comme le manque de motivation ou du contenu de l'apprentissage. La visualisation des données est faite seulement à travers un éditeur ou un "Visualisation builder" (cf. fig. 4.11). Cet éditeur n'est pas proposé directement aux utilisateurs. Il est mis à disposition seulement des personnels administratifs dans le but de choisir les moyens de visualisation et les données à visualiser.

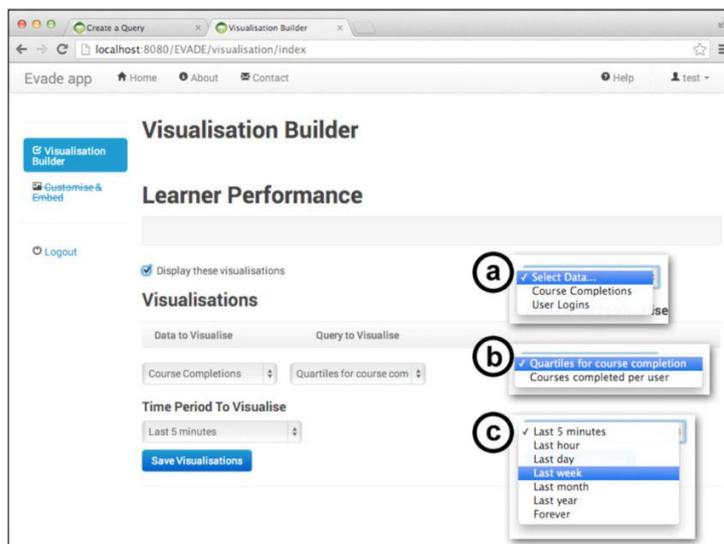


FIGURE 4.11 – Outil EVADE [Kapros et Peirce, 2014]

[Mejia *et al.*, 2012] proposent un tableau de bord nommé PADA à la fois pour les enseignants et pour les apprenants. PADA (Dashboard of Learning Analytics of Dyslexia in Adults) permet aux enseignants non seulement de gérer des situations d'apprentissage traditionnel, mais leur permet aussi de gérer des situations particulières comme la présence d'apprenants dyslexiques. PADA (cf. fig. 4.12) permet d'identifier facilement les apprenants qui ont besoin d'une intervention spécialisée. En effet, PADA propose des tableaux de bord différenciés en fonction des difficultés et/ou des handicaps. Pour la réalisation de ces tableaux de bord, un modèle utilisateur basé sur la démographie, les difficultés particulières de lecture, les styles d'apprentissages et les déficits cognitifs sont pris en compte afin de comprendre comment ces difficultés peuvent être traitées et comment les technologies peuvent améliorer les processus d'apprentissage des apprenants.

PADA montre aux apprenants leur modèle utilisateur afin de les sensibiliser davantage et de promouvoir la réflexion et l'autorégulation sur leurs difficultés, leurs stratégies d'apprentissage et leurs déficits cognitifs en lecture.

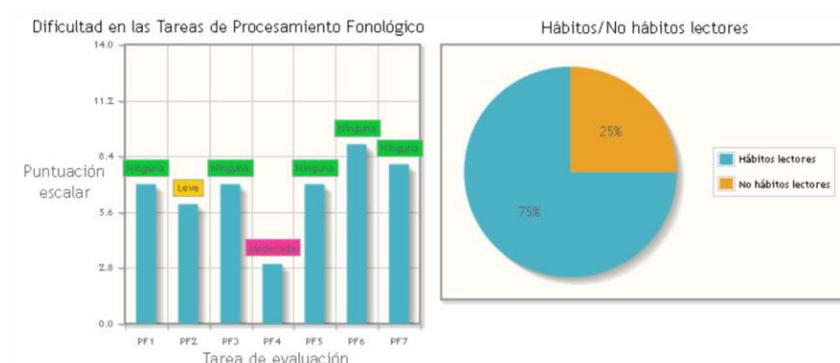


FIGURE 4.12 – Tableau de bord PADA [Mejia *et al.*, 2012]

Finalement, l'outil Lumilo [Holstein *et al.*, 2018] propose aux enseignants un tableau de bord pour visualiser les données en temps réel. Il est utilisé avec des lunettes intelligentes de réalité augmentée qui augmentent les perceptions en temps réel des enseignants pendant une situation d'apprentissage.

Il considère l'ensemble de la salle de classe comme un tableau de bord (cf. fig. 4.13). Afin de visualiser les données importantes, l'enseignant doit porter des lunettes de réalité

augmentée, ce qui l'aide à identifier les apprenants qui ont le plus besoin de son attention en classe. Lorsque Lumilo détecte qu'un apprenant a besoin de l'aide d'un enseignant, il "lève la main des apprenants pour eux" - visible uniquement dans la réalité augmentée de l'enseignant.



FIGURE 4.13 – Tableau de bord de l'outil Lumilo [Holstein *et al.*, 2018]

4.2.2 Limites

Les travaux sur les tableaux de bord sur mesure sont très peu nombreux. Nous avons présenté dans cette section quatre projets. Nous constatons que ces derniers proposent une génération dynamique de tableaux de bord soit à travers un éditeur soit automatiquement.

L'utilisation d'un éditeur pour générer un tableau de bord sur mesure

Certains travaux existants s'orientent vers l'utilisation d'éditeurs pour une génération de tableaux de bord dynamique. Les outils DDART et EVADE proposent la visualisation d'indicateurs différents d'un cas à l'autre. Par contre, ils suscitent une forte intervention technique de la part des utilisateurs pour la génération des tableaux de bord. En effet, les utilisateurs sont responsables de la construction des indicateurs et de l'association aux moyens de visualisation correspondants. Cependant, la construction des indicateurs nécessite que les apprenants aient une forte maîtrise de leur propre contexte.

Les tableaux de bord générés automatiquement sont limités par un contexte utilisateur spécifique

PADA et Lumilo sont deux tableaux de bord générés automatiquement. Ils sont destinés à prendre en compte un contexte utilisateur spécifique. PADA est conçu pour aider les apprenants dyslexiques, tandis que Lumilo permet d'assurer une visualisation uniquement en utilisant des lunettes de réalité augmentée.

4.3 Synthèse sur les dimensions de conception d'un tableau de bord d'apprentissage

L'étude des travaux de l'état de l'art a un double objectif. Un objectif à court terme qui porte sur la définition des dimensions de conception. L'idée est ici d'identifier l'ensemble des éléments décrivant chacune des dimensions de conception et leurs valeurs associées. Le second objectif à long terme consiste à construire un catalogue de tableaux de bord permettant leur réutilisation dans des contextes similaires. Nous présentons dans cette section une synthèse détaillée de l'ensemble des outils et des tableaux de bord étudiés. Elle est organisée autour des dimensions de conception évoquées précédemment.

4.3.1 Dimensions "Qui ?" et "Pourquoi ?"

Dans leurs travaux, Schwendimann *et al.* [2017] ont distingué la répartition des objectifs des tableaux de bord d'apprentissage en trois groupes sur la dimension "Pourquoi ?" : le suivi des autres, l'auto suivi et le suivi administratif. Et pour eux, chacun de ces groupes est associé à des catégories d'utilisateurs différentes, ce qui associe la dimension "Pourquoi ?" avec la dimension "Qui ?". Les enseignants sont intéressés par des tableaux de bord pour assurer un suivi des autres, plus spécifiquement des apprenants. Les apprenants sont intéressés par l'auto suivi. Finalement, le suivi administratif est dédié à l'administration.

Nous avons constaté que la prise en compte du contexte utilisateur influence la génération du tableau de bord, en effet, même si ces derniers ont le même objectif, ils ne partagent pas nécessairement le même impact sur l'utilisateur. Citons par exemple, LAPA et les travaux de Corrin et de Barba [2014] où chacun a proposé un tableau de bord pour les apprenants et pourtant les utilisateurs n'ont pas eu la même compréhension ou réaction vis-à-vis des données. Cela peut être expliqué par la différence de contexte d'apprentissage d'un cas à un autre ou par un problème d'interprétation lié à la présence de données très détaillées ou de moyens de visualisation difficiles à interpréter. D'autres travaux comme Park et Jo [2015] ont mis en évidence que le problème du manque de réaction des utilisateurs peut être lié au temps de visualisation lui-même.

4.3.2 Dimension "Quand ?"

Cette dimension est définie par deux éléments : le moment d'utilisation du tableau de bord et le temps d'observation des données.

Nous constatons que les tableaux de bord peuvent être présentés à différents moments en temps réel (comme les travaux de Corrin et de Barba [2014], Venant [2016], Charleer *et al.* [2014], etc.) ou a posteriori (comme les travaux de Park et Jo [2015], Mazza et Milani [2004], etc.).

De plus, les travaux de Leitner *et al.* [2017] ont mis en avant le besoin d'avoir une vue à court terme, moyen, et à long terme pour réaliser plusieurs objectifs autour de l'apprentissage.

La notion du temps d'observation est en lien avec les données à visualiser. Elle définit la période des données. Le temps d'observation peut être présenté soit par séance [Van Leeuwen *et al.*, 2017], d'une manière hebdomadaire [Bueckle et Börner, 2017], semestrielle [Corrin et de Barba, 2014] ou pluriannuelle [Aguilar *et al.*, 2014].

4.3.3 Dimension "Quoi ?"

Les données à visualiser dans un tableau de bord sont différentes comme les artefacts produits [Arnold et Pistilli, 2012], les interactions sociales [May *et al.*, 2011], l'utilisation des ressources [Verbert *et al.*, 2013], le temps passé [Arnold et Pistilli, 2012] et les résultats des exercices [Mazza et Botturi, 2007]. Schwendimann *et al.* [2017] dans leur revue ont catégorisé ces données selon leurs types. Six types étaient identifiés : des données liées à l'apprenant, à l'action, aux résultats, au contexte, à la société ou au contenu.

Les travaux de Siemens *et al.* [2011] présentent l'existence de trois niveaux d'analyse dans le domaine de l'analytique de l'apprentissage numérique : le niveau personnel, le niveau cours ou le niveau départemental. Nous avons observé ces trois niveaux dans les différents travaux discutés auparavant et dans d'autres travaux moins pertinents pour notre proposition. La prise en compte de ces niveaux d'analyse permet d'offrir des vues différentes aux utilisateurs. Certains travaux présentent les données au niveau de l'individu

ou de la classe comme GISMO, d'autres proposent la visualisation selon un niveau à large échelle comme les travaux de Broos *et al.* [2018]. Parmi ces tableaux de bord certains présentent un seul niveau d'analyse et d'autres permettent la transition entre plusieurs par exemple dans les travaux de Abel et Evans [2013].

4.3.4 Dimension "Comment ?"

Les tableaux de bord ont adopté des structures différentes afin d'assurer le passage d'un niveau de détail à un autre. Les fonctions telles que les structures arborescentes, les icônes de minimisation et de maximisation, les actions de double-clic et les boutons de retour sont très importants pour les utilisateurs lorsqu'ils explorent l'interface et se déplacent à travers différents niveaux de granularité des données en utilisant les fonctions de recherche et des fonctions de visualisation en cascade [Elias, 2012]. Par contre, cette transition peut faire perdre du temps aux utilisateurs ou rendre parfois la tâche d'interprétation des données plus compliquée, voire certains utilisateurs entre deux niveaux de données peuvent perdre des informations : par exemple, le passage d'une vue globale à une vue d'individu peut faire perdre à l'enseignant une vue comparative de cet individu ce qui le ramène peut-être à retourner à la vue globale pour compléter l'information.

4.3.5 Dimension "Où ?"

Nous constatons que le contexte d'apprentissage influence l'impact des tableaux de bord sur les utilisateurs. Dans le contexte de LAPA, les apprenants ont mentionné que "l'utilité dépend de la façon dont chaque classe utilise la plateforme d'apprentissage". Cela implique que l'utilité et l'effet du tableau de bord seraient différents entre un cours en ligne complet et un cours d'apprentissage mixte [Park et Jo, 2015].

Nous distinguons deux modes d'utilisation des tableaux de bord : soit en face à face [Aguilar *et al.*, 2014], [Holstein *et al.*, 2018], soit à distance [Mazza et Botturi, 2007]. Nous constatons que peu de travaux Corrin et de Barba [2014] traitent la question de l'aide à la décision, pourtant aux moments de l'évaluation des tableaux de bord, les utilisateurs expriment leurs besoins de prendre des décisions. À l'issue de cette analyse, nous identifions un ensemble d'éléments décrivant chacune des dimensions identifiées auparavant. Nous décrivons dans le tableau 4.1 la liste des éléments et dans le tableau 4.2 les différents champs de valeurs de ces éléments.

Dimension	Élément	Champs
Qui	Rôle	Le rôle de l'utilisateur la cible du tableau de bord.
Pourquoi	Objectif	Il est question ici d'expliciter l'intérêt du tableau de bord et de comprendre l'objectif de sa conception.
Quoi	Type	Il permet de décrire le type d'indicateur. Chaque indicateur répond à une question précise.
	Nature	Il décrit la manière dont l'indicateur est généré.
	Niveau d'analyse	Il permet d'indiquer le niveau de détail présenté dans un tableau de bord.
	Source de données	Il détaille l'origine des différentes données à prendre en compte.
	Activité d'apprentissage	Il précise le contexte des indicateurs.
Comment	Moyen de visualisation	Il décrit les différentes options de visualisation de données.
	Structure	Elle décrit l'organisation structurelle du contenu du tableau de bord.
Quand	Temps d'observation	Il précise sur quelle durée l'indicateur est observée, cela peut être un temps en heure/minutes ou jour/mois/année, des séances, des modules
	Moment d'utilisation	Il indique à quel moment le tableau de bord sera utilisé par rapport à la situation observée.
Où	Contexte d'apprentissage	Il est question de préciser le contexte organisationnel de la situation d'apprentissage observée.

TABLE 4.1 – Liste des éléments décrivant les dimensions de conception

Dimension	Élément	Valeurs
Qui	Rôle	Enseignant, apprenants, les deux ou personnel administratif
Pourquoi	Objectif	Suivi des autres, auto-suivi, suivi administratif.
Quoi	Type	Temps, apprenant, action, résultat
	Nature	Prédéfini ou non prédéfini
	Niveau d'analyse	Un seul niveau, deux niveaux (vue synthétique et détaillée), trois niveaux (classe, école, individu) ou multi-institutionnel.
	Source de données	Unique ou multiple
	Activité d'apprentissage	Varie selon chaque contexte
Comment	Moyen de visualisation	Graphique classique (Colonne, courbe, etc.), carte thermique, badge, icône, texte, tableau, ...
	Structure	page unique, page multiple (avec ou sans un effet accordéon)
Quand	Temps d'observation	Séance, hebdomadaire, semestre, pluriannuel
	Moment d'utilisation	Temps réel, a posteriori
Où	Contexte d'apprentissage	En classe ou en ligne

TABLE 4.2 – Liste des valeurs pour chaque dimension de conception

Nous présentons dans l'annexe B une vue détaillée des travaux existants en présentant la liste des éléments et les champs possibles.

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié un ensemble de tableaux de bord d'apprentissage dans le cadre des EIAH. Nous avons distingué deux familles, l'une est générale avec des indicateurs prédéfinis et l'autre est sur mesure avec des indicateurs non prédéfinis. L'analyse des tableaux de bord existants nous a permis d'établir plusieurs constats :

le contexte utilisateur a un impact sur ses besoins en terme de visualisation

Nous constatons que la génération de tableaux de bord d'apprentissage varie selon le contexte et les besoins de l'utilisateur (son rôle, son activité, son objectif de visualisation, etc.). Le contexte de l'utilisateur et leurs besoins sont définis autour des dimensions de conception : "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?". En effet, les réponses à l'ensemble des dimensions décrivent un contexte d'utilisation de tableaux de bord d'apprentissage. Comme résultat de cette analyse, nous avons identifié un ensemble de champs et de valeurs décrivant chaque dimension de conception.

Les tableaux de bord généraux ne prennent pas en compte la variété des contextes utilisateurs

Nous avons comparé dans ce chapitre plusieurs tableaux de bord généraux et d'autres sur mesure. Nous observons que la plupart des tableaux de bord généraux offrent des indicateurs génériques ou non contextuels. Les tableaux de bord proposés concernent toujours les mêmes indicateurs, quels que soient la situation d'apprentissage et l'objectif d'utilisateur. Par ailleurs, les indicateurs visualisés se limitent à un seul objectif d'utilisateur sachant que les objectifs sont variables d'une situation d'apprentissage à une autre. En effet, ces indicateurs ne sont pas définis par l'utilisateur. En outre, l'utilisateur n'a pas la possibilité de décider ni des indicateurs à visualiser ni du moment de visualisation.

Les tableaux de bord sur mesure nécessitent généralement une intervention technique récurrente de la part des utilisateurs

Les tableaux de bord sur mesure sont généralement construits à l'aide d'éditeurs qui proposent la création des composants graphiques un par un. L'utilisateur se retrouve alors contraint à la manipulation de nouveaux outils qu'il doit s'approprier et qui le confronte à une quantité importante d'indicateurs et de moyens de visualisation. Il y a un risque évident de surcharge cognitive, peut-être même de frustration et de découragement. Par conséquent, nous tenons à proposer dans notre travail un processus de génération de tableaux de bord sur mesure dans le but de répondre aux différents besoins des utilisateurs et en s'adaptant à leurs contextes.

Nous proposerons donc un éditeur plus facile à manipuler. Il présentera des questions organisées autour des dimensions de conception. Cette organisation permet à l'utilisateur de se concentrer sur la décision à prendre plutôt que sur les aspects techniques.

Nous avons discuté dans cette partie de l'état de l'art des travaux existants autour de la conception et de la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Dans la prochaine partie de notre contribution, nous proposons les différentes étapes adoptées pour la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Nous rappelons donc nos objectifs de thèse qui porte sur la proposition d'un processus de génération automatique de tableaux de bord d'apprentissage adaptés aux besoins des utilisateurs. Ce processus de génération comporte trois étapes : (1) la capture des besoins (2) la modélisation et (3) la génération

des tableaux de bord. Dans un premier temps, nous présentons, dans le chapitre suivant, un processus pour la capture des besoins. Ce processus permet aussi de recueillir des informations sur le contexte d'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage.

Deuxième partie

Contributions

Chapitre 5

Conception itérative de processus de capture et analyse des besoins

Notre objectif principal est de proposer un processus de génération automatique des tableaux de bord d'apprentissage. Nous nous inspirons de la démarche d'ingénierie de connaissances (IC) de Charlet [2003] dans laquelle le processus de génération repose principalement sur trois étapes : la première étape est de comprendre les besoins des utilisateurs et leurs contextes, afin que les tableaux de bord d'apprentissage puissent les aider dans leurs prises de décision. La deuxième étape est de produire, à partir des besoins identifiés, un ensemble de modèles. La dernière étape concerne la génération des tableaux de bord d'apprentissage.

Nous présentons, dans ce chapitre, notre processus de capture de besoins dans le but d'identifier les contextes d'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage. La capture des besoins réalisée a pour objectif de vérifier trois hypothèses :

1. Nous supposons tout d'abord que les tableaux de bord d'apprentissage ont un impact positif sur une situation d'apprentissage s'ils sont adaptés aux besoins des utilisateurs.
2. Comme dans le domaine de l'informatique décisionnelle, nous supposons que les utilisateurs peuvent prendre une décision s'ils utilisent un tableau de bord d'apprentissage où le contenu de ce dernier est présenté de façon à répondre à leurs besoins. Dans la littérature, il y a peu de travaux qui ont étudié la prise en compte de la décision dans l'étape préalable de capture des besoins [Xhakaj *et al.*, 2017].
3. Nous supposons aussi que les besoins des utilisateurs peuvent varier d'un contexte à un autre. À l'issue de l'analyse des travaux existants (cf. chapitre 4), nous avons constaté que seuls les travaux autour des tableaux de bord sur mesure ont proposé une étape préalable de capture des besoins. La limite principale de ces tableaux de bord est alors qu'ils ne supportent pas le changement de contexte utilisateur. En effet, ces travaux proposent des tableaux de bord sur mesure et adaptés à un unique contexte utilisateur.

Dans ce chapitre, nous tenons à la fois à tester la pertinence des dimensions de conception étudiées dans l'état de l'art (cf. chapitre 3 et 4) et à identifier des éléments descriptifs de ces dimensions dans le but de raffiner mutuellement la capture et nos modèles de tableaux de bord d'apprentissage suivant la démarche présentée dans la figure 5.1. En effet, il faut noter que la capture itérative des besoins permet de capitaliser plus de détails sur la manière de modéliser les dimensions de conception. De plus, l'identification

des différentes dimensions permet de mieux représenter le contexte utilisateur et donc d'améliorer la capture des besoins.

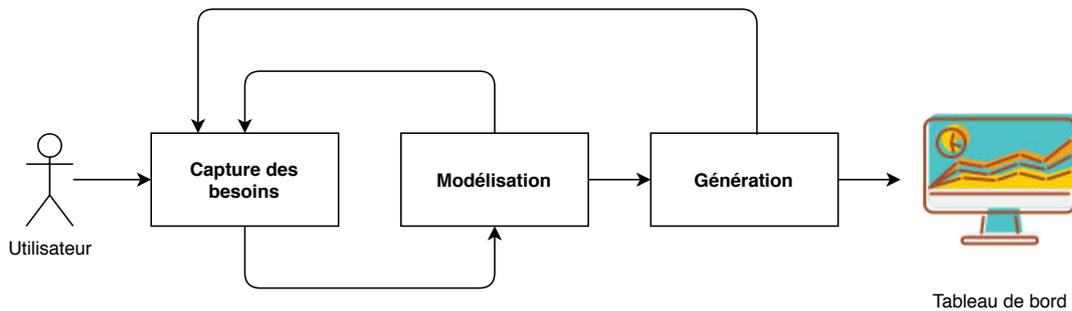


FIGURE 5.1 – Démarche de travail

Nous suivons une démarche itérative pour proposer un processus de capture permettant de raffiner les besoins. À l'instar de Rivero *et al.* [2014], nous cherchons à combiner des outils de capture de besoins efficaces avec un recueil progressif de ces besoins pour construire et enrichir des modèles de conception.

L'objectif de ces itérations est de spécifier l'ensemble des éléments qui permettent de caractériser la ou les structures pertinentes de tableaux de bord et de raffiner progressivement l'ensemble de nos modèles conceptuels. Pour capturer les besoins des utilisateurs, nous supposons que ces derniers n'ont pas l'habitude d'utiliser des tableaux de bord. Ils peuvent donc rencontrer des difficultés à exprimer leurs besoins de visualisation et les données à visualiser. Dans ce contexte, nous avançons aussi l'hypothèse que la proposition d'un processus participatif de capture des besoins permettra de combler l'écart entre ce que l'utilisateur exprime et ce qu'il veut avoir. En effet, la participation de l'utilisateur permet d'introduire un décalage de point de vue qui contribue à réévaluer les pratiques et les idées reçues par le concepteur. Ainsi, le contexte d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage influence son organisation (cf. chapitre 4).

Il est donc nécessaire d'aboutir à une méthode de capture des besoins contextualisés permettant d'explicitier ces différentes dimensions pour chaque tableau de bord d'apprentissage.

5.1 Processus de capture des besoins

Pour élaborer notre processus de capture des besoins, nous suivons une démarche itérative. Dans la pratique, les besoins des utilisateurs évoluent et se développent au fur et à mesure [Rogers *et al.*, 2011]. Nous adoptons, dans notre travail, une approche de conception centrée sur l'utilisateur (cf. section 3.2). En effet, cette approche permet de développer, de manière itérative, une compréhension explicite des besoins des utilisateurs et de leurs contextes. En revanche, l'utilisateur n'intervient pas directement dans la conception, mais il est représenté par l'interprétation des besoins réalisés par les chercheurs [Sanders, 2003]. Un risque existe toutefois sur la mauvaise interprétation possible des besoins utilisateurs. Par conséquent, l'idée d'utiliser une démarche participative pour capturer les besoins est une étape complémentaire, ce qui permet d'avoir une interprétation directe de la part de l'utilisateur car ce dernier devient plus actif.

Nous passons en revue les différentes itérations clés de ce processus tout en présentant le cadre adopté pour aboutir à une méthode de capture des besoins. La figure 5.2 présente l'évolution du processus de capture des besoins élaboré durant notre travail.

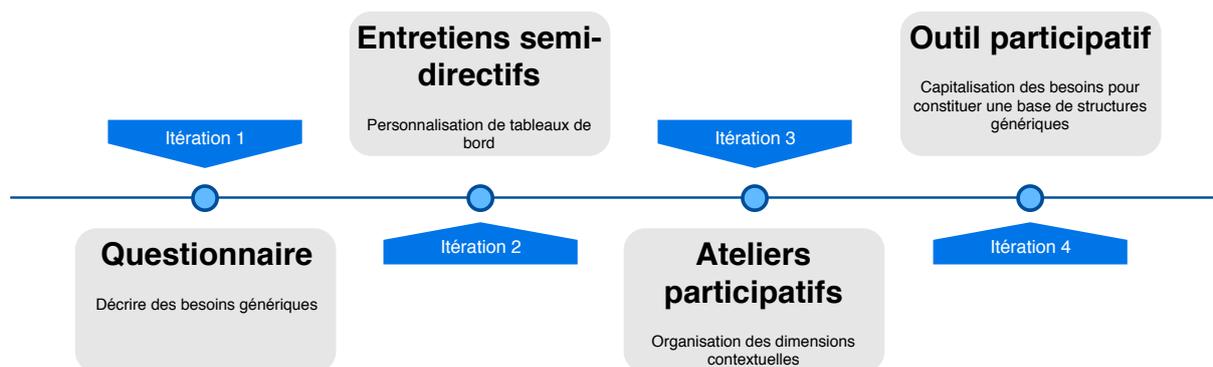


FIGURE 5.2 – Processus de capture des besoins

Durant notre travail, nous avons raffiné notre méthodologie de capture en proposant successivement les quatre outils suivants :

1. un questionnaire : cette première itération a pour but de :
 - 1.1. tester la pertinence des dimensions identifiées dans la première analyse basée sur la méthode QQQQCP ;
 - 1.2. identifier les éléments descriptifs de chaque dimension ;
 - 1.3. Décrire des besoins génériques dans le but de pouvoir catégoriser les besoins des utilisateurs recueillis ;
2. des entretiens semi-directifs individuels et en groupes : les objectifs de cette étape sont de spécifier les contextes utilisateurs et de pouvoir recueillir des descriptions autour de la personnalisation des tableaux de bord d'apprentissage.
3. des ateliers participatifs, de préférence en groupe : ce travail de groupe a pour objectif de faire émerger la structure des tableaux de bord d'apprentissage nécessaires à l'observation. Il est question ici d'organiser et de relier les dimensions de conception.
4. un outil participatif : à l'issue de ces trois itérations, nous avons pu construire un outil de conception permettant à la fois de faciliter l'expression des besoins et de capitaliser ces besoins pour constituer une base d'interfaces servant de référence pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage.

5.2 Première itération : l'enquête par questionnaire

Nous avons mené notre première itération sur la base d'un questionnaire. Cette technique est souvent utilisée pour la collecte d'informations auprès d'un échantillon de personnes. Les informations sont recueillies au moyen de procédures normalisées de sorte que les mêmes questions sont posées à chaque utilisateur de façon plus ou moins identique [Scheuren, 2004]. Principalement, l'utilisation des questionnaires permet de construire une base de connaissances importante. L'intérêt de l'utilisation de questionnaires dans notre travail n'est pas de décrire seulement les utilisateurs individuellement qui, par hasard, font partie de l'échantillon, mais aussi de déduire la catégorie des utilisateurs. Cette catégorisation peut servir à la réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage entre les utilisateurs appartenant à la même catégorie.

L'objectif de cette itération est d'une part de tester la pertinence des dimensions de conception en vue de permettre la génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage et d'autre part d'identifier des critères de catégorisation des contextes utilisateurs dans le but d'assurer une réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage dans des contextes similaires.

5.2.1 Participants

Le projet HUBBLE a été conçu autour d'un nombre conséquent de cas d'étude. Un cas d'étude, au sens du projet HUBBLE, regroupe la description d'un environnement d'apprentissage, d'un ou plusieurs scénarios dans cet environnement ainsi que l'ensemble des personnes qui participent à la (ou les) situation(s) d'apprentissage [Luengo *et al.*, 2019]. Chaque cas d'étude comprend une documentation détaillée qui permet de décrire une séquence d'événements, d'activités et d'utilisateurs impliqués dans sa plateforme. Durant cette première itération, nous avons ciblé des membres du projet HUBBLE impliqués dans plusieurs des 13 cas d'étude. L'implication de ces membres dans les cas d'étude, leur a permis de développer une certaine connaissance autour de l'ensemble des utilisateurs (enseignant, apprenant, etc.). L'intérêt, ici, de l'utilisation d'un questionnaire est de pouvoir collecter rapidement de nombreux retours dans un premier temps.

5.2.2 Organisation des questions

L'utilisation du questionnaire a pour but de nous aider à identifier l'ensemble des éléments descriptifs des dimensions de conception et de pouvoir obtenir une description des besoins génériques des utilisateurs. Nous organisons notre questionnaire en six sections où chacune fait référence à une dimension : "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?".

La dimension "Qui ?" permet d'identifier les besoins génériques et les contextes utilisateurs. L'objectif est de préciser les caractéristiques des utilisateurs : leurs rôles, leurs préférences et leurs niveaux de connaissance. Ainsi, la réponse à cette question permet de décrire leurs contextes : leurs activités d'apprentissage, leurs cas d'étude et leurs scénarios d'analyse. Un scénario d'analyse dans le projet HUBBLE est défini comme la description des analyses qui sont mises en oeuvre sur les plateformes de traitements du projet. Les scénarios d'analyse précisent les objectifs de l'analyse, les données à utiliser, les indicateurs à calculer, etc.

La dimension "Pourquoi ?" concerne l'identification des objectifs des utilisateurs. En d'autres termes, elle sert à identifier pourquoi il est important pour l'utilisateur d'utiliser un tableau de bord d'apprentissage.

La dimension "Quoi ?" est consacrée à la description des indicateurs existants dans le cadre du projet. Chaque membre d'un cas d'étude doit spécifier les indicateurs que les utilisateurs de tableaux de bord d'apprentissage souhaitent visualiser afin d'améliorer leurs situations d'apprentissage.

La dimension "Comment ?" concerne la description de la manière la plus appropriée (c.-à-d. la plus compréhensible par l'utilisateur) de visualiser les indicateurs. Cette dimension met en évidence la notion de préférences utilisateurs en terme de personnalisation de tableau de bord d'apprentissage.

La dimension "Quand ?" décrit le moment idéal souhaité pour visualiser les indicateurs et aussi le moment auquel sera utilisé le tableau de bord d'apprentissage.

La dimension "Où ?" décrit l'aspect physique et le contexte d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage.

Nous détaillons, dans l'annexe A, l'ensemble des questions qui correspondent à chaque dimension.

5.2.3 Synthèse

Grâce aux 13 cas d'étude du projet HUBBLE, nous avons reçu 10 retours d'expérience qui représentent 10 utilisations potentielles différentes des tableaux de bord d'apprentissage. Nous avons pu observer la variété des contextes d'utilisation.

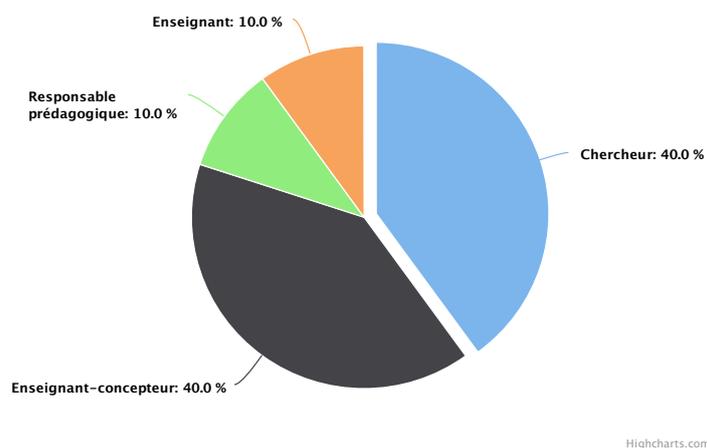


FIGURE 5.3 – Répartition des cas d'étude par rôle

Notre objectif est ici, d'identifier et de catégoriser les besoins des utilisateurs. La catégorisation permet d'assurer la capitalisation sur les différents éléments des tableaux de bord d'apprentissage pour permettre leur réutilisation dans de nouveaux contextes et une sélection de contenu adaptée au moment de la génération. Nous constatons que l'utilisation du tableau de bord d'apprentissage diffère principalement en fonction de l'utilisateur final. Cette différence est due au rôle que l'utilisateur joue dans son organisation, car nous avons constaté que les utilisateurs ayant le même rôle partagent une vision commune du tableau de bord d'apprentissage (cf. fig. 5.3) spécialement concernant l'objectif de visualisation. Quatre des cas d'étude se focalisent sur les besoins des chercheurs, 4 autres cas d'étude s'intéressent aux enseignants-concepteurs, et les deux derniers cas d'étude sont dédiés aux enseignants et aux responsables pédagogiques. En nous basant sur les premiers résultats de notre étude d'évaluation des besoins, nous identifions une variété de points de vue sur ce que doit être un tableau de bord d'apprentissage adapté. Ces principaux résultats sont détaillés ci-dessous :

Le point de vue des chercheurs :

Trois cas d'étude sur quatre considèrent la visualisation des indicateurs comme une activité multi-utilisateurs qui souhaitent partager le même tableau de bord d'apprentissage pour faciliter la collaboration entre eux. Cette collaboration nécessite l'intégration de différents moyens d'interaction tels que des chats, des forums, etc. Ces chercheurs ont exprimé le besoin de visualiser les données afin :

- d'étudier l'évolution et les progrès des apprenants.
- de déterminer la typologie des apprenants en définissant l'ensemble de types pour des apprenants.

Nous avons aussi observé qu'un utilisateur comme le chercheur est capable d'interpréter les indicateurs avec des moyens de visualisation plus complexes. Ils ont exprimé le besoin d'avoir la possibilité de gérer leurs propres tableaux de bord, afin de personnaliser directement : les indicateurs, le choix de moyens de visualisation, le moment de génération, etc.

Le point de vue des enseignants-concepteurs :

Nous constatons que contrairement aux demandes des chercheurs, les enseignants-concepteurs considèrent l'utilisation des tableaux de bord comme une activité mono-utilisateur où le partage d'informations avec d'autres utilisateurs des mêmes catégories n'est pas nécessaire, surtout lorsqu'ils en ont besoin pour :

- évaluer les exercices et les cours proposés.
- déterminer la typologie des apprenants.

Certains utilisateurs ont proposé d'intégrer non seulement des moyens de visualisation classiques, mais aussi des effets sonores comme le fait d'être informé avec des notifications d'alerte afin de détecter des situations inhabituelles. Cela nécessite donc le développement d'un tableau de bord d'apprentissage hybride qui fournit une visualisation en temps réel et des notifications d'alerte pendant la session et propose une vue d'ensemble après la session.

Le point de vue des enseignants et des responsables pédagogiques :

Ces deux catégories d'utilisateurs ont décrit des objectifs et des intérêts similaires tels que :

- identifier les paramètres représentant la popularité des cours.
- déterminer les paramètres indiquant la raison de l'échec et de la réussite de l'apprenant.
- comprendre la situation et interagir avec les élèves.

Par exemple, dans le cas des MOOCs, avec le nombre important d'étudiants inscrits, les analystes ont prêté attention à l'utilisation de la représentation visuelle simple afin de faciliter l'interprétation de cette quantité massive de données, comme l'utilisation de couleurs significatives pour indiquer le succès (couleur verte et rouge).

Nous pouvons donc considérer que leur défi le plus important ici est de réduire le nombre d'étudiants qui échouent. Pour cette raison, il semble nécessaire d'offrir aux enseignants et à l'équipe pédagogique un tableau de bord d'apprentissage hybride. Ce tableau de bord d'apprentissage est destiné à être visualisé à la fois en temps réel et a posteriori. Il permet aux enseignants d'être réactifs et conscients de la situation de leurs élèves, d'être informés des problèmes des élèves et de détecter le risque d'échec de ces derniers le plus tôt possible dans le but de les aider très rapidement. L'une de leurs demandes est de fournir des effets sonores, des alertes et d'avoir aussi la possibilité de partager certains résultats, si nécessaire, avec d'autres utilisateurs (d'autres enseignants ou des responsables pédagogiques).

Cette première itération a permis d'établir différents constats autour de trois aspects : la réutilisation, la modélisation et l'outillage.

Nous présentons dans le tableau 5.1 une synthèse des dimensions de conception en soulignant quatre nouveaux éléments identifiés à l'issue de cette itération .

Dimension	Élément	Besoins recueillis
Qui	Rôle	Chercheurs, Enseignants-concepteurs, Enseignants, responsables pédagogiques.
Pourquoi	Objectif	Suivi des apprenants : Évolution des apprenants, Déterminer les typologies, Identifier les paramètres d'échec Suivi des cours : Évaluer les cours, Identifier les paramètres autour la popularité des cours
Quoi	Type	Temps, apparent, action, résultat, <u>contenu, social</u>
	Niveau d'analyse	X
	Source de données	X
	Activité d'apprentissage	X
	<u>Point d'intérêt</u> <u>Données</u>	Apprenant, <u>Contenu</u> <u>varie selon l'indicateur</u>
Comment	Moyen de visualisation	Au choix
	Structure	X
Quand	Temps d'observation	X
	Temps d'utilisation <u>Partage</u>	Temps réel, a posteriori, <u>hybride</u> <u>Oui, non</u>
Où	Contexte d'apprentissage	En classe, En ligne

TABLE 5.1 – Synthèse des résultats du questionnaire

Tout d'abord, nous avons identifié quatre rôles pour les utilisateurs, nous avons décidé de nous concentrer seulement sur les enseignants-concepteurs, enseignants et responsables pédagogiques. En effet, dans le cadre du projet HUBBLE, nous avons deux types d'acteurs : d'un côté les chercheurs qui ont pour but de répondre à une question de recherche et de l'autre côté les décideurs [Luengo, 2014]. En terme de visualisation, nous nous focalisons sur les décideurs afin de les accompagner dans leur processus de prise de décision liée à l'apprentissage.

Nous avons déterminé aussi une corrélation entre le rôle de l'utilisateur et son objectif. Cette corrélation permet de mettre en place une catégorisation des contextes utilisateurs. L'idée est de pouvoir recueillir des informations permettant une réutilisation des tableaux de bord dans des contextes similaires.

Nous identifions un ensemble de données permettant de raffiner les descriptions servant de base pour nos modèles de tableaux de bord.

Durant cette itération, nous avons validé la pertinence de la liste de dimensions de conception : "Qui?, Pourquoi?, Quoi?, Comment?, Quand? et Où?". Nous avons aussi identifié quatre nouveaux éléments permettant de décrire ces dimensions : le point d'intérêt, les données à visualiser, les moyens d'interaction et le partage. Les utilisateurs ont exprimé différents objectifs en se focalisant sur deux points d'intérêts principaux : les apprenants et le contenu. Un point d'intérêt permet d'indiquer sur quel élément l'utilisateur veut concentrer son analyse. Chaque utilisateur a précisé les données qu'il a besoin de visualiser. Ces données sont différentes d'un utilisateur à un autre. Certains

utilisateurs ont exprimé aussi le besoin d'intégrer des moyens d'interaction, en effet, ils souhaitent rendre le tableau de bord d'apprentissage plus interactif et donc faciliter la collaboration entre les différents utilisateurs en cas de partage. Finalement, nous avons observé une demande de partage des tableaux de bord d'apprentissage entre plusieurs utilisateurs ou catégories d'utilisateurs.

Cependant, nous sommes confrontés à une difficulté liée à l'expression des besoins. Suite à cette première étude, nous avons constaté que les représentants des cas d'étude éprouvent des difficultés à exprimer clairement les besoins des utilisateurs potentiels (autres qu'eux mêmes) de tableaux de bord d'apprentissage à travers un simple questionnement. En effet, les réponses recueillies étaient peu approfondies.

Nous sommes donc incapables de détailler les besoins des utilisateurs potentiels spécialement au niveau de l'organisation des tableaux de bord d'apprentissage et des description des indicateurs.

Par conséquent, nous décidons d'organiser une série d'entretiens semi-directifs avec les utilisateurs potentiels des tableaux de bord d'apprentissage.

5.3 Deuxième itération : l'enquête par entretiens

Nous poursuivons notre travail de capture des besoins avec une deuxième itération. Nous utilisons cette fois l'enquête par entretiens. L'entretien est un outil de capture des besoins qui permet de développer une démarche qualitative et de favoriser l'expression des points de vue et des opinions personnels à l'inverse d'une démarche quantitative. Cet outil est une approche compréhensive permettant la production d'une grande quantité de données narratives [Dorrington *et al.*, 2016]. Ces données représentent les témoignages et les interprétations des besoins utilisateurs tout en prenant en compte leurs propres contextes, leurs préférences, leurs pratiques, leurs activités, sur des événements auxquels ils ont participé ou dont ils ont été les témoins, etc. [Bréchon, 2015].

En effet, l'objectif principal de cette itération est d'identifier les besoins spécifiques des utilisateurs et de raffiner les champs associés aux éléments de chaque dimension de conception.

5.3.1 Objectifs relatifs aux entretiens

Le choix de cet outil est motivé par le besoin d'avoir une expression directe par des utilisateurs. Ceci nous permet de recueillir leurs points de vue subjectifs sur leurs visions autour des tableaux de bord d'apprentissage. L'entretien est une démarche paradoxale qui consiste à provoquer un discours sans énoncer les questions qui président à l'enquête [Blanchet et Gotman, 2010]. Par ailleurs, cela permet aux utilisateurs d'un côté d'exprimer leurs témoignages subjectivement, et d'un autre côté cela nous donne la possibilité de nous adapter directement aux utilisateurs selon leurs réponses et de pouvoir aller plus en profondeur, de prendre en compte les motivations, les raisons qui fondent les opinions exprimées et d'élargir l'enquête par rapport à ce que l'on avait envisagé au départ.

Il existe trois types principaux d'entretiens : l'entretien directif, l'entretien non directif et l'entretien semi-directif.

L'entretien directif constitue un type d'entretien où les questions sont formatées et posées de manière identique aux interviewés. Ces derniers doivent obligatoirement répondre aux questions. En général, l'entretien sert à comprendre un problème déterminé. En revanche, ce type d'entretien permet difficilement d'accéder aux représentations des personnes interviewées (leur vision sur un sujet).

L'entretien non directif constitue un type d'entretien où, à l'inverse, la personne interviewée s'exprime sur la base d'une seule question ouverte recouvrant la problématique [Fenneteau, 2015]. Ce type d'entretien permet de produire une quantité importante de données où l'enquêteur doit alors intervenir le moins possible ce qui rend l'analyse de ces données difficile.

Finalement, l'entretien semi-directif se trouve à mi-chemin entre ces deux techniques. Il n'est ni totalement fermé ni totalement ouvert. Ce type d'entretien permet d'atteindre des niveaux plus profonds d'opinions et d'attitudes, car la technique laisse un maximum de liberté au sujet. Le recours à des questions ouvertes et des relances donne la possibilité à la personne interviewée de développer un discours en profondeur [Vilatte, 2007].

Nous optons pour un entretien de type semi-directif pour recueillir les données auprès des utilisateurs potentiels des tableaux de bord d'apprentissage. Ce type d'entretien va nous permettre de confirmer les résultats d'analyse de notre questionnaire autrement dit, de vérifier la pertinence des critères de catégorisation, d'évaluer les dimensions présentées auparavant dans notre questionnaire et nous aider à faire émerger de nouvelles informations concernant leurs besoins et leurs contextes. L'idée est de pouvoir à la fois accéder aux représentations des utilisateurs et raffiner les éléments descriptifs des dimensions de nos modèles de tableaux de bord d'apprentissage.

5.3.2 Participants

La préparation des entretiens semi-directifs nécessite de choisir la population, de solliciter les entretiens, de négocier les conditions et d'élaborer un guide d'entretien. Nous avons contacté les membres de deux cas d'étude "TactileoMap" et "Stratégie MOOC". Au sein de chacun de ces cas d'étude, les représentants ont le même rôle et utilisent la même plateforme d'apprentissage. Le choix de ces cas d'étude est motivé par notre besoin de vérifier la pertinence des critères de catégorisation issus des résultats d'analyse de notre questionnaire.

Le premier groupe est composé de 8 enseignants-concepteurs. Ils utilisent tous la même plateforme d'apprentissage : TactileoMap [Sanchez *et al.*, 2015]. L'objectif de cette plateforme est de guider les élèves pendant une sortie de terrain éducative en leur fournissant des outils tels qu'un bloc-note, un appareil photo, un enregistreur audio et qui permet de recueillir les traces de leurs utilisations.

Le deuxième groupe est représenté par un seul utilisateur qui a le rôle de directeur de la stratégie de l'Institut Mines-Télécom (IMT). Le choix de notre interviewé est motivé par son rôle stratégique qui le rapproche de la catégorie et de la vision du chef du projet. Il va nous apporter sa vue globale sur des MOOCs utilisés au sein de l'IMT. Ceci nous permettra de collecter les besoins utilisateur dans le contexte des MOOCs selon un niveau d'analyse départemental.

Les entretiens ont commencé par une prise de rendez-vous avec chaque groupe d'utilisateurs. Nous effectuons ces différents entretiens semi-directifs en passant par les techniques de visioconférence dans le but d'éviter tout déplacement des utilisateurs et de réduire le temps de préparation.

Pour parvenir à récolter les données nécessaires, nous procédons à la construction d'un guide d'entretien. Il s'agit d'introduire notre travail et de définir le contexte de l'entretien, son objet, son objectif, sa durée, ainsi que de définir le déroulement et la précision des éléments à traiter, les questions à poser, les éléments sur lesquels nous attendons des précisions et sur lesquels nous relancerons l'interviewé ainsi que la nature des informations attendues.

5.3.3 Organisation des questions

Nous organisons des questions ouvertes pour laisser les interviewés exprimer dans leurs mots les besoins qu'ils ont rencontrés au cours de leur utilisation de la plateforme d'apprentissage. Ces questions ont pour but d'identifier l'objectif de visualisation et d'essayer de comprendre comment répondre à ce dernier. L'idée est d'identifier les données et les indicateurs nécessaires puis de définir des relations entre ces indicateurs. Une autre partie de nos questions est dédiée à l'organisation structurelle des données et des indicateurs d'où la nécessité de préciser s'il y a un ordre d'importance et de savoir comment assurer l'interaction avec le tableau de bord d'apprentissage.

Déroulement de l'entretien avec le premier groupe : cas TactileoMap

Nous abordons l'ensemble des questions relatives à la visualisation des situations d'apprentissage. Chaque enseignant concepteur a fait émerger le contexte d'utilisation d'un tableau de bord d'apprentissage de manière précise.

Les objectifs de visualisation exprimés par les enseignants concepteurs se sont concentrés sur des objectifs d'évaluation de la progression des élèves. La clarification de ces objectifs a permis d'établir une liste d'indicateurs sur différents aspects de l'évaluation des élèves en incluant l'analyse de leurs comportements afin de réussir à identifier les typologies de groupes d'élèves. Les échanges ont par ailleurs mis en évidence d'autres besoins dérivés qui pourront faire l'objet d'autres tableaux de bord d'apprentissage comme la re-conception des ressources/des scénarios.

Déroulement de l'entretien avec le deuxième groupe : cas "Stratégie MOOC"

Pour ce deuxième cas, l'interviewé a témoigné de l'existence de trois catégories d'utilisateurs à l'IMT distingués par leurs rôles : (1) les directeurs de stratégies, des équipes, etc. (2) les responsables des MOOCs, coordinateurs, techniciens, etc., (3) les enseignants, les formateurs, etc.

L'interviewé a défini les caractéristiques des tableaux de bord d'apprentissage utiles pour chaque catégorie d'utilisateurs. Pour chaque tableau de bord d'apprentissage, il a précisé l'objectif global du tableau de bord d'apprentissage ainsi que la liste des indicateurs et des données à visualiser.

Cet échange nous a permis de récolter des réponses sur l'ensemble des dimensions de conception proposées auparavant dans notre questionnaire et nous a aidés à faire émerger un nouvel élément qui est la décision.

5.3.4 Discussion

L'analyse des résultats des entretiens nous permet de préciser un ensemble d'objectifs des tableaux de bord d'apprentissage et de faire ressortir l'aspect décisionnel pour la conception des tableaux de bord d'apprentissage. Cependant, bien que ce type d'outil utilisé a permis aux interviewés de décrire leurs activités d'apprentissage, nous constatons qu'ils éprouvent des difficultés à exprimer clairement leurs besoins en terme de visualisation avec un simple questionnement.

Certains interviewés ont rencontré une véritable difficulté à se projeter dans l'usage des tableaux de bord d'apprentissage (la définition des indicateurs) ou à imaginer les possibles (quand nous interrogeons les enseignants qui souvent ont peu de pratique concernant l'exploitation de données numériques). Certains utilisateurs n'ont pas pu fournir une partie des informations dédiées à l'organisation structurelle telle que l'identification des relations

entre les données à visualiser ou la définition des éléments autour de l'exploitation de ces derniers (quand il sera utile de les utiliser). De plus, les entretiens ont tendance à être individuels. Ceci ne nous permet d'obtenir le point de vue que d'une seule personne. Afin de surmonter ces difficultés, il peut être très révélateur de réunir un groupe d'utilisateurs pour discuter des enjeux et des besoins en terme de visualisation. Pour le recueil de données, les groupes de discussion et les ateliers sont de bons moyens pour obtenir un point de vue consensuel et/ou la mise en évidence des domaines de conflit et de désaccord [Carey et Asbury, 2016]. Sur le plan social, cette méthode de capture permet également aux utilisateurs de rencontrer les concepteurs et d'exprimer leurs points de vue en public. Par conséquent, nous avons organisé des ateliers participatifs, basés sur les éléments du questionnaire précédemment établi. Ces ateliers servent à évaluer les besoins capturés et à raffiner les éléments descriptifs des dimensions de conception à présenter dans nos modèles.

5.4 Troisième itération : les ateliers participatifs

Nous menons un complément d'étude auprès des groupes d'utilisateurs interviewés auparavant. L'idée est d'organiser un atelier avec un groupe d'utilisateurs potentiels de tableaux de bord d'apprentissage. Parmi les groupes que nous avons sollicités, le premier groupe qui travaille sur TactileoMap a répondu à notre demande et a pu se rendre disponible pour nous rencontrer.

Nous organisons des ateliers dans le but de concevoir et d'évaluer avec les utilisateurs potentiels des exemples de tableaux de bord d'apprentissage. L'idée est d'accompagner les utilisateurs pour mieux s'immerger dans un cas d'utilisation précis de tableau de bord d'apprentissage et de les aider à bien décrire leurs activités d'apprentissage, de confirmer la compréhension de leurs besoins d'observation et de fournir également divers exemples de structures de tableaux de bord d'apprentissage.

Les ateliers sont un moyen important de faire participer les futurs utilisateurs dès l'étape de conception. Nous sommes intéressés par ce type de démarche non seulement pour évaluer les idées, mais aussi pour générer de nouvelles idées [Mackay et Fayard, 1997].

5.4.1 Déroulement des ateliers

L'atelier a été proposé de manière ouverte, sans outillage autre que du papier et des tableaux blancs afin de réaliser des croquis. Il a été suivi d'une étape de réalisation de wireframes et du développement d'une maquette. Finalement, nous avons aussi organisé des groupes de discussion.

Activité de réalisation de croquis

L'activité de réalisation de croquis permet aux utilisateurs de dessiner librement leurs visions d'un tableau de bord d'apprentissage. Cette activité permet d'aider les utilisateurs à produire rapidement et avec souplesse des représentations visuelles transitoires pour trouver des fonctionnalités qui permettent de combiner les données, les interactions et les fonctionnalités [Lloyd et Dykes, 2011].

Notre motivation était de mieux comprendre les besoins utilisateurs, et de faciliter davantage l'étape de conception des tableaux de bord d'apprentissage. Avec un simple dessin, les enseignants peuvent exprimer leurs idées, changer les détails, visualiser ce qu'ils imaginent, partager et discuter avec les autres.

Cette activité nous a aidés à rassembler un ensemble d'éléments décrivant les dimensions de conception. Nous présentons des échantillons de croquis d'enseignants dans la figure 5.4, où ils ont commencé par identifier leur objectif principal qui était le suivi. L'étude de l'état de l'art (cf. chapitre 4) a démontré que la majorité des tableaux de bord existants était dédiée au suivi des performances : l'auto-suivi, le suivi de l'autre ou le suivi administratif. Même si le groupe d'enseignants partage le même objectif, ils ont cherché à le classer selon différents niveaux d'analyse : individuel, classe et département. Au cours de l'atelier, les enseignants ont décidé de se focaliser sur un seul tableau de bord d'apprentissage concernant le suivi des élèves selon le niveau de la classe.

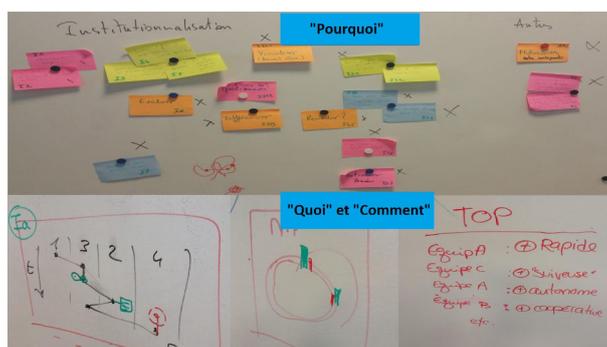


FIGURE 5.4 – Résultats de l'activité de réalisation de croquis

Activité de réalisation des wireframes

L'étape de créativité sur les croquis a été suivie d'une activité portant sur la réalisation de wireframes.

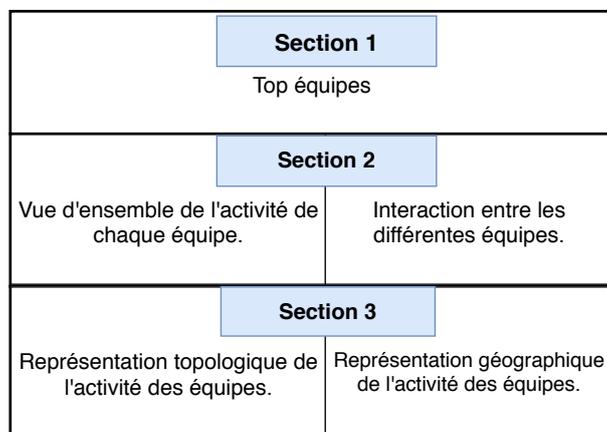


FIGURE 5.5 – Résultats de l'activité de réalisation des wireframes

Un wireframe est un guide visuel qui représente une structure abstraite du tableau de bord d'apprentissage. Le wireframe vise à représenter la mise en page et la disposition du contenu, y compris les éléments d'interface, les systèmes de navigation et la façon dont ils fonctionnent ensemble. La figure 5.5 représente l'organisation proposée par le groupe d'enseignants. Ils ont regroupé l'ensemble des contenus exprimés en trois sections. Cette activité de wireframe nous a montré l'importance d'identifier i) des relations et de regrouper les indicateurs entre eux sous forme de sections, ii) l'emplacement de chaque indicateur en spécifiant un ordre d'importance de visualisation.

Groupes de discussion

Nous avons effectué une séance d'évaluation avec ces participants fondée sur la méthode des groupes de discussion. Un groupe de discussion permet une étude qualitative qui a lieu au sein d'un groupe identifié, afin de déterminer la réponse et l'attitude du groupe envers un produit, un service, un concept ou des brochures [Carey et Asbury, 2016]. Cette étude est prévue pour capitaliser sur l'interaction entre les membres du groupe afin d'améliorer la collection de besoins.

Durant cette activité, nous avons réparti les enseignants en deux groupes (G1 et G2). Cette répartition était basée sur leurs profils. En effet, chaque groupe d'enseignants a une cible spécifique d'apprenants (école, lycée). Durant cette activité, nous avons conçu et développé pour les deux groupes le même tableau de bord d'apprentissage sur mesure et prédéfini. Nous avons proposé ce tableau de bord d'apprentissage pour aider les enseignants dans le suivi des performances des apprenants (cf. fig. 5.6). Le choix du contenu et son organisation respectent des besoins exprimés par les enseignants (cf. fig. 5.5). Chaque groupe doit évaluer le contenu et la structure du tableau de bord d'apprentissage. Notamment, ils doivent d'abord évaluer l'utilité de l'indicateur d'apprentissage par rapport à leur objectif. Ensuite, ils évaluent si la présentation du tableau de bord d'apprentissage est facile à interpréter.



FIGURE 5.6 – Résultats de l'activité de réalisation des maquettes

Même si ce tableau de bord d'apprentissage était conforme aux demandes des enseignants, nous avons constaté que le résultat n'était pas adéquat. Nous avons remarqué qu'il a été évalué en fonction de sa capacité à aider les enseignants à prendre des décisions et non en fonction de leur seul objectif. Autrement dit, même si les enseignants partageaient le même objectif, ils ne partageaient pas la même décision à prendre. En pratique, G1 vise à décider quels apprenants ou groupes d'apprenants ont besoin d'une attention particulière afin d'anticiper les problèmes. Alors que, G2 vise à planifier leurs prochaines activités d'apprentissage.

5.4.2 Discussion

La méthode utilisée a facilité la capture des besoins grâce à la participation des enseignants. En revanche, l'atelier a pris beaucoup de temps. La capture de besoins grâce au contact direct avec les utilisateurs potentiels nous permet d'observer et d'intervenir directement auprès de ces derniers dans le but d'enrichir nos modèles conceptuels. Les participants ont eu tendance à plonger immédiatement dans la conception détaillée et le déroulement des activités d'apprentissage, puis à expliquer leurs contextes. Les avis des participants nous permettent d'avoir une première rétroaction sur la visualisation d'un tableau de bord d'apprentissage. Durant les deux premières activités, nous avons identifié plusieurs points liés à la conception des tableaux de bord d'apprentissage.

Tout d'abord, chaque tableau de bord d'apprentissage est conçu pour répondre à un objectif de visualisation. Nous confirmons la corrélation entre le rôle de l'utilisateur et l'objectif de visualisation. Par exemple, les enseignants sont plus intéressés par le suivi de leurs élèves.

Deuxièmement, la représentation des indicateurs est liée à différents niveaux d'analyse [Siemens *et al.*, 2011]. Les enseignants ont organisé leurs indicateurs en fonction des trois niveaux d'analyse : département, classe et individuel.

Troisièmement, un tableau de bord d'apprentissage affiche de nombreux indicateurs. Ces indicateurs peuvent être visualisés par une simple représentation textuelle ou par l'utilisation de moyens de visualisation sophistiqués.

Sur la base de notre première analyse, nous pouvons conclure que la conception d'un tableau de bord d'apprentissage nécessite d'identifier le contexte utilisateur, de représenter les indicateurs avec un niveau d'analyse spécifique et de choisir les moyens de visualisation adéquats. Pour cette raison, nous avons généré un premier tableau de bord d'apprentissage afin d'évaluer les résultats de notre étude. À l'issue du groupe de discussion, les avis des enseignants ont démontré l'efficacité du tableau de bord d'apprentissage en ce qui concerne la vue générale de leur situation d'apprentissage. En revanche, le tableau de bord d'apprentissage n'a pas incité les enseignants à prendre une décision particulière. Nous en déduisons donc que la conception d'un tableau de bord d'apprentissage adapté n'est pas seulement guidée par les objectifs de visualisation, mais aussi par la décision à prendre. Nous pouvons conclure aussi que les besoins des enseignants ont varié selon leurs points d'intérêt (ici les apprenants ou l'activité), le niveau d'analyse (individu ou groupe) et le temps ou l'horizon de la prise de décision (à court ou à long terme). En effet, ces éléments nous renvoient vers le domaine de l'informatique décisionnelle pour lequel l'horizon et le niveau de détail des données déterminent le choix du type de tableau de bord (opérationnel, tactique, stratégique). Cette itération confirme donc la nécessité de nous intéresser aux principes de l'informatique décisionnelle.

Lors de cet atelier, la diversité des besoins, des contextes d'utilisation et des préférences a amené à une diversité de propositions difficiles à structurer. Pour aller plus loin, un outillage adapté s'est donc avéré nécessaire.

Nous avons alors proposé un outil pour l'aide à la conception des tableaux de bord d'apprentissage. L'objectif de cet outil est de permettre aux utilisateurs de détailler et de confirmer leurs besoins identifiés au préalable et de faciliter l'identification d'une structure générique et adaptée.

5.5 Quatrième itération : support à la conception participative de tableaux de bord d'apprentissage

À l'aide des expériences participatives, les utilisateurs peuvent s'exprimer et participer directement et proactivement au processus d'élaboration de la conception. Dans ce contexte, une approche participative permet une coadaptation des outils à concevoir où la conception et l'utilisation de ces derniers sont liées [Mackay et Fayard, 1997].

La conception participative est un moyen d'obtenir une meilleure expression des besoins en affinant les analyses fonctionnelles et en précisant les demandes du point de vue de l'usage qui sera fait du futur artefact. Elle permet également aux participants de s'approprier les outils proposés dès la phase de conception [Bourmaud, 2006], [Knibbe, 2016a].

5.5.1 Motivations

La première motivation de la mise en œuvre d'une approche participative est liée au fait que la participation des utilisateurs contribue au développement du tableau de bord d'apprentissage. Ce qui va impliquer une satisfaction et donc un engagement plus important des utilisateurs par rapport au travail à fournir. La deuxième motivation concerne l'objectif de conception, et notamment l'objectif d'amélioration de la performance des modèles et de l'outil de génération de tableaux de bord d'apprentissage à proposer.

Pour être effective, une méthode de conception participative nécessite d'être instrumentée [Sanders *et al.*, 2010]. Nous retenons donc une série de techniques permettant d'améliorer le processus de capture des besoins des utilisateurs de tableaux de bord d'apprentissage. Parmi les techniques qui ont été développées pour la conception participative, nous avons par exemple l'utilisation de maquettes ou les techniques de prototypage sur papier. Ces techniques sont basées sur l'utilisation des cartes et des plateaux pour explorer les options de flux de travail. L'utilisation de cartes permet de renforcer la collaboration et de faciliter l'exploration de la combinatoire entre les besoins de décision chez les utilisateurs et les nombreuses propositions d'indicateurs et d'affichage disponibles dans le cadre d'ateliers de conception [Lucero *et al.*, 2016]. Cette caractéristique nous permet de répondre à deux difficultés identifiées. La première difficulté est que les utilisateurs sont peu habitués à utiliser des tableaux de bord, ils ont donc des difficultés à exprimer leurs besoins de visualisation. La deuxième est que les utilisateurs manquent de culture sur les opportunités existantes, soit directement dans certains outils, soit au travers des indicateurs proposés par la recherche. Dit autrement, il est difficile de relier la demande des utilisateurs à l'offre de la recherche. Nous considérons qu'une première étape est de partir des pratiques actuelles et donc de permettre aux utilisateurs de s'exprimer.

L'utilisation d'un plateau permettant d'explorer et de partager les options retenues lors de la conception [Osterwalder et Pigneur, 2010; Hallifax *et al.*, 2018] cela nous permet de répondre à notre besoin d'expression du contexte et à sa capitalisation. En nous inspirant des travaux de Shaw [2012], nous développons un outil de conception de tableaux de bord d'apprentissage participatif.

Cette méthode est axée sur le déroulement de la tâche de l'utilisateur. Elle permet d'organiser les questions durant le déroulement de l'atelier. En effet, cette méthode permet de présenter les questions autour des traits génériques de tableaux de bord d'apprentissage au début de l'atelier et de reporter les questions de conception détaillées jusqu'à la fin de l'atelier.

5.5.2 Espace de conception de tableau de bord d'apprentissage

Avec leur outil de support à la conception, Hallifax *et al.* [2018] proposent d'utiliser la notion d'espace de conception [Shaw, 2012] pour identifier les différentes alternatives et les décisions structurantes de la conception d'un jeu sérieux. Dans cette section, nous présentons l'explicitation de l'espace de conception d'un tableau de bord d'apprentissage. Cette explicitation sert à la fois de support à la capitalisation de l'expression des besoins, et de cadre pour définir les outils supports à la capture de ces besoins. La deuxième partie de cette section est consacrée à la traduction de ce cadre en un outillage adapté.

5.5.3 Principe

La conception des tableaux de bord d'apprentissage repose sur la nécessité de comprendre les besoins des utilisateurs et de fournir un ensemble de données utiles et une représentation graphique adéquate de ces données afin de faciliter leur compréhension. Par ailleurs, nous proposons aux futurs utilisateurs un outil pour l'aide à la conception. Cet outil est basé sur la méthode de prototypage sur papier qui repose sur l'utilisation des éléments du jeu sans altérer le contenu de l'activité [Hallifax *et al.*, 2018]. L'intérêt principal de l'outil est de mettre en évidence la ou les décisions à prendre et d'étudier l'ensemble des actions des utilisateurs ainsi que l'organisation des données qu'il serait adapté de représenter dans le tableau de bord d'apprentissage afin d'aider cette prise de décision [Shaw, 2012].

L'outil d'aide à la décision est conçu autour de l'ensemble des dimensions de conception identifiées auparavant "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?".

La dimension "Qui ?" :

Cette dimension décrit le ou les rôles de l'utilisateur final des tableaux de bord d'apprentissage (Enseignant, Apprenant, Tuteur, etc.). À l'issue de nos dernières études, nous constatons qu'un utilisateur peut demander plusieurs tableaux de bord d'apprentissage différents en fonction du rôle qu'il est en train de jouer dans le contexte d'apprentissage. Cette dimension décrit à la fois l'identité de l'utilisateur final du tableau de bord d'apprentissage et l'utilisateur qui va participer à la phase de conception.

La dimension "Pourquoi ?" :

Il est question ici d'expliciter l'intérêt du tableau de bord d'apprentissage, de comprendre l'objectif de sa conception. Comme nous l'avons constaté durant la troisième itération, nous choisissons finalement de nous focaliser sur la décision plutôt que sur le besoin d'observation. Suite aux échanges recueillis durant les entrevues, il semble plus simple pour les utilisateurs d'indiquer ce qu'ils vont faire du tableau de bord d'apprentissage plutôt que d'exprimer directement ce qu'ils veulent voir dans ce dernier. Dans notre espace de conception, nous demandons aux participants de choisir une catégorie de décision parmi celles que nous proposons ou de définir une nouvelle catégorie. Ce choix est central pour toute la conception du tableau de bord d'apprentissage. Nous envisageons six catégories de décision liées au domaine de la pédagogie :

- adaptation : l'adaptation consiste à modifier sa séquence pédagogique ou un enseignement complet par rapport à un constat (factuel, suite à une évaluation, une observation).
- évaluation : l'évaluation consiste à exploiter les traces et la session d'apprentissage afin d'attribuer une note, de valider des compétences ou de faire un bilan.
- évolution : l'évolution concerne des modifications apportées à une séquence ou un enseignement dans le cadre d'un réinvestissement pour la session suivante.

- planification : l'observation est utilisée ici afin de réorganiser les activités de la situation d'apprentissage courante.
- remédiation : c'est une étape qui vient directement après une évaluation formative et qui a pour but d'aider un apprenant à combler ses lacunes. Souvent la remédiation est instanciée par du soutien, de l'aide personnalisée en complément de l'enseignement.
- suivi : il s'agit ici d'observer des acteurs pendant leur session d'apprentissage sans intervention. L'idée est ensuite de faire une synthèse et/ou un retour aux acteurs.

La dimension "Quoi?" :

Cette dimension concerne la description des données que l'utilisateur indique comme pertinentes et nécessaires à sa prise de décision. Il s'agit donc des données qui devront être présentes sur le tableau de bord d'apprentissage généré. Cette dimension permet de préciser le contexte de la prise de décision, et sur quoi elle porte exactement. Elle comporte cinq éléments qui permettent de qualifier sur quoi se focalise l'observation : le niveau d'analyse, le point d'intérêt, les données nécessaires, leur mode de collecte et les outils dont elles sont issues :

- le niveau ou périmètre d'analyse : la prise de décision peut concerner un élève, la classe entière, ou se situer au niveau de l'école, du département (au sens géographique), de l'académie, ou à un niveau intermédiaire.
- le point d'intérêt permet de qualifier sur quoi se focalisent les observations : les personnes, leur activité, leurs résultats, le contexte, le contenu, les échanges.
- les données : les participants explicitent les données dont les utilisateurs ont besoin pour pouvoir prendre leur décision. Chaque tableau de bord d'apprentissage défini étant lié à une situation différente, la description des données est laissée libre aux participants. Ces données s'expriment sous forme d'indicateurs, c.-à-d. des données issues de traitements éventuellement complexes.
- collecte de données : suivant le temps de la prise de décision et la capacité des outils, la collecte des données doit/peut se faire de manière synchrone pour une mise à disposition immédiate, ou au contraire de manière asynchrone, c.-à-d. que les données sont disponibles après le déroulement de l'apprentissage. Cet élément est identifié comme une source de contradiction entre le besoin exprimé et les possibilités techniques, il est donc important de le faire apparaître. La résolution de la contradiction peut ainsi être traitée au plus tôt.
- outils observés : il s'agit de préciser quels sont les outils utilisés au sens matériel (tablette, smartphone, caméra, ...) ou logiciel (Environnement Numérique de Travail, plate-forme de MOOC, réseau social, ...) pendant l'apprentissage. Typiquement ces outils imposent des contraintes sur la collecte des données.

La dimension "Comment?" :

Le "Comment" correspond à la partie plus visuelle de l'espace de conception, nous sollicitons ici les participants sur deux points de vue. Tout d'abord, il est important qu'ils précisent le mode de représentation graphique le plus adéquat pour représenter les données, ils peuvent choisir parmi une liste prédéfinie de représentations ou dessiner leur vision personnelle de la représentation graphique la plus adaptée. Dans un deuxième temps, ils sont amenés à imaginer l'organisation spatiale du tableau de bord d'apprentissage en fonction du support utilisé (tablette, smartphone, ordinateur).

La dimension "Quand ?" : Cette dimension proposée dans l’outil est liée à l’aspect temporel. Elle est présente à différents niveaux de l’outil.

- l’horizon permet de préciser à quel terme se situe l’action de décision par rapport aux observations : court, moyen ou long terme. Cette information nous permet de catégoriser les tableaux de bord d’apprentissage selon les niveaux stratégiques, tactiques ou opérationnels de [Rahman *et al.*, 2017].
- l’utilisation : un tableau de bord d’apprentissage peut être nécessaire en temps réel par rapport à la situation d’apprentissage ou a posteriori, cela dépend de la décision.
- le temps de l’observation : cette information décrit la période sur laquelle se situe l’observation, est-ce une session, un semestre, une séance, une séquence, etc. Cela permet d’identifier le type et le niveau de tableau de bord d’apprentissage et permet de filtrer les données des indicateurs.
- le partage : le tableau de bord d’apprentissage pourra être soit exploité de manière personnelle par un utilisateur, soit au contraire partagé entre différents utilisateurs, par exemple entre un enseignant et ses élèves.

La dimension "Où ?" :

La dernière dimension permet de définir le contexte d’apprentissage de l’utilisateur. L’observation et la décision peuvent avoir lieu dans une classe, en ligne, ou à l’extérieur d’une salle de classe. L’apprentissage peut également être mixte, en combinant différents contextes : utilisation d’outils en ligne dans un enseignement en présentiel, exploration à l’extérieur de la classe et exploitation en classe Les participants peuvent également préciser comment est organisé cet apprentissage (individuel, en groupe, etc.).

5.5.4 Préparation et matériel

Nous représentons l’ensemble des dimensions définies lors de la première itération de la capture des besoins, sous la forme de cartes et de deux types de plateaux. La figure 5.7 présente un espace de conception de tableaux de bord d’apprentissage. Nous définissons trois types de cartes : décision, données et visualisation.

Les cartes de décision représentent un point central du point de vue des utilisateurs. Elles se composent de six cartes qui représentent chacune la catégorie de décision présentée auparavant (cf. sous-section 5.5.3), en offrant la possibilité à l’utilisateur d’intégrer et de développer de nouvelles cartes qui lui paraissent utiles. À travers ces cartes de décision, nous pouvons collecter des précisions sur la ou les décisions choisies. Pourquoi ils ont besoin de prendre cette décision ? Quelles actions comptent-ils mettre en oeuvre ? Comment la décision s’intègre dans leur pédagogie ? Ce sont les cartes en bleu visibles en haut à gauche sur l’espace de conception de la figure 5.7.

Sur le plateau, nous retrouvons l’emplacement de la carte de décision en haut à gauche afin que les participants qui collaborent sur le plateau conservent une vue en permanence sur cet objectif. Cette position a été choisie pour mettre en évidence le caractère pivot de cette dimension. Ensuite, le plateau est composé de différentes zones permettant de spécifier le contexte général du tableau de bord d’apprentissage. Un emplacement est prévu pour spécifier le(s) utilisateur(s) cible(s) du tableau de bord d’apprentissage. Pour chacune des zones, les participants ont la possibilité d’apporter des précisions pour justifier leurs choix. Les listes présentes sur le plateau ne sont pas figées, les participants peuvent proposer de nouvelles valeurs.

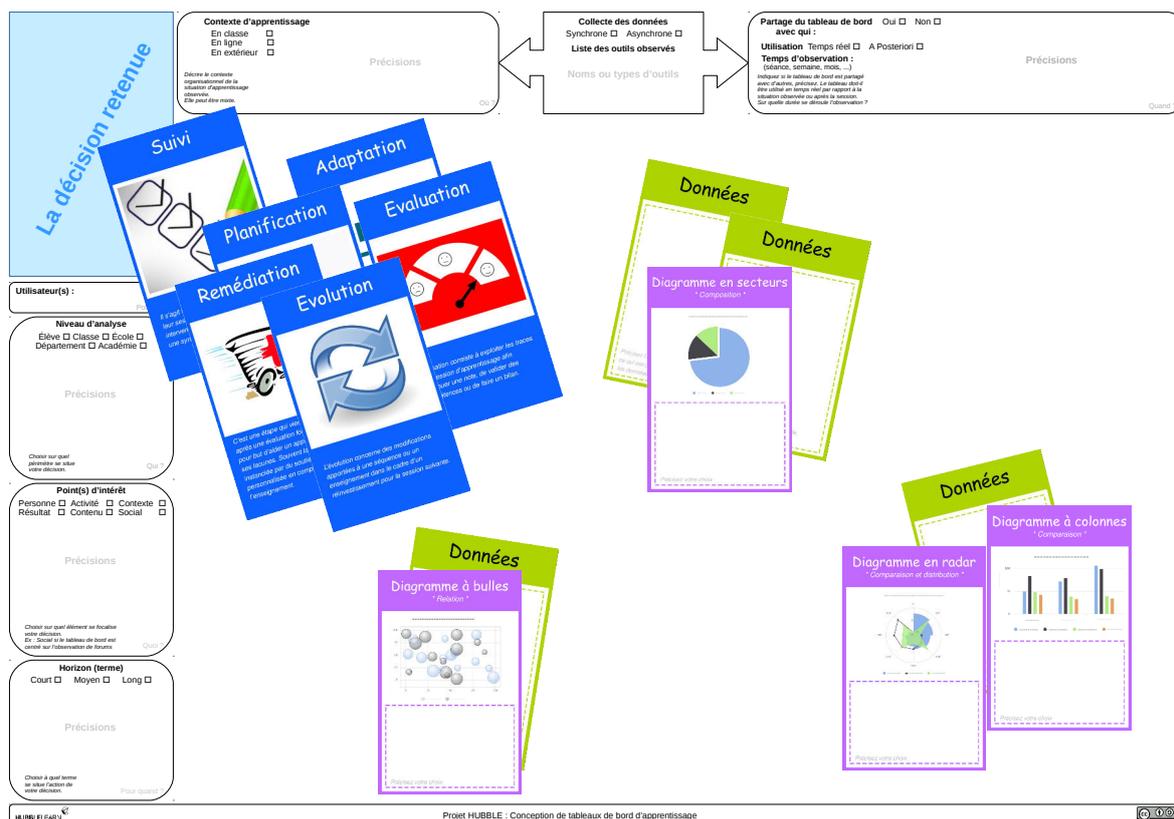


FIGURE 5.7 – Espace de conception de tableaux de bord d'apprentissage

Ce premier plateau a pour objectif de spécifier (cf. fig. 5.7) en quoi consiste le tableau de bord d'apprentissage, son utilité et son contenu. C'est pour cette raison que nous avons laissé une place importante sur le plateau permettant de concevoir son contenu. Les participants utilisent alors deux types de cartes, les cartes de données et les cartes de visualisation.

Les cartes de données permettent d'exprimer le besoin des utilisateurs en termes de données à visualiser. Il s'agit de cartes vierges dans lesquelles il est nécessaire de décrire les données que les utilisateurs souhaitent visualiser pour prendre leur décision et fournir des explications évaluant l'importance de ces données. Par exemple, "Je souhaite visualiser l'engagement des apprenants dans le forum, pour cela il me faut le nombre de messages postés et lus par apprenant et par séance."

Finalement, les cartes de visualisation permettent aux utilisateurs d'imaginer la représentation finale des données dans le tableau de bord d'apprentissage. Nous plaçons un ensemble de cartes de visualisation représentant chacune un exemple d'un type de visualisation possible. Les utilisateurs ont la possibilité d'en choisir une ou plusieurs à affecter à chaque mesure. Ils doivent indiquer le titre de leur graphique, l'emplacement des données à représenter (par exemple, les apprenants en abscisse et le nombre de messages en ordonnée). Nous laissons la possibilité de créer de nouvelles cartes de visualisation en proposant leurs idées.

Les deux types de cartes associées sont également visibles sur la figure 5.7, en vert pour les cartes de données et en violet pour les cartes de visualisation.

Dans un deuxième temps, nous proposons aux utilisateurs de réfléchir à la mise en forme de leur tableau de bord d'apprentissage. Pour cela, nous disposons de plusieurs plateaux représentant différents équipements (navigateur web, smartphone, tablette). Les utilisateurs doivent alors placer les cartes de visualisation de la première

itération aux emplacements qu'ils jugent les plus adéquats. Ils peuvent aussi ajouter des artefacts décrivant des fonctionnalités et des moyens d'interaction du tableau de bord d'apprentissage (bouton, rafraîchissement, titre, barre de défilement, menu, fonctions : filtre, zoom, masquer, imprimer, sauvegarder en image, etc.).

5.5.5 Ateliers de test de l'outil de conception participative

Cet outil de conception participative a été testé dans deux contextes différents. Un premier atelier de test a été mis en place auprès d'enseignants en DUT informatique, et un atelier de présentation et de test a été proposé lors de journées de rencontres nationales entre chercheurs et personnels d'encadrement de l'éducation nationale. Lors de chacun de ces tests, le déroulement de l'atelier a été observé et filmé, avec accord des participants. Un questionnaire de satisfaction a également permis de recueillir l'avis des participants.

Atelier avec des informaticiens

Ce premier test en contexte éducatif s'est effectué auprès de deux groupes test de 4 et 2 enseignants en DUT Informatique. Le premier groupe (G1) est constitué d'un enseignant responsable de la situation pédagogique à observer et de 3 collègues souhaitant collaborer sur la conception de son tableau de bord d'apprentissage. Le second groupe (G2) a un profil différent car il s'agit de 2 enseignants concernés par la même situation d'apprentissage avec les mêmes étudiants.

Les deux groupes confirment que les supports proposés sont agréables d'utilisation, encouragent et dynamisent l'échange. Les deux groupes ont eu des déroulements très différents avec des débats nourris, ce qui confirme la qualité de support à la créativité. Le choix de mettre en avant l'objectif de décision du tableau de bord d'apprentissage comme élément pivot de la conception s'avère efficace en permettant aux participants de se focaliser sur un besoin explicite.

Atelier de présentation auprès d'inspecteurs de l'éducation nationale

Cet atelier a permis de constituer 2 groupes respectivement de 4 et 3 participants. Dans les deux groupes, une excellente dynamique d'échanges s'est mise en place, et les participants ont pu tester et confronter de nombreuses options sur les différentes dimensions de l'espace de conception. Par rapport à l'atelier précédent, nous avons constaté deux autres modes de déroulement, ce qui semble confirmer que l'outil proposé ne bride pas le déroulement des échanges. Les deux groupes proposent effectivement des tableaux de bord d'apprentissage correspondant à un besoin identifié dans un temps limité.

Premiers dépouillements

Les premiers retours issus d'un atelier test sont encourageants, et démontrent que cette forme d'atelier facilite effectivement la coopération et l'approfondissement de l'exploration d'alternatives. Le nombre de participants ne permet pas de dépouillement statistique de notre questionnaire. Celui-ci propose sept questions demandant un niveau d'accord sur une échelle de Lickert comportant 5 niveaux. Deux questions portent sur la prise en main de l'outil (plateaux et cartes), trois questions sur la qualité de la solution trouvée (précision, originalité, pertinence) et deux sur le travail de groupe (dynamique, convergence). Deux questions ouvertes permettent au participant d'exprimer son opinion.

Globalement, le niveau de satisfaction nous paraît élevé (aucune réponse en dessous de 3), avec une majorité de réponses au niveau 4 ou 5. Parmi celles-ci la question "Les

plateaux et les cartes ont aidé à une bonne dynamique de groupe" recueille le meilleur résultat avec un taux de réponse au niveau 5 de plus de 75 %.

5.5.6 Déroulement de l'atelier dans le cadre du projet TactileoMap

Nous avons organisé un deuxième atelier participatif avec les enseignants utilisant TactileoMap afin de tester l'outil de conception et de donner aux utilisateurs la possibilité d'exprimer leurs besoins différemment.

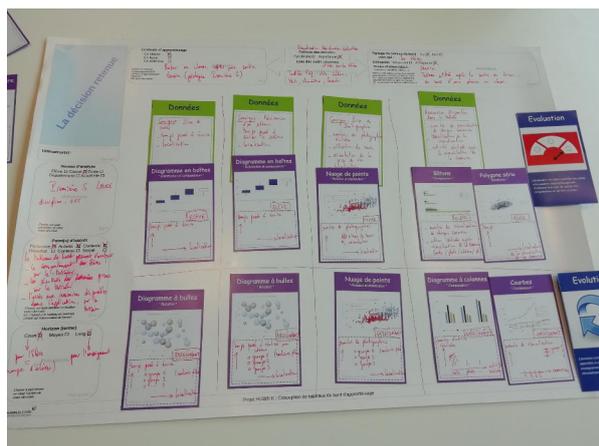
Nous avons commencé l'atelier par l'introduction de l'outil de conception, son principe, son intérêt et le matériel proposé (les plateaux et les cartes) à l'ensemble des participants. Pendant l'atelier, les cartes à jouer sont manipulées par les participants afin de montrer leurs demandes en terme de tableau de bord d'apprentissage. Les cartes peuvent être utilisées pour représenter les objectifs ou les intentions des utilisateurs. Lors de l'étape de la caractérisation du tableau de bord d'apprentissage, nous avons demandé aux participants de spécifier leurs besoins de visualisation en répondant à l'ensemble des questions présentées sur le plateau. Cette étape nécessite que les participants s'immergent dans leur contexte d'apprentissage et de choisir une ou des cartes décision à représenter durant l'atelier. Afin de détailler leurs besoins et d'identifier les éléments-clés pour la conception des tableaux de bord d'apprentissage, les participants peuvent définir l'ensemble des cartes de données dont ils souhaitent disposer et les associer à des cartes de visualisation. La définition des cartes de données permet d'exprimer les besoins des participants au niveau des données. Ainsi, l'intérêt des cartes visualisation permet d'identifier les préférences des utilisateurs en ce qui concerne les moyens de visualisation. Avoir des cartes permet aux participants d'associer plusieurs mesures à une visualisation ou plusieurs moyens de visualisation pour pouvoir mettre en évidence l'aspect interactif dans le tableau de bord d'apprentissage. Les choix des cartes peuvent être justifiés par les participants. Les explications fournies par les participants vont être étudiées afin de pouvoir extraire des informations autour de la réalisation dynamique des tableaux de bord d'apprentissage.

Après l'identification de l'ensemble des éléments clés liés aux tableaux de bord d'apprentissage, les participants ont eu la possibilité d'organiser ces ensembles d'éléments identifiés en utilisant les plateaux représentant l'équipement de leur choix, lors d'une étape du prototypage du tableau de bord d'apprentissage. Cette étape ne limite pas les participants à la mise en forme du tableau de bord d'apprentissage, mais elle inclut aussi la spécification des moyens d'interactions qu'ils préfèrent intégrer. L'idée est d'aider les participants à imaginer leurs futurs tableaux de bord d'apprentissage. Finalement, les participants ont pris le temps pour présenter et expliquer leurs besoins. Cette étape permet de faire une mise en commun des propositions ce qui nous permet de collecter des informations autour de la capitalisation des tableaux de bord d'apprentissage.

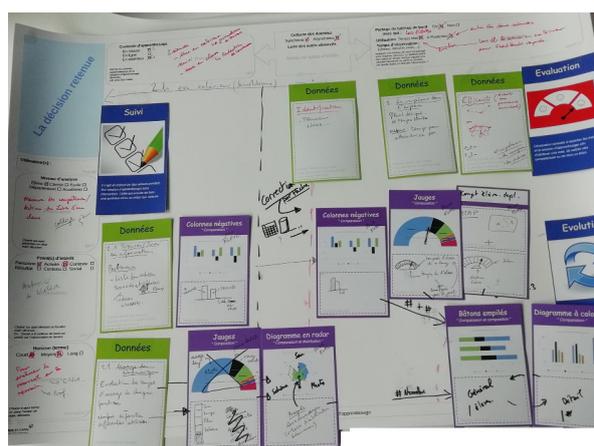
5.5.7 Résultats de la capture des besoins : cas de TactileoMap

Nous avons testé l'outil de conception de tableaux de bord d'apprentissage avec deux enseignants concepteurs dans leurs contextes éducatifs. Les deux participants (P1 et P2) ont un profil d'utilisateur similaire. Les deux participants partagent le même rôle et ils sont caractérisés par leurs fortes connaissances autour de la plateforme d'apprentissage TactileoMap. Cette connaissance est justifiée par leur forte implication et participation à la conception de cette dernière, ce qui leur permet d'avoir une connaissance sur les données fournies et le contexte d'utilisation de la plateforme.

Les deux participants ont décidé de tester l'outil de conception séparément afin d'exprimer leurs besoins selon leurs contextes respectifs. Ils ont commencé par remplir l'ensemble des sections sur le plateau où ils ont détaillé leurs situations d'apprentissage et leurs contextes d'utilisation des futurs tableaux de bord d'apprentissage y compris le moment de visualisation, l'horizon de la prise de décision et les points d'intérêt principaux à visualiser dans les tableaux de bord d'apprentissage. Les deux participants ont suivi l'activité d'expression de besoin avec l'analyse des cartes de décision afin de sélectionner la ou les plus adéquates. Chacun d'eux s'est retrouvé à la fin avec plusieurs décisions où chacune était liée à une situation d'apprentissage bien déterminée et associée à un tableau de bord d'apprentissage.



(a) Plateau de conception (P1)



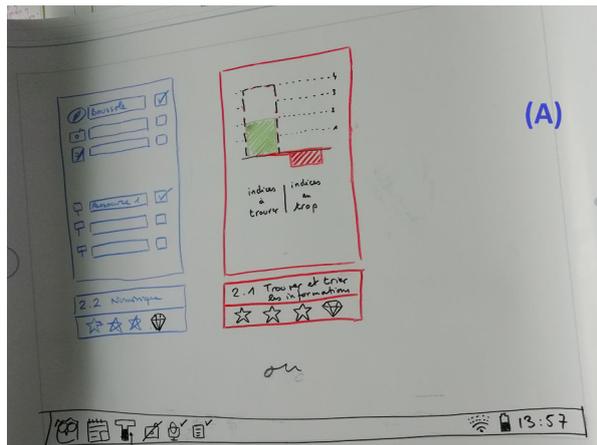
(b) Plateau de conception (P2)

FIGURE 5.8 – Résultats de l'étape de caractérisation

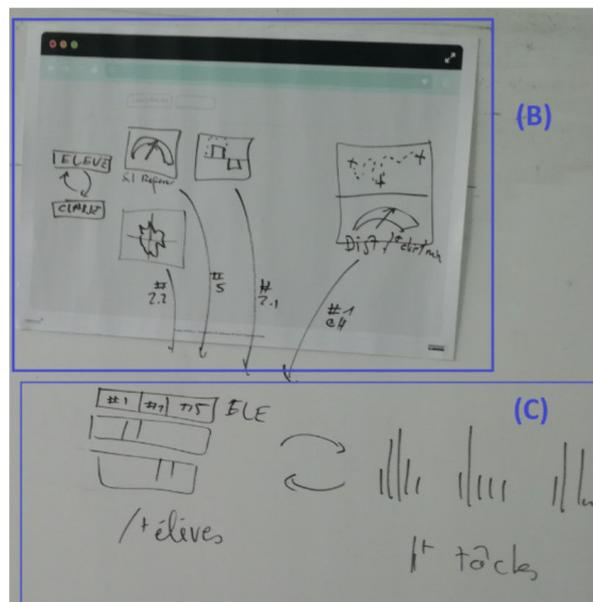
P1 et P2 se sont focalisés principalement sur deux cartes de décision (cf. fig. 5.8a et 5.8b) l'évaluation et l'évolution. Le choix de la carte d'évaluation était justifié par le besoin d'enrichir l'évaluation finale des élèves en prenant en compte leurs actions. Le tableau de bord d'apprentissage pour l'évaluation sera partagé entre les enseignants et les élèves pendant chaque session à court terme. Le besoin d'un tableau de bord d'évolution est lié au besoin d'analyser l'évolution des comportements des élèves et de repérer les ressources inutilisées ou les consignes mal posées afin de pouvoir renforcer ou modifier les activités à réaliser au cours d'une sortie pédagogique dans les années qui suivent.

Par rapport à P1, P2 a exprimé un besoin de plus autour de la visualisation d'un tableau de bord de suivi des performances des élèves. Ce tableau de bord d'apprentissage sera dédié aux élèves eux-mêmes afin d'offrir des feedbacks rapides durant la sortie pédagogique. La similarité des profils des participants les a amenés à choisir des décisions similaires. Nous en avons déduit des informations pour la capitalisation des tableaux de bord d'apprentissage comme la structure et le choix des moyens de visualisation. Ensuite, les participants sont passés à la description de l'ensemble des données qui sont nécessaires à visualiser et à associer à chaque décision. La particularité des tableaux de bord d'apprentissage proposés par P2 réside dans le fait qu'ils partagent l'ensemble des données avec des niveaux de granularité différents.

Nous constatons que le passage du tableau de bord d'évaluation vers un tableau de bord d'évolution dépend du niveau de détail et de la quantité des données à visualiser. La décision ici passe d'une décision à court terme vers une décision à long terme (cf. fig. 5.9a et 5.9b).



(a) Tableau de bord imaginé par (P1)



(b) Tableau de bord de suivi imaginé par (P2)

FIGURE 5.9 – Résultats de l'étape de prototypage

Cette étape était suivie par une étape de représentation graphique, les deux participants ont commencé par manipuler et exploiter le maximum de cartes de visualisation. Chacun d'entre eux a proposé des cartes de visualisation différentes pour les mêmes données en fonction des destinataires. Par exemple, P1 a proposé un diagramme en boîtes pour être visualisé par les enseignants et un diagramme à bulles à destination des élèves.

La dernière partie sur la création des tableaux de bord d'apprentissage est liée à la conception et à l'organisation de l'interface du tableau de bord d'apprentissage. P1 s'est contenté d'une simple représentation graphique des données (cf. fig. 5.8a) où chaque décision est associée à une simple interface qui regroupe l'ensemble des données à visualiser, alors que le P2 a imaginé 3 interfaces différentes et déconnectées l'une de l'autre, ce qui reflète bien le fait que la décision est un point central et que nous avons des tableaux de bord d'apprentissage différents selon le type de décision.

P2 a imaginé un ensemble de moyens d'interactions à intégrer dans chaque tableau de bord d'apprentissage pour chaque décision bien précise (cf. fig. 5.9a) Le choix de mettre en avant l'objectif de décision du tableau de bord d'apprentissage comme élément pivot de la conception s'avère efficace en permettant aux participants de se focaliser sur un besoin explicite.

L'atelier s'est achevé par l'étape de présentation et la discussion de la faisabilité des demandes des participants (cf. fig. 5.10).

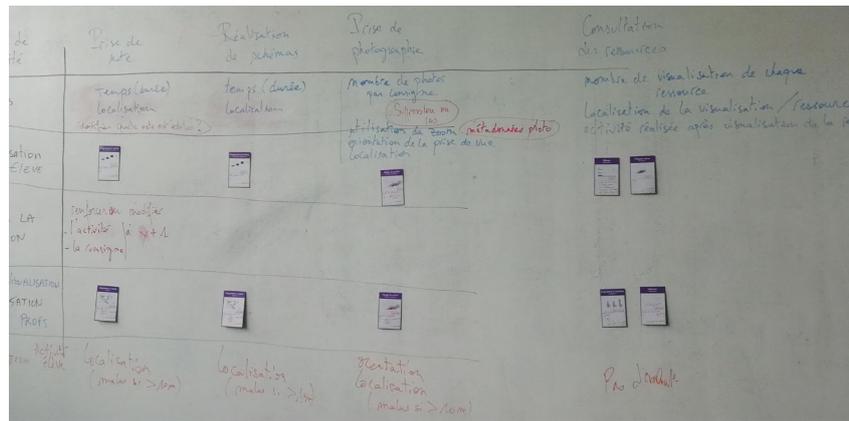


FIGURE 5.10 – Résultats de l'étape de la présentation

5.5.8 Discussion

Une comparaison avec les ateliers précédents montre que l'outil de conception nous permet de gagner du temps et d'augmenter la productivité des participants.

Lors du premier atelier, nous avons regroupé les enseignants en équipes de deux et nous devons jouer un rôle important en tant qu'animateurs. Nous avons dû interroger les enseignants et guider leur réflexion. Cela rendait difficile l'immersion dans une situation d'apprentissage. Grâce à cet outil, la durée de l'atelier a été réduite d'une journée complète à 2 heures où les échanges étaient plus naturels et notre rôle s'est réduit à l'observation et à répondre aux questions de compréhension. De plus, lors du premier atelier, nous n'avons obtenu qu'une description de la situation d'apprentissage, une liste de données et quelques moyens de visualisation. Lors du dernier atelier, nous avons également obtenu des informations relatives à la décision ainsi que les modèles d'interface du tableau de bord d'apprentissage correspondant aux besoins des enseignants.

La participation à de tels ateliers peut également contribuer à développer l'appropriation de tels outils par les participants [Mackay et Fayard, 1997] et [Knibbe, 2016b]. Cette hypothèse nous paraît particulièrement intéressante dans le contexte de l'analytique de l'apprentissage numérique dans lequel les utilisateurs potentiels manquent souvent de maturité au niveau de l'usage de tels dispositifs numériques alors que des retours d'information pertinents sont source d'appropriation des pratiques numériques.

Les résultats de cet atelier vont faire l'objet de trois objectifs complémentaires autres que la capture de besoin. Ces objectifs sont autour de la capitalisation, de la génération des tableaux de bord d'apprentissage et de l'évaluation de l'outil de conception. Le but de la capitalisation est d'alimenter la base utilisée pour générer des tableaux de bord d'apprentissage en particulier. À travers les besoins exprimés, nous allons pouvoir fournir les données nécessaires pour que notre processus puisse générer des tableaux de bord d'apprentissage adaptés.

5.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un processus en quatre itérations pour capturer et analyser progressivement les besoins des utilisateurs et construire une base pour nos modèles. L'objectif varie d'une itération à une autre.

À l'issue de la première itération, nous avons identifié une corrélation entre le rôle de l'utilisateur et ses objectifs. Cette corrélation permettra peut-être une catégorisation des contextes d'utilisateurs. L'analyse de la deuxième itération a permis de préciser un

ensemble d'objectifs de tableaux de bord d'apprentissage et de faire ressortir l'aspect décisionnel pour la conception des tableaux de bord d'apprentissage. La troisième itération a démontré fortement l'importance de la décision pour le processus de conception. Aussi, nous avons identifié de nouveaux éléments de dimensions comme le point d'intérêt, le niveau d'analyse, et le temps ou l'horizon de la prise de décision. Cette itération nous a orientés de nouveau vers le domaine de l'informatique décisionnelle qui définit différents types de tableaux de bord d'apprentissage selon la décision, le rôle et la fréquence de l'utilisation. Durant la dernière itération, nous avons pu décrire l'ensemble des éléments représentant les dimensions de nos modèles des tableaux de bord d'apprentissage. Le tableau 5.2 présente une synthèse des éléments identifiés :

Dimension	Élément	Champs
Qui	Rôle	Enseignant, apprenant, administration, responsable, etc.
Pourquoi	Décision	6 catégories : Remédiation, planification, suivi, évaluation, évolution, adaptation.
Quoi	Type	Temps, apprenants, contexte, action, résultat, social Schwendimann <i>et al.</i> [2017].
	Niveau d'analyse	École, département, académie, classe, groupe, individu
	Point d'intérêt	Personne, activité, résultat, contexte, contenu, social
	Données	Champs libres
	Collecte de données	Mode de collecte : Synchrones ou Asynchrones. Les outils utilisés dans l'apprentissage.
	Source de données	Champs libres
	Activité d'apprentissage	Champs libres
Comment	Moyen de visualisation	Au choix
	Structure	Une seule page, pages multiples
	Moyen d'interaction	Au choix
Quand	Horizon	Court, moyen, long terme
	Temps d'observation	Champs libres
	Temps d'utilisation	Temps réel, a posteriori, hybride
	Partage	Oui, non
Où	Contexte d'apprentissage	En classe, en ligne, en extérieur

TABLE 5.2 – Synthèse des éléments associés aux dimensions de conception

Dans le chapitre suivant, nous présentons les modèles de tableaux de bord d'apprentissage.

Chapitre 6

Modélisation de tableaux de bord d'apprentissage

Les tableaux de bord d'apprentissage sont définis comme un affichage unique qui agrège les différents types de données comme des indicateurs sur l'apprenant(s), sur le(s) processus d'apprentissage et/ou sur le(s) contexte(s) d'apprentissage en une ou plusieurs visualisations [Schwendimann *et al.*, 2017]. Nous considérons alors qu'un tableau de bord d'apprentissage est défini par une agrégation et une organisation d'un ensemble de composants. Ces composants reposent sur une identification des contextes et des besoins des utilisateurs, des indicateurs et des moyens de visualisation. Ils assurent également la personnalisation des tableaux de bord d'apprentissage. L'identification de ces composants, leur organisation et leur présentation constituent les étapes principales du processus de génération.

La proposition d'un modèle de tableau de bord d'apprentissage permet, une fois instancié de fournir les spécifications nécessaires au processus de génération. Ces dernières sont organisées autour la description : (a) les besoins et les contextes utilisateurs, (b) les indicateurs, (c) les moyens de visualisation et (d) la réutilisation.

a) Pour modéliser les besoins et les contextes d'utilisateurs, deux modèles sont nécessaires. Le premier est le modèle du contexte utilisateur dont les objectifs sont la description de l'ensemble des caractéristiques et des préférences propres à l'utilisateur et de fournir des spécifications au processus de génération pour identifier et sélectionner l'ensemble des informations pertinentes concernant l'utilisateur et son contexte. Le deuxième modèle spécifie la manière dont le contenu d'un tableau de bord d'apprentissage est structuré en fonction d'une décision. **b)** La description des indicateurs assure principalement l'indexation et l'organisation des différents indicateurs existants pour pouvoir les sélectionner dynamiquement lors de la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Cette description permet aussi de faire la correspondance entre le travail des analystes et les besoins des utilisateurs

c) L'utilisation de moyens de visualisation sert principalement à faciliter la lecture des indicateurs et à mettre en avant des relations entre les données pour une décision comme la comparaison, la tendance, etc. L'idée est de caractériser l'ensemble des moyens de visualisation disponibles pour présenter les indicateurs.

d) La réutilisation repose sur deux éléments :

- Un modèle de composition qui sert à spécifier et à définir l'ensemble des composants des tableaux de bord d'apprentissage. Il fournit un ensemble de relations entre les composants afin d'assurer leur organisation. Comme le contexte utilisateur évolue et que les indicateurs peuvent être mis à jour pour fournir des données récentes, le tableau de bord d'apprentissage évolue aussi. Par ailleurs, l'application du principe

de composition (cf. chapitre 3) permettra de traiter chaque composant séparément et de favoriser leur réutilisation dans un contexte similaire.

- Une description générique de tableau de bord d'apprentissage sous la forme de patrons qui sont utilisés pour organiser les composants en fonction des contextes utilisateurs.

Nous détaillons dans ce chapitre l'ensemble des modèles pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Ces modèles spécifient le contexte utilisateur, les indicateurs et les moyens de visualisation. Nous introduisons aussi le concept de patron qui assure une description générique basée sur nos modèles, pour la génération des tableaux de bord d'apprentissage. L'organisation de nos modèles repose sur les dimensions identifiées dans le chapitre précédent. Autrement dit, les modèles reposent sur les dimensions de conception "Qui ?, Pourquoi ?, Comment ?, Quoi ?, Quand ? et Où ?". Ces dernières permettent de caractériser le tableau de bord d'apprentissage. Nous nous appuyons, pendant notre étape de modélisation, sur notre analyse des cas d'étude du projet HUBBLE ainsi que sur les différents éléments des dimensions de conception identifiées dans le chapitre précédent.

6.1 Modélisation des besoins et contextes utilisateurs

Une description des besoins et du contexte utilisateur des utilisateurs à l'aide des modèles conceptuels assurera leur identification. Les modèles conceptuels que nous allons exploiter dans cette section représentent une description du contexte utilisateur et de sa décision.

6.1.1 Modèle de contexte utilisateur

Un modèle de contexte utilisateur décrit généralement l'utilisateur (Qui ?), ses besoins, ses préférences, et d'autres aspects nécessaires pour lui fournir le meilleur service possible [Kuflik et Poteriyaykina, 2009]. L'objectif est de faciliter la recherche d'information et de modéliser avec précision les besoins d'information de l'utilisateur [Shen *et al.*, 2005]. Dans notre cadre de travail, ce modèle permet au processus de génération de sélectionner l'information pertinente par rapport à l'utilisateur et son contexte. Nous décrivons principalement trois informations : l'objectif de l'utilisateur, sa situation d'apprentissage et ses préférences.

La modélisation de l'utilisateur peut être basée sur les "feedbacks" explicites et implicites des utilisateurs recueillis à partir de diverses sources [Billsus et Pazzani, 2000]. Comme nous l'avons constaté dans le chapitre 5, les utilisateurs peuvent partager des contextes communs. Cependant, chaque utilisateur peut avoir des besoins et/ou des objectifs et/ou des préférences particuliers. Cela signifie qu'ils ont généralement des attentes différentes à l'égard des tableaux de bord d'apprentissage.

Nous présentons, dans la figure 6.1, le modèle de contexte utilisateur. Il relie l'individu à un groupe d'utilisateurs (*Group*). Ce groupe peut être caractérisé soit comme un groupe d'utilisateurs ayant un rôle (*Role*) en commun, soit comme un ensemble d'individus ayant différents rôles avec le même objectif. La précision du groupe permet d'identifier les contextes communs des utilisateurs et d'assurer la corrélation entre le rôle utilisateur et la décision. Cette information facilite la catégorisation des utilisateurs et de leurs tableaux de bord d'apprentissage.

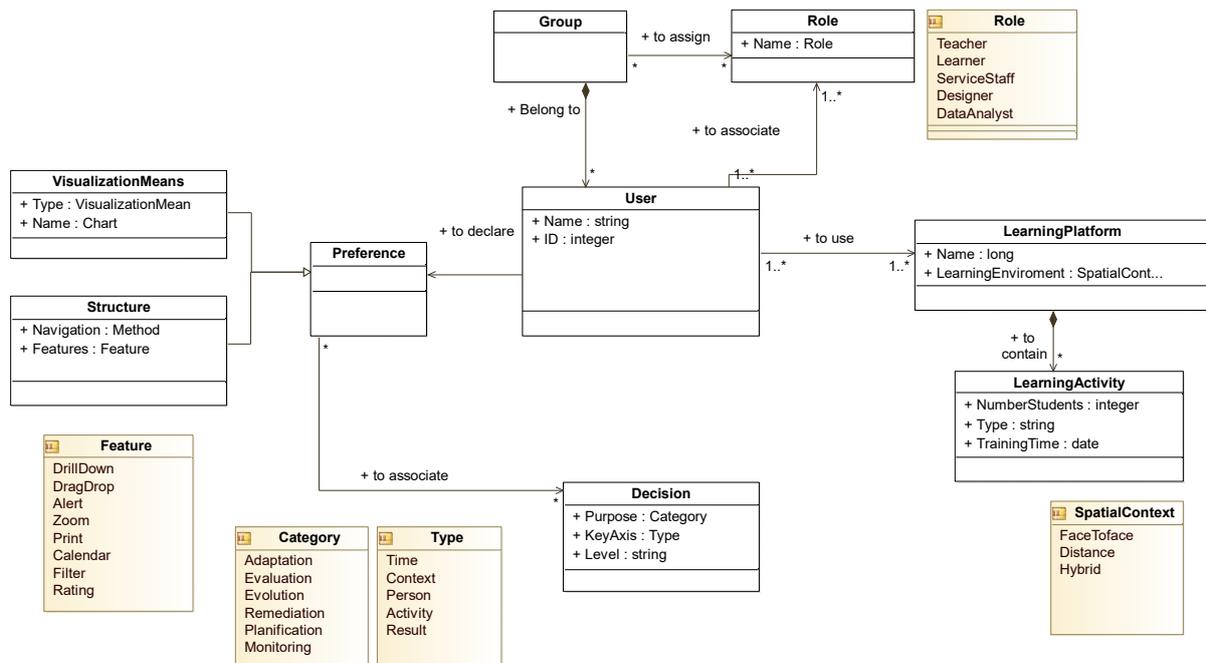


FIGURE 6.1 – Modèle conceptuel du contexte utilisateur (UML)

Les travaux de Schwendimann *et al.* [2017] nous ont permis de définir l'utilisateur avec son rôle et son objectif. De plus, suite aux travaux sur la capture des besoins (cf. chapitre 5), nous avons conclu qu'il était important de prendre en compte la décision dans notre processus. Ce modèle présente pour chaque utilisateur un ou plusieurs objectifs de visualisation ainsi que la ou les décisions qu'il peut prendre.

L'autre partie du modèle décrit le contexte d'apprentissage de l'utilisateur (Où?). Généralement, chaque utilisateur utilise une ou plusieurs plateformes d'apprentissage (*LearningPlatform*) durant ses situations d'apprentissage en classe ou à distance. Les plateformes d'apprentissage permettent de travailler sur une ou plusieurs activités d'apprentissage (*Learning Activity*). Par ailleurs, nous présentons dans le modèle ces informations contextuelles. En effet, le rôle de l'utilisateur et la description de la situation d'apprentissage permettent d'identifier une liste d'indicateurs adaptés aux besoins des utilisateurs.

Finalement, nous présentons dans ce modèle les différents niveaux de préférence (*Preference*) de chaque utilisateur. Les préférences sont des informations uniques pour chaque utilisateur. Durant l'étape de capture des besoins, les utilisateurs ont décrit des préférences liées aux moyens de visualisation (*VisualizationMeans*) et la structure. Les moyens de visualisation peuvent être de différents types (*Type*) comme l'utilisation des graphiques, des tableaux, etc.). La structure d'un tableau de bord d'apprentissage peut contenir des moyens d'interaction (*Features*). L'utilisateur peut définir un mode de navigation (*Navigation*) entre les indicateurs. Nous intégrons aussi ces préférences utilisateurs dans notre modèle.

6.1.2 Modèle de décision

Chaque utilisateur peut avoir une ou plusieurs décisions à prendre. Nous présentons l'ensemble des éléments qui définissent une décision dans le modèle suivant (cf. fig. 6.2).

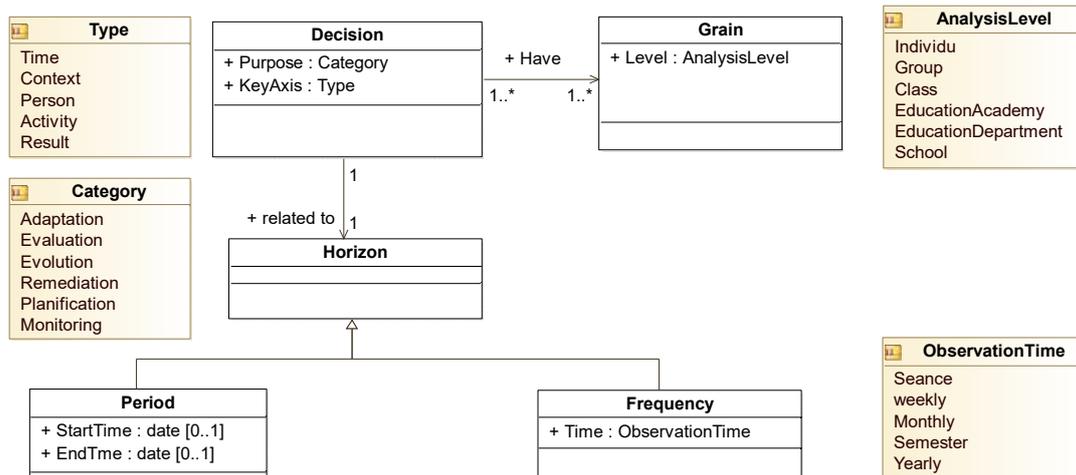


FIGURE 6.2 – Modèle conceptuel de décision

Ce modèle concerne principalement la dimension de conception (Pourquoi?). Comme nous l’avons exprimé dans le chapitre précédent (cf. chapitre 5), ce modèle sert à représenter une décision et présente en quoi consiste le tableau de bord d’apprentissage, son utilité et son contenu. Pour cette raison, nous représentons la décision comme un point central. Notre travail de recherche consiste notamment à décrire le contenu d’un tableau de bord d’apprentissage et la façon de le représenter pour répondre à une décision précise. Nous avons précisé dans le chapitre 2, que le choix d’une prise de décision est fondé sur plusieurs critères [Roy et Bouyssou, 1993]. Toutefois, le choix de ces critères varie en fonction de l’objectif d’un décideur permettant de définir des niveaux de décision différents. En effet, chaque tableau de bord d’apprentissage est conçu pour une décision, un objectif et un décideur spécifiques en fonction du niveau de hiérarchie de l’organisation [Golfarelli *et al.*, 2004].

Par conséquent, nous modélisons la décision en nous basant sur deux éléments : 1) l’objectif de la décision, 2) le niveau de la décision.

1. **L’objectif de la décision** : L’objectif de la décision est défini à travers deux informations : la catégorie de la décision et le point d’intérêt. Ces informations permettent de répondre à ces questions : quelle décision faut-il prendre et par rapport à quoi ?

- La catégorie de la décision (*Category*) : à la suite de l’étape de capture des besoins (cf. chapitre 5), nous avons identifié un ensemble d’objectifs pédagogiques : la planification, l’adaptation, l’évaluation, l’évolution, la remédiation et le suivi.
- Le point d’intérêt principal (*KeyAxis*) : l’idée, ici, est d’aider à focaliser l’attention d’un utilisateur sur un point d’intérêt (*KeyAxis*) particulier afin de l’aider à prendre une décision. Durant un processus de prise de décision, l’utilisateur passe par une étape d’identification d’un problème. L’utilisateur doit ensuite décider de mener une action (cf. section 2.5). Il faut alors définir par rapport à quoi l’utilisateur veut prendre une décision : une activité, une personne, etc. L’idée est donc de faciliter la lecture des données des indicateurs selon un point d’intérêt principal. De ce fait, l’utilisateur peut juger plus rapidement une situation d’apprentissage particulière en fonction de ce point d’intérêt.

2. **Le niveau de la décision** : Il existe trois niveaux de tableau de bord : opérationnel, tactique et stratégique.

Comme en informatique décisionnelle, le choix du niveau de décision est obtenu à partir de deux critères tels que a) l'objet de la décision, b) l'échéance de la décision (cf. section 2.5).

- (a) L'objet de la décision : les niveaux de décision se distinguent par la quantité d'informations à visualiser. Par conséquent, nous représentons l'objet de la décision dans notre modèle par le niveau de détail des données (*Grain*). Effectivement, un utilisateur peut prendre une décision par rapport à un point d'intérêt selon différents niveaux d'analyse (*AnalysisLevel*). Les indicateurs dans un tableau de bord d'apprentissage peuvent être présentés selon le niveau d'un individu, d'une classe ou d'un département [Siemens *et al.*, 2011]. L'idée sous-jacente est que le choix du niveau d'analyse affecte le niveau de détail dans le tableau de bord d'apprentissage.
- (b) L'échéance de la décision : les décisions sont définies en fonction de l'horizon temporel (*Horizon*). Selon Ansoff [1969], il existe des décisions à court, moyen et long terme. Nous représentons dans notre modèle l'horizon temporel par une ou plusieurs informations. Comme en informatique décisionnelle, nous définissons l'horizon par la fréquence d'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage (*Frequency*). La fréquence fait référence dans notre contexte au temps d'observation (*ObservationTime*). Nous avons identifié dans le chapitre 5 une liste des temps d'observation possibles. Si l'utilisation est fréquente, par exemple pendant chaque séance pédagogique, nous pouvons en déduire que la décision est faite à court terme. Finalement, nous pouvons décrire l'horizon selon une période du temps (*Period*) calculée à partir d'un temps de début et de fin (*startTime et endTime*).

6.2 Modélisation des indicateurs

Le deuxième aspect de la modélisation est la description des indicateurs (Quoi?). Dans le contexte du projet HUBBLE, ces derniers sont déjà calculés par des plateformes d'analyse (*AnalysisPlatform*). Ils sont axés sur un objectif d'apprentissage particulier. Ici, notre modèle répond principalement à la dimension de conception "Quoi?".

L'objectif de ce modèle est de permettre à la fois d'indexer et d'organiser les différents indicateurs existants pour pouvoir les sélectionner dynamiquement lors de la génération de nos tableaux de bord d'apprentissage et de pouvoir faire la correspondance entre le travail des analystes et les besoins des utilisateurs.

Nous proposons donc un modèle pour décrire principalement le type d'indicateur [Schwendimann *et al.*, 2017], le contexte d'utilisation et ses caractéristiques techniques (quantité de données, dimensions, etc.). Dans notre modèle (cf. fig. 6.3), la description des indicateurs doit être suffisamment détaillée pour faciliter leur sélection et leur organisation par le processus de génération.

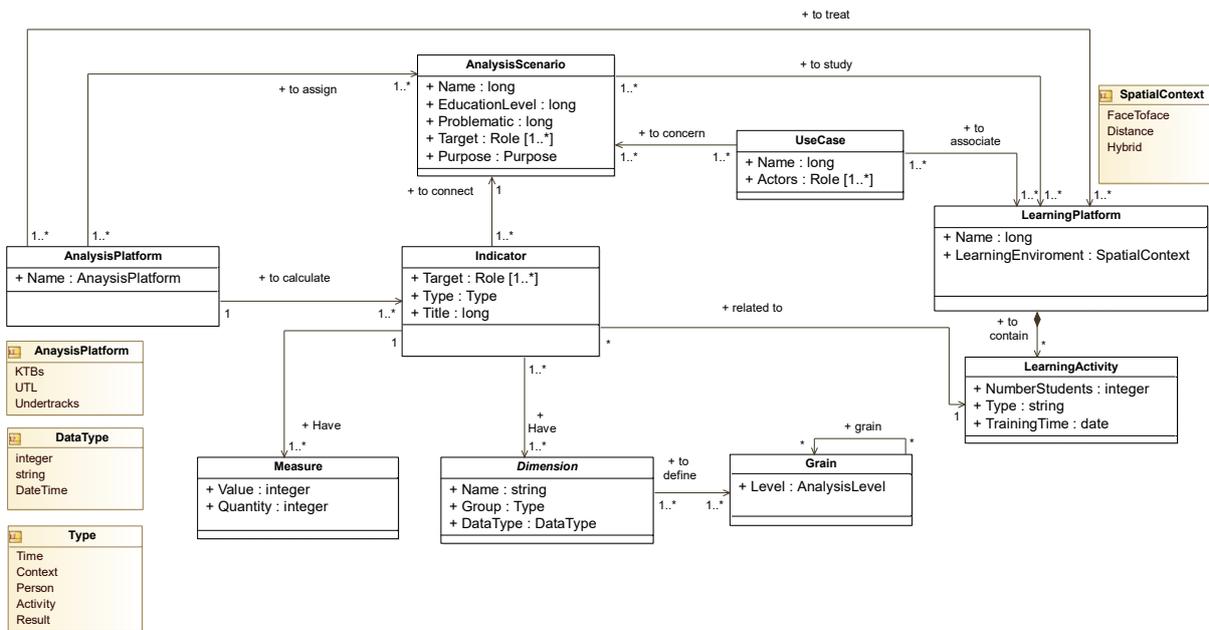


FIGURE 6.3 – Modèle conceptuel d’indicateur (UML)

6.2.1 Indicateur

La définition de l’indicateur est basée sur trois informations : la cible (*Target*), le type (*Type*) et le titre (*Title*).

- La cible (*Target*) : dans le contexte du projet HUBBLE, chaque indicateur est conçu et calculé pour des utilisateurs cibles afin qu’il puisse répondre à leurs objectifs. Un utilisateur cible est défini par son rôle. Un utilisateur peut avoir un ou plusieurs rôles.
- Le type (*Type*) : le type a pour but de catégoriser les indicateurs calculés et d’associer une certaine sémantique qui sera utile dans la recherche des indicateurs pertinents pour un tableau de bord d’apprentissage. Schwendimann *et al.* [2017] ont distingué différents types d’indicateurs possibles. Les indicateurs peuvent être classés en six groupes (*Group*) qui sont les suivants : contexte, Social, Personne, Action, Résultat, Temps. Ce classement est réalisé en fonction des questions auxquelles les utilisateurs souhaitent répondre (bien qu’un indicateur puisse appartenir à plus d’un groupe).

Les indicateurs liés au contexte (*Context*) fournissent des informations sur le contexte dans lequel l’apprentissage a eu lieu. Les indicateurs sociaux (*Social*) montrent comment les apprenants interagissent avec les autres. Les indicateurs liés à l’apprenant ou aux individus de manière plus générale (*Person*) présentent des informations décrivant l’apprenant ou les apprenants. Les indicateurs liés à l’action (*Action*) présentent des informations sur les actions réalisées par des individus comme le(s) apprenant(s), etc. Les indicateurs liés aux résultats (*Result*) donnent des informations sur les résultats des activités des apprenants. Finalement, nous avons aussi défini un groupe d’indicateurs temporels (*Time*). Ce groupe fournit des informations sur le temps et la durée d’une activité d’apprentissage bien déterminée ce qui permet de situer les événements ou les actions sur la ligne du temps.

- Le titre (*Title*) : l’élément titre sert à nommer l’indicateur lui-même. Le titre d’un indicateur désigne le contenu et lui associe un sens (par exemple : le suivi de performance du groupe des étudiants). En effet, la visualisation des titres

d'indicateurs facilite la compréhension du contenu par les utilisateurs cibles grâce à la sémantique qu'ils portent.

6.2.2 Contexte d'un indicateur

Le modèle d'indicateur décrit aussi le contexte de l'indicateur. Ce dernier correspond au contexte de calcul. Chaque indicateur est calculé pour un cas d'étude particulier (*useCase*). Un cas d'étude est défini comme une situation d'apprentissage particulière, avec des enseignants, des apprenants, des gestionnaires et une plateforme d'apprentissage (*LearningPlatform*) [Luengo *et al.*, 2019]. Ce calcul est réalisé par une plateforme d'analyse (*AnalysisPlatform*) pour répondre à un objectif d'un scénario d'analyse bien particulier.

Par ailleurs, le modèle d'indicateur relie principalement les indicateurs (*Indicator*) à la fois au processus d'analyse défini au travers du scénario d'analyse (*AnalysisScenario*) et de l'activité d'apprentissage (*LearningActivity*). Un scénario d'analyse décrit les objectifs de l'analyse, le contexte d'usage et les indicateurs ou modèles attendus [Luengo *et al.*, 2019]. Il se déroule sur une ou plusieurs plateformes d'apprentissage, hébergeant chacune une ou plusieurs activités d'apprentissage. Le calcul des indicateurs est exécuté au travers des plateformes d'analyse (*AnalysisPlatform*). Cette partie du modèle a pour but d'exprimer et de décrire un contexte pour l'utilisation et l'exploitation des indicateurs.

6.2.3 Caractéristiques techniques

La description technique facilite l'exploitation des indicateurs par le processus de génération. Chaque indicateur est défini par (i) des dimensions (*Dimension*), (ii) des mesures (*Measure*) ainsi (iii) qu'un niveau de granularité (*Grain*).

(i) Dimension (*Dimension*) : Les données calculées des indicateurs peuvent être représentées sur différentes dimensions. Nous pouvons définir une dimension comme un regroupement catégorique des mesures qui peut être utilisé pour segmenter ou filtrer les données. Dans notre modèle, chaque dimension est définie par un ensemble d'informations : un nom (*Name*), un groupe (*Group*), un type de données (*Datatype*).

Principalement, le nom et le groupe d'une dimension apportent une information sémantique aux données. Le nom (*Name*) désigne le contenu et lui associe un sens, par exemple "Nombre de questions", "Notes des étudiants", "Temps en minutes", etc.

L'association de chaque dimension à un groupe (*Group*) joue un rôle important pour la réutilisation des indicateurs. En effet, cette information permet de décrire de manière générique les dimensions d'indicateur. Elle permet de faire la correspondance entre le modèle indicateur et le patron d'un tableau de bord d'apprentissage. Nous détaillons cette correspondance dans le chapitre 7.

Finalement, un indicateur est spécifié par un nombre de dimensions. Cette information représente un critère important de sélection. En effet, chaque indicateur peut être visualisé par un moyen de visualisation ayant un nombre de dimensions équivalent.

(ii) Mesure (*Measure*) : Une mesure est définie comme un ensemble de valeurs (*Value*). Il peut s'agir d'une somme, d'un nombre, d'une moyenne, d'un pourcentage, etc.

(iii) Niveau de granularité (*Grain*) : Nous avons décrit chaque dimension selon différents niveaux de granularité dans le but de faciliter la représentation

d'indicateurs conformément au niveau de décision. Dans la modélisation dimensionnelle, la granularité fait référence au niveau de détail d'une dimension. Par exemple, une dimension telle qu'une "Date" a une granularité au niveau d'une année, mois, semaine, jour, etc. L'objectif de cet élément est de donner la possibilité d'avoir différentes représentations des indicateurs. Le passage d'un niveau de granularité à un autre engendre le regroupement des mesures d'un indicateur. Par ailleurs, cet élément peut impliquer le changement du niveau de décision (stratégique, tactique et opérationnel).

6.3 Modélisation des moyens de visualisation

Nous présentons dans cette section, le modèle des moyens de visualisation (Comment ?) permettant de décrire et d'indexer les moyens de visualisation disponibles dans notre système. La modélisation et donc la description des moyens de visualisation devient primordiale pour notre travail. Nous proposons un modèle représenté par la figure 6.4. Le choix des moyens de visualisation se base d'un côté sur la nature et les caractéristiques des indicateurs présentés dans la figure 6.3 et d'un autre côté sur les préférences des utilisateurs.

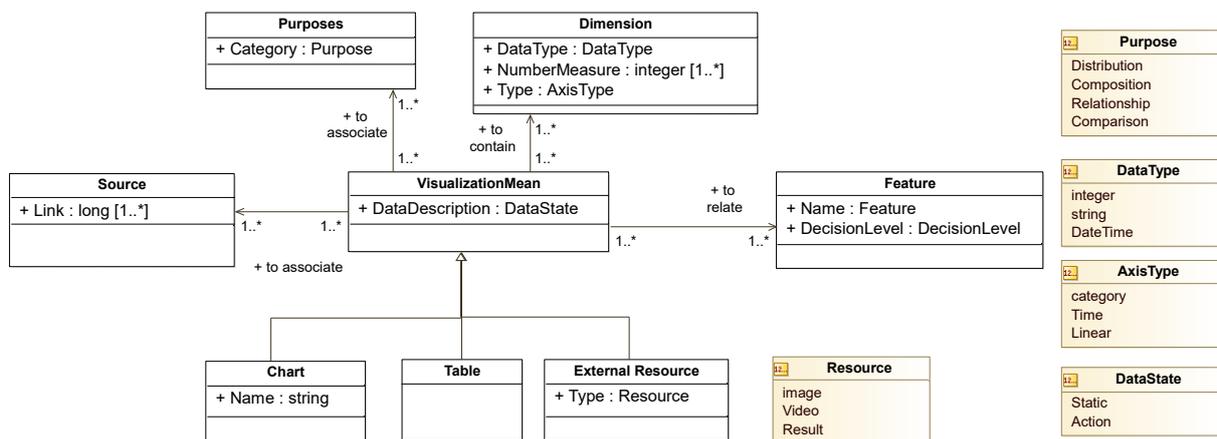


FIGURE 6.4 – Modèle conceptuel du moyen de visualisation (UML)

Ce modèle a pour but de caractériser l'ensemble des moyens de visualisation disponibles pour présenter les indicateurs. Aussi, il permet de mettre en avant des informations clés pour une décision comme la comparaison, la tendance, etc.

L'intérêt du moyen de visualisation est de prendre les données dérivées du modèle d'indicateur et de les transformer en une forme appropriée pour construire par la suite les composants graphiques prêts à être interprétés par l'utilisateur. En effet, un moyen de visualisation n'est pas seulement une technique permettant l'affichage d'une image, mais peut être utilisé pour créer et manipuler une représentation graphique à partir d'un ensemble de données afin d'aider l'utilisateur à avoir différents types d'interprétation.

Les visualisations permettent à l'utilisateur d'avoir un aperçu des données, de formuler de nouvelles hypothèses et de découvrir de nouvelles connaissances [Keim *et al.*, 1995]. Évidemment, seul l'utilisateur peut déterminer si les connaissances qui en résultent correspondent à ses besoins de visualisation. En outre, ce qu'un utilisateur peut trouver utile n'est pas nécessairement utile à un autre utilisateur. Les utilisateurs interagissent avec les visualisations en fonction de ce qu'ils voient et interprètent. Ainsi, chaque moyen de visualisation peut apporter un sens supplémentaire aux données et indicateurs à visualiser ou certains moyens de visualisation ne conviennent qu'à des usages spécifiques

(comme les diagrammes nuages qui ne sont utilisés que pour présenter une distribution des données), tandis que d'autres sont plus génériques et peuvent être utilisés dans de nombreux usages (comme les courbes, les diagrammes à bâtons, etc.).

Pour modéliser, nous avons pris en compte une classification basée sur l'objectif des moyens de visualisation. Chaque moyen de visualisation (chaque graphique) est défini donc par son(s) objectif(s) de visualisation et est associé à une catégorie [Abela, 2006]. Les catégories de moyens de visualisation sont les suivantes :

- La comparaison : une comparaison tente de distinguer un ensemble de variables et d'afficher comment ces variables interagissent, comme le nombre de consultations des ressources par apprenant dans une période de temps. Tout graphique qui appartient à cette catégorie permet la comparaison et le tri des points de données. Nous citons comme exemple : diagramme à bâtons, courbe, etc. ;
- La composition : ces graphiques sont utiles dans les cas de comparaisons partielles. Une composition tente de rassembler différents types d'informations qui forment un tout et de les afficher ensemble dans un graphique. Nous donnons comme exemple le diagramme circulaire ;
- La distribution : tente de présenter une collection d'informations connexes ou non connexes afin de déterminer comment elle est corrélée, le cas échéant, et de comprendre s'il y a interaction entre les variables. Nous citons comme exemple les diagrammes de nuages ;
- La relation : modèles de relation entre deux ou plusieurs variables. Nous citons comme exemple les diagrammes à bulles ;

Afin de réussir à présenter et proposer les indicateurs selon la bonne représentation, il a donc fallu définir un format d'entrée pour ces moyens de visualisation afin d'assurer l'extraction des éléments de description nécessaires et les comparer par la suite avec la demande des utilisateurs et avec les indicateurs.

6.4 Modélisation pour la réutilisation du tableau de bord d'apprentissage

Le dernier aspect de la modélisation est la réutilisation. La gestion du tableau de bord d'apprentissage en tant qu'ensemble de composants identifiés séparément favorise sa réutilisation dans des contextes similaires. Ainsi, dans un tableau de bord d'apprentissage, les indicateurs et la structure peuvent évoluer selon le contexte utilisateur et la décision à prendre. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire de prendre en compte la réutilisation de l'ensemble des composants qui constituent le tableau de bord d'apprentissage. La réutilisation repose sur deux éléments :

1. Un modèle de composition du tableau de bord d'apprentissage : il sert à spécifier et à définir l'ensemble des composants des tableaux de bord d'apprentissage.
2. Des patrons : ils servent à spécifier l'organisation des composants du tableau de bord d'apprentissage en fonction des contextes utilisateurs.

6.4.1 Modèle de composition du tableau de bord d'apprentissage

L'objectif de la modélisation des tableaux de bord d'apprentissage est de fournir des spécifications au processus de génération. Le modèle de composition que nous proposons permet de représenter explicitement la structure du tableau de bord d'apprentissage ce qui facilite sa génération. En nous basant sur les travaux de Few [2013], l'information ne peut pas être placée n'importe où sur le tableau de bord, et les sections de l'écran ne peuvent pas non plus être redimensionnées simplement pour s'adapter à l'espace disponible. Les éléments qui se rapportent les uns aux autres doivent généralement être placés à proximité les uns des autres. Effectivement, l'importance de l'organisation des indicateurs en plusieurs sections était parmi les besoins identifiés durant l'étape de capture des besoins.

Nous nous focalisons sur des visualisations sur écran. Nous retenons donc une structure classique de document avec des composants généralement rectangulaires. En retenant ce type d'organisation, nous pouvons tirer partie des technologies liées à la présentation de documents web (Mashups, Responsive design). Ce type de visualisation intègre l'ensemble des cas d'études étudiés dans le cadre de HUBBLE. Nous proposons donc un modèle de composition spécifique (cf. fig. 6.5) qui décrit l'organisation des indicateurs au sein du tableau de bord d'apprentissage. Celui-ci repose sur le principe de composition des indicateurs (cf. section 3.5). Ce modèle présente deux informations, l'une porte sur la spécification des indicateurs et la deuxième décrit les relations entre ces indicateurs.

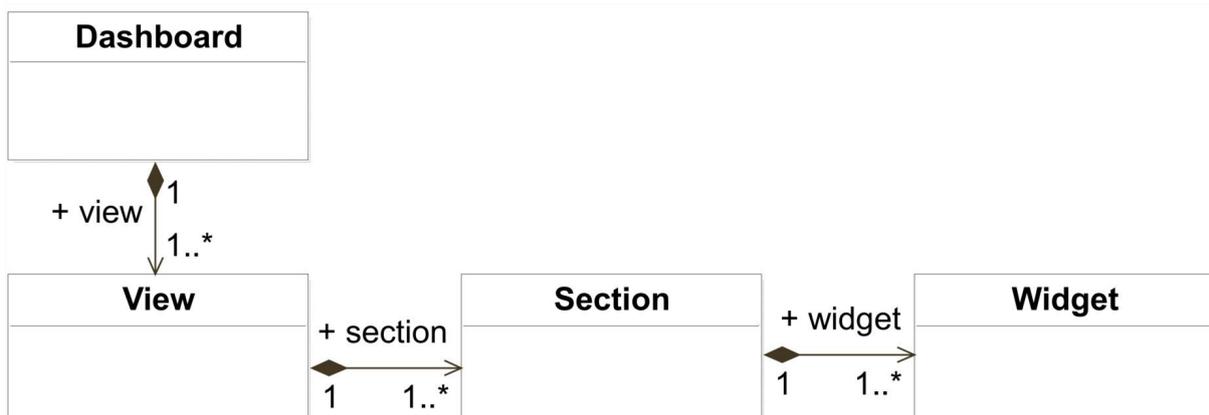


FIGURE 6.5 – Modèle de composition d'un tableau de bord d'apprentissage

Ce modèle de composition est basé sur trois composants : (1) le widget ou le composant graphique, (2) la section ou le composant intermédiaire et (3) la vue ou le composant racine. D'une manière générale, nous présentons un composant graphique comme une unité de composition possédant une interface spécifique et des dépendances contextuelles explicites [Duncan, 2003].

Un composant graphique est défini comme un élément de base du tableau de bord d'apprentissage avec lequel l'utilisateur peut interagir. Ce composant graphique n'est pas destiné à contenir d'autres composants. Dans un tableau de bord d'apprentissage, ce composant graphique est considéré comme un élément visuel ayant pour but de diffuser rapidement une information. Il peut être représenté comme un graphique, une grille, un tableau de données, une image, etc. Il est généralement défini par la paire d'informations : indicateur et moyen de visualisation.

Une section représente le deuxième niveau organisationnel du tableau de bord d'apprentissage. Chaque section est définie par le groupe de widgets associés. Elle représente un composant graphique ou une vue intermédiaire, son but est de faciliter

le positionnement des widgets et de constituer des regroupements d'information afin de mettre en évidence les relations entre les différents widgets. Par exemple, la section peut regrouper les composants graphiques représentant des indicateurs issus de traces liées à un groupe d'utilisateurs ayant participé à une session d'apprentissage commune au cours d'une activité donnée ainsi que leurs productions.

Enfin, une vue est le composant racine du tableau de bord d'apprentissage. Nous considérons la vue comme un conteneur graphique sous forme rectangulaire. Elle fournit principalement un cadre dans lequel peuvent être agencés et affichés les différents composants. La définition d'une vue est un conteneur permettant de regrouper et d'organiser un ensemble de sections pour répondre à un objectif spécifique.

Dans notre travail, nous nous focalisons sur des visualisations sur écran. Nous retenons donc une structure classique de document avec des composants généralement rectangulaires. Nous choisissons une structure hiérarchique pour mieux organiser les affichages et pour faciliter la génération.

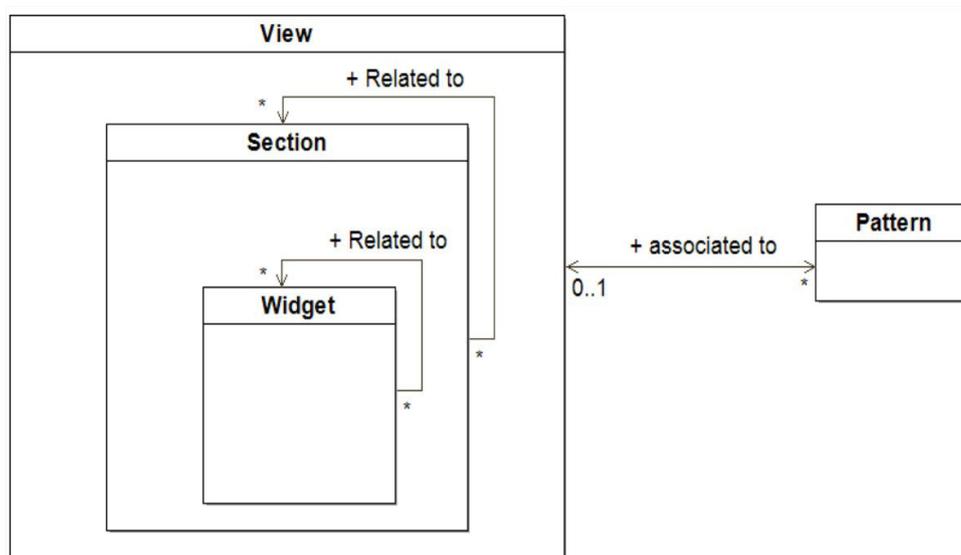


FIGURE 6.6 – Lien entre le patron et le modèle de composition

La figure 6.6 représente une vue alternative des hiérarchies et des relations de notre modèle de composition. En effet, cette figure formalise la composition et l'organisation des indicateurs d'un tableau de bord d'apprentissage. L'organisation est obtenue grâce à la spécification des différentes relations (related-to). Ces relations permettent de spécifier un processus de sélection autorisant le regroupement de différents composants graphiques pour créer des sections et le regroupement des sections elles-mêmes pour former une vue.

6.4.2 Modélisation du patron d'un tableau de bord d'apprentissage

Pour guider la structuration du tableau de bord d'apprentissage, nous proposons d'associer à la vue un patron (*Pattern*) qui permet de préciser comment organiser l'affichage des différents composants graphiques (cf. fig. 6.6).

L'étude des besoins utilisateurs met en avant le fait que certains utilisateurs peuvent partager des besoins de visualisation en commun. Nous pouvons donc en déduire l'existence de plusieurs catégories de tableaux de bord d'apprentissage. En effet, l'identification de ces catégories permet la construction d'un inventaire de patrons. Cette étape de catégorisation a comme objectif de permettre la capitalisation sur les différents

éléments des tableaux de bord d'apprentissage pour permettre leur réutilisation dans de nouveaux contextes et une sélection d'indicateurs adaptée au moment de la génération.

Un patron permet de décrire un ensemble de spécifications génériques autour de la sélection et de l'organisation des tableaux de bord d'apprentissage. En effet, une description générique facilite la réutilisation de patrons dans d'autres contextes d'utilisation [Kienzle *et al.*, 2003].

L'intérêt de l'utilisation d'un patron est de guider la production de tableaux de bord d'apprentissage selon une structure générique. L'idée est d'orienter l'utilisateur dans son parcours de lecture des indicateurs et de prise d'une décision. Le patron est conçu pour favoriser la capitalisation sur les différents éléments des tableaux de bord d'apprentissage pour permettre leur réutilisation dans des contextes similaires.

Les patrons fournissent des descriptions de tableaux de bord d'apprentissage et peuvent ensuite être regroupés en catégories. Le choix du patron est principalement lié à la décision de l'utilisateur. En effet, le tableau de bord, en tant que concept clé de l'informatique décisionnelle, est défini comme un support qui améliore la prise de décision et la performance des utilisateurs [Rasmussen *et al.*, 2009]. Ce modèle (cf. fig. 6.7) décrit la structure du tableau de bord d'apprentissage avec par exemple l'organisation de l'affichage des différentes vues. Toutefois, le patron ne concerne pas seulement la description de la structure, mais aussi, la description de la façon dont les indicateurs sont présentés, cela inclut le choix des dimensions et des mesures à visualiser. La description de la manière dont nous présentons les indicateurs doit raconter une histoire qui fait sens aux utilisateurs (*Data storytelling en anglais*) [Knaffic, 2015].

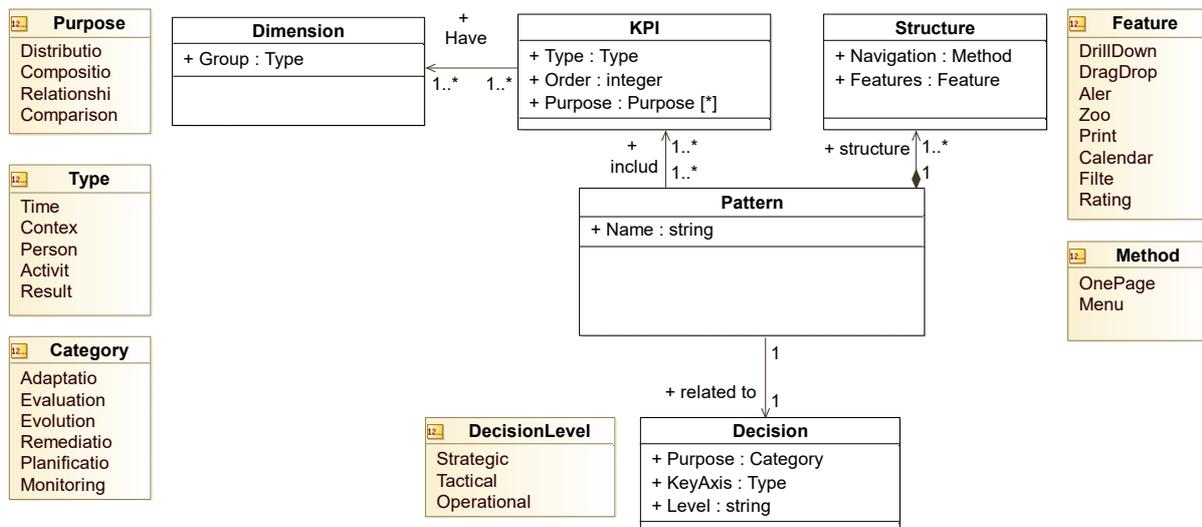


FIGURE 6.7 – Modèle conceptuel du patron

Nous résumons donc la représentation de ce modèle à la description i) de la décision, ii) de la structure, et iii) des indicateurs clés.

(1) La représentation de la décision :

Chaque patron doit être associé à une décision bien précise ce qui facilite son indexation. Comme nous l'avons présenté dans la section 6.1.2, la représentation de la décision permet de spécifier la manière dont les indicateurs sont structurés. Chaque décision dans le patron est définie par un objectif de la décision, un point d'intérêt et finalement un niveau de décision.

(2) La représentation des indicateurs clés :

Afin qu'un utilisateur puisse mener une action, il faut déterminer quelle information est pertinente pour la décision à prendre. En informatique décisionnelle, un tableau de bord est défini comme un ensemble relativement restreint d'indicateurs de performance clé interconnectés (*KPI*) qui permettent aux utilisateurs de prendre connaissance de la situation, de son contexte et d'identifier la décision à prendre [Pauwels *et al.*, 2009], [Selmer, 2011].

Pour chaque patron de tableau de bord, nous nous intéressons à décrire de manière générique les indicateurs clés qui peuvent être utiles pour une décision bien déterminée. La description d'un indicateur clé est basée sur trois informations : le type (*Type*), l'ordre d'importance (*Order*) et l'objectif (*Purpose*).

Chaque indicateur clé (*KPI*) a un type. Cette information permet de faciliter la sélection des indicateurs. En effet, les indicateurs à visualiser doivent être conformes au descriptif des indicateurs clés introduit dans le patron.

Le patron en tant que modèle qui gère l'organisation du tableau de bord d'apprentissage, peut décrire une information en fonction de l'importance de chaque indicateur clé proposé. Cette information est facultative et doit être spécifiée par l'utilisateur lui-même. D'après Few [2013], si un indicateur clé est considéré plus important qu'un autre, celui-ci doit être visualisé en un coup d'oeil par l'utilisateur.

Le dernier élément introduit ici est l'objectif de l'indicateur en matière de visualisation. Nous associons à chaque indicateur un ou plusieurs objectifs. En réalité, chaque moyen de visualisation permet de répondre à un ou plusieurs objectifs (cf. section 6.3). Par ailleurs, les indicateurs clés peuvent être présentés aux utilisateurs en mettant en avant la relation entre les dimensions, la composition, la comparaison et la distribution.

(3) La représentation de la structure :

La structure (*Structure*) dans un patron peut être décrite par deux informations : le mode de navigation (*Navigation*) et les moyens d'interaction (*Features*). Chaque patron peut décrire le mode de navigation entre les composants graphiques comme une navigation à travers un menu, des onglets (*Tab*) ou les composants peuvent être présentés ensemble sur la même page. Chaque tableau de bord décisionnel est défini par un type qui peut être opérationnel, tactique ou stratégique. Dans les travaux de Rahman *et al.* [2017], les moyens d'interaction sont associés aux différents niveaux de décision. Nous tenons à associer à chaque niveau de décision un ou plusieurs moyens d'interaction.

6.5 Conclusion

L'utilisation de ces différents modèles vise en général à aider et à guider la génération de tableaux de bord d'apprentissage. Notre objectif est de donner à l'utilisateur les moyens de terminer rapidement sa tâche et/ou de comprendre les mesures à prendre en fonction des résultats.

Nous avons présenté dans ce chapitre un ensemble de modèles qui serviront par la suite à la génération de tableaux de bord d'apprentissage. L'étape de la modélisation a deux objectifs : 1) automatiser la génération et 2) favoriser la réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage. Par ailleurs, nous avons considéré le tableau de bord d'apprentissage comme un ensemble de composants identifiés séparément.

Nous avons proposé principalement trois éléments : un modèle de composition, un patron et des modèles descriptifs. Ces modèles sont organisés autour de quatre

aspects : une description des besoins et des contextes utilisateurs, l'exploitation des indicateurs et des moyens de visualisation ainsi que la réutilisation. La description des besoins et des contextes utilisateurs est présentée à travers deux modèles : le modèle du contexte utilisateur et le modèle de la décision. Cette description facilite la compréhension des besoins des utilisateurs dans le but de fournir des tableaux de bord d'apprentissage adaptés. La proposition du modèle d'indexation d'indicateurs permet la sélection automatique des indicateurs. L'utilisation d'un modèle des moyens de visualisation permet d'assurer une personnalisation des indicateurs et des tableaux de bord d'apprentissage.

Enfin, la réutilisation est assurée grâce au modèle de composition et au patron de tableaux de bord d'apprentissage. Le modèle de composition sert à spécifier et à définir l'ensemble des composants des tableaux de bord d'apprentissage et les relations entre eux. Le patron est un modèle générique. Ce modèle sert principalement à décrire l'organisation du tableau de bord d'apprentissage pour aider à la prise d'une décision spécifique.

Pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage, l'exploitation de ces modèles nous permet d'identifier et d'organiser des indicateurs clés tout en respectant le modèle de composition.

Le chapitre suivant concerne notre proposition sur la génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage. Nous présentons un processus de génération en trois étapes : la sélection, l'organisation et l'instanciation.

Chapitre 7

Processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage

Les travaux existants imposent une intervention technique des utilisateurs et/ou des experts de visualisation de données dans des moments différents pour la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Dans notre cadre de travail, nous envisageons de limiter cette intervention technique en proposant un processus dynamique de génération de tableaux de bord d'apprentissage. Le processus doit permettre de faire le lien entre le travail des experts (des analystes) et les utilisateurs de tableaux de bord d'apprentissage. Il doit introduire et prendre en compte dynamiquement les besoins et le contexte utilisateur dans le but d'assurer par la suite une réutilisation de l'existant.

Pour la mise en place de ce processus, nous tenons à adopter une approche pluridisciplinaire inspirée de l'approche dirigée par les modèles Chowdhary *et al.* [2014] et le principe de la composition appliquée dans le cadre de Iksal [2002] et de Ouali [2016] pour assurer une génération adaptée, dynamique et réutilisable.

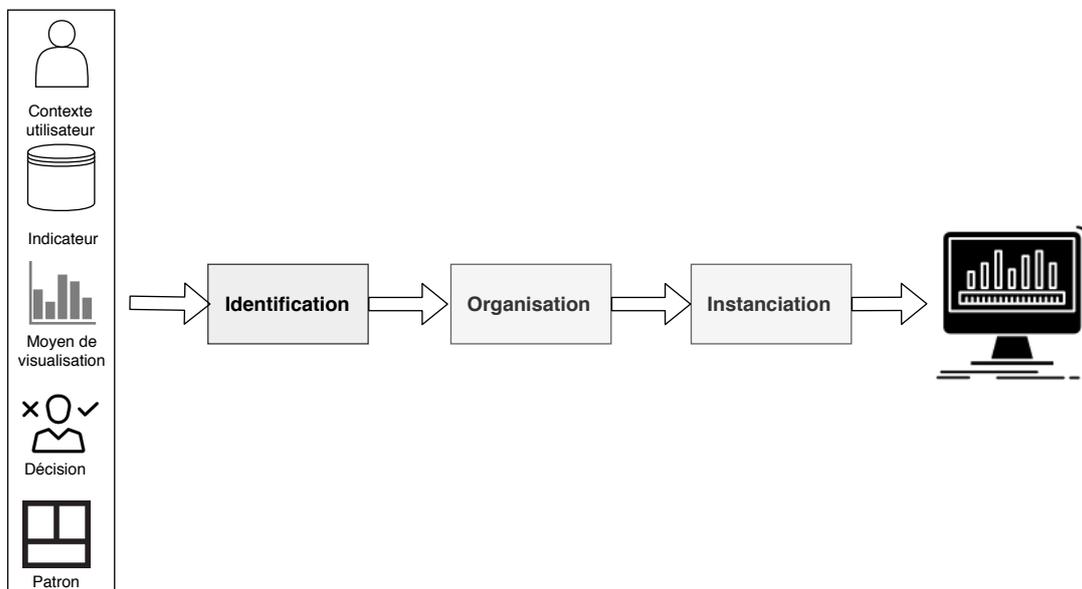


FIGURE 7.1 – Vue d'ensemble du processus de génération

Nous proposons donc un processus de génération (cf. fig. 7.1) qui se déroule en trois étapes :

1. L'identification des indicateurs ;
2. L'organisation des indicateurs ;

3. L'instanciation du tableau de bord d'apprentissage ;

Principalement, ce processus repose sur trois éléments : (i) les dimensions de conception (ii) les modèles et (iii) des règles de génération.

- (i) Le processus de génération est organisé autour des dimensions de conception identifiées auparavant "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?".

Durant la phase de capture des besoins (cf. chapitre 5), nous avons identifié et organisé les besoins des utilisateurs autour de ces dimensions. Ces besoins incluent des informations sur les indicateurs et la structure du tableau de bord d'apprentissage. L'objectif du processus de génération est donc d'automatiser la prise en compte de ces besoins durant la phase de génération de tableaux de bord d'apprentissage.

- (ii) Le processus de génération repose aussi sur les modèles de tableaux de bord d'apprentissage : le modèle de composition, les indicateurs, les moyens de visualisation, le contexte utilisateur, le patron et la décision. Il génère les tableaux de bord d'apprentissage conformément au modèle de composition et au patron. Ce processus doit identifier et organiser l'ensemble des indicateurs clés en lien avec le contexte utilisateur. Pour mieux mettre en évidence ces indicateurs, il faut identifier l'ensemble des moyens de visualisation les plus adaptés à ces indicateurs. Le choix d'un moyen de visualisation permet d'ajouter un sens supplémentaire aux indicateurs clés.

- (iii) Ce processus dispose d'un ensemble de règles de génération. Dans le cadre des systèmes à base de règles, ces dernières sont définies comme des énoncés qui indiquent au système ce qui est permis ou interdit ou ce qui devrait être fait dans une situation particulière [Jokste et Grabis, 2017]. L'utilisation des règles fournit une réponse à un problème en fonction des conditions de chaque problème. Nous présentons ces règles sous la forme "Évènement-Condition-Action" (ECA) équivalente à l'expression "Si condition alors" en étant la forme la plus utilisée et la plus compréhensible. L'adoption de cette forme est utilisée pour spécifier un ensemble de conditions qui doivent être remplies.

Les règles de génération que nous proposons dans les différentes étapes du processus sont classées dans trois catégories : les règles de sélection, les règles d'organisation et les règles d'instanciation.

Nous avons présenté dans les deux chapitres précédents, les dimensions de conception et les modèles de tableaux de bord d'apprentissage. Nous consacrons ce chapitre à la présentation de l'ensemble des règles de génération tout en détaillant les différentes étapes du processus de génération.

7.1 Étape 1 : l'identification des indicateurs

Nous consacrons cette section à la présentation de la première étape du processus de génération. Cette étape concerne l'identification des indicateurs clés. Nous introduisons durant cette étape un processus de sélection des indicateurs clés qui doivent s'apparier avec les besoins et le contexte utilisateur.

Ce processus de sélection prend en compte une séquence d'étapes qui sont : l'identification du contexte utilisateur, l'identification d'une liste d'indicateurs, l'identification des patrons et finalement l'identification des indicateurs clés (cf. fig. 7.2).

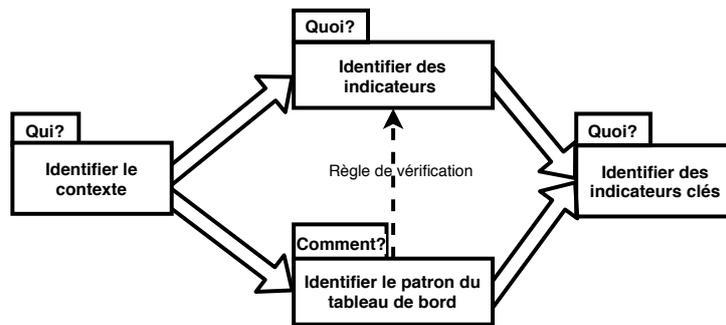


FIGURE 7.2 – Étape 1 : identification des indicateurs

7.1.1 Identification du contexte utilisateur

En se basant sur le modèle de contexte utilisateur, le processus commence par identifier le rôle de l'utilisateur, les plateformes d'apprentissage, les activités d'apprentissage et ses préférences. Ces éléments permettent de définir principalement une liste d'indicateurs adaptés. La figure 7.3 illustre cet ensemble d'éléments.

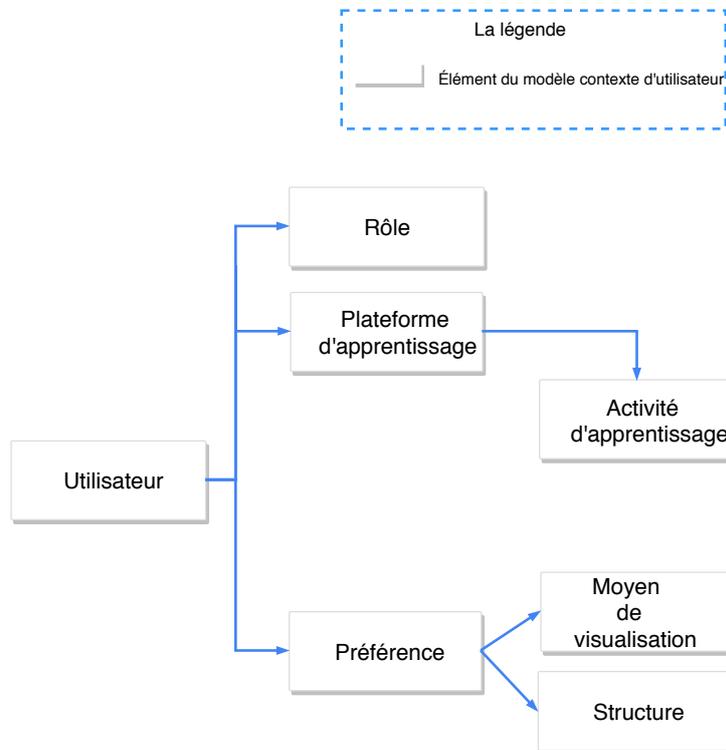


FIGURE 7.3 – Identification du contexte utilisateur

7.1.2 Identification de la liste des indicateurs

Nous présentons dans la figure 7.4 un processus de sélection des indicateurs. Ce processus repose sur deux modèles : le contexte utilisateur et l'indicateur. En effet, l'identification de la plateforme d'apprentissage permet d'identifier le cas d'étude associé. L'identification de ce dernier ainsi que le rôle de l'utilisateur permettent de trier une liste de scénarios d'analyse. Dans le contexte du projet HUBBLE, chaque cas d'étude est associé à un ou plusieurs scénarios d'analyse.

Nous impliquons à ce moment l'utilisateur pour pouvoir sélectionner le scénario d'analyse qui l'intéresse. L'idée est que chaque scénario d'analyse permet de calculer

des indicateurs pour répondre à un objectif et à une ou plusieurs problématiques. Dans notre travail, chaque tableau de bord d'apprentissage est destiné à répondre à un objectif particulier.

Finalement, le choix du scénario d'analyse et les activités d'apprentissage permettent d'identifier une liste d'indicateurs probablement intéressants.

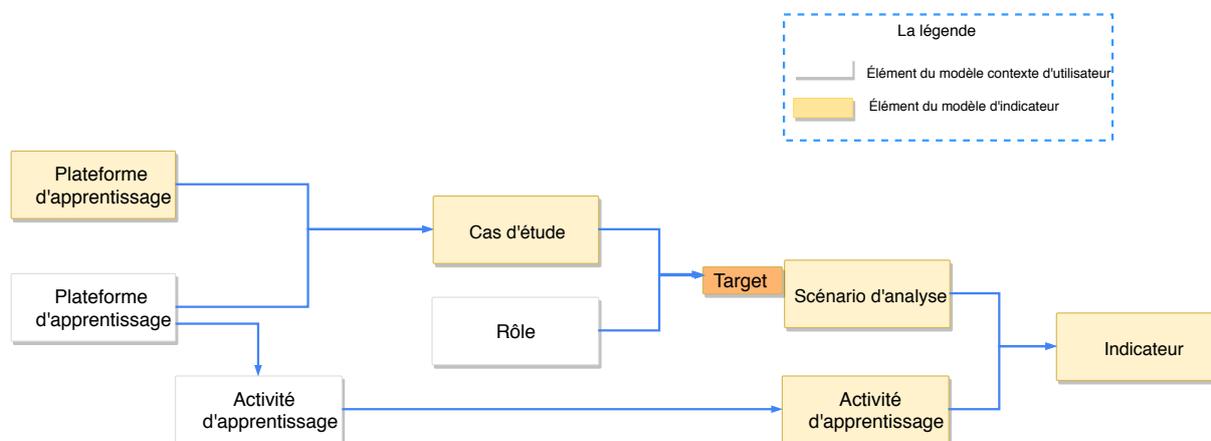


FIGURE 7.4 – Processus de sélection des indicateurs

7.1.3 Identification du patron

Le passage vers l'identification des indicateurs clés nécessite une identification du patron. Nous rappelons que chaque patron permet de décrire d'une manière générique les indicateurs clés et la structure d'un tableau de bord d'apprentissage. Le choix du patron est guidé par deux informations : la décision et les préférences des utilisateurs.

La décision est sélectionnée par l'utilisateur lui-même. À travers un questionnaire, l'utilisateur sélectionne tout d'abord l'objectif de la décision (*Purpose*) qu'il souhaite prendre au moment de la génération. Nous rappelons que dans notre travail, six objectifs sont identifiés (cf. section 6.1.2).

Ceci permet d'identifier un ou plusieurs patrons. En effet, les patrons proposent des descriptions différentes de décision en fonction du niveau de décision (stratégique, tactique et opérationnel).

Par la suite, l'utilisateur doit définir le niveau de décision. Ce niveau est complètement lié à l'identification de deux critères : l'horizon temporel (*Horizon*) et le niveau de détail (*Grain*) souhaité par l'utilisateur (cf. section 2.5). Par exemple, si le temps d'observation est annuel (*yearly*) et si la granularité (*grain*) équivaut au niveau d'analyse académique (*Academy*), le niveau de la décision sera défini comme un niveau stratégique.

À l'issue de la collecte de ces deux informations, le processus de génération permet de sélectionner un patron selon l'objectif et le niveau de la décision. Lorsque plusieurs patrons sont identifiés, le choix du patron est fait alors en fonction des préférences des utilisateurs. Les préférences ici sont liées principalement à la structure du tableau de bord d'apprentissage ainsi qu'aux choix des moyens d'interaction.

7.1.4 Identification des indicateurs clés

Sur la base de la description fournie par le patron retenu, le processus de génération doit vérifier si les indicateurs sélectionnés sont considérés comme des indicateurs clés ou non.

Cette étape nécessite l'application d'une règle de sélection. Elle repose sur deux modèles : l'indicateur et le patron du tableau de bord d'apprentissage.

Nous rappelons ici qu'un modèle de patron présente une liste de descripteurs permettant de filtrer et donc d'identifier des indicateurs clés (KPI) pour chaque décision. Ainsi, chaque indicateur clé est décrit par un type (*Type*) et un ensemble de dimensions d'indicateurs clés.

Nous définissons une règle de sélection de la façon suivante :
soient I un indicateur pré-sélectionné et Di ses dimensions.
Soient KPI un indicateur clé, Dkpi ses dimensions.

si $\exists (Type_I = Type_{KPI}) \wedge (Di_{Name} \in Dkpi_{Type}) \Rightarrow I = KPI$

Cette règle est basée sur une comparaison entre la description générique et spécifique dans les deux modèles. Tout d'abord, le processus de génération compare le type d'indicateur et l'indicateur clé. Ensuite, une comparaison entre la description des dimensions d'indicateur et d'indicateur clé dans les deux modèles est réalisée. En effet, le processus de génération doit accéder à la description de chaque dimension dans le modèle du patron, dans ce dernier elles sont décrites avec des termes génériques (*Type*). Nous utilisons des termes génériques afin d'assurer la réutilisation des patrons dans différents contextes indépendamment des indicateurs existants. Nous avons défini un ensemble de termes génériques comme le type (*Type*) : Personne, Activité, Contexte, Résultat, Contenu, Social (cf. tab. 5.2). Ensuite, le processus doit faire la correspondance entre ces termes génériques et les termes spécifiques liés à chaque indicateur. Cette correspondance est réalisée à l'aide d'une liste de vocabulaires (cf. fig. 7.5).

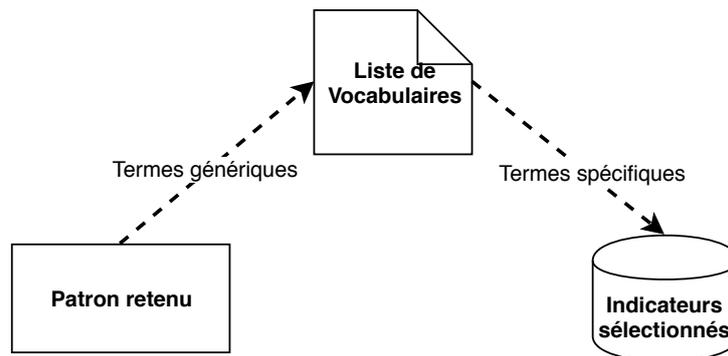


FIGURE 7.5 – Illustration de la correspondance entre les termes génériques et spécifiques

Dans le modèle d'indicateur, chaque dimension a un nom (*Name*). Tous ces noms sont enregistrés en tant que termes spécifiques. Chacun de ces noms est associé par la suite à des termes génériques (*Type*).

Nous présentons dans la figure 7.6 un exemple d'indicateur calculé dans le cadre du projet HUBBLE pour le cas d'étude TactileoMap. Cet indicateur comporte plusieurs dimensions. Par exemple, les dimensions "begin" et "end" sont définies comme des termes spécifiques qui sont étiquetés par un terme générique "Temps". Ces termes spécifiques sont enregistrés dans une liste de vocabulaire. Cette liste de vocabulaire précise pour chaque terme spécifique, des informations liées au contexte comme le cas d'étude et le scénario d'analyse.

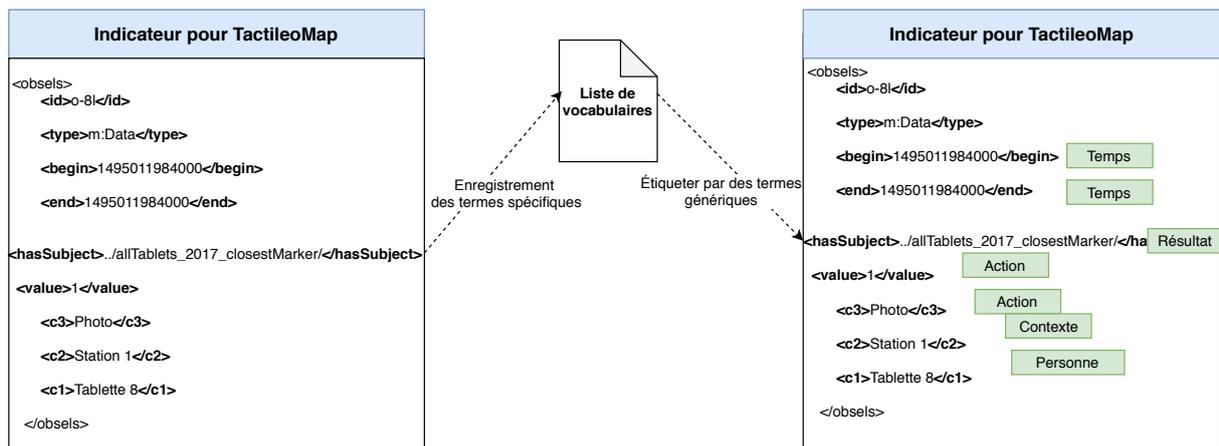


FIGURE 7.6 – Exemple d'indicateur étiqueté

Un indicateur peut être identifié comme un indicateur clé seulement si celui-ci comporte des dimensions qui correspondent aux termes génériques recherchés.

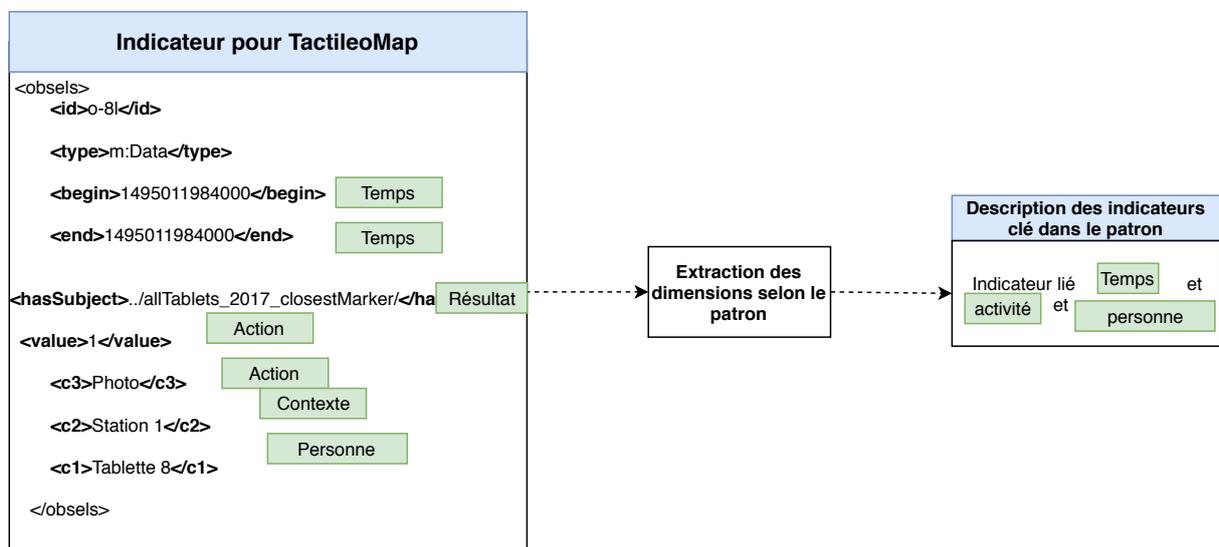


FIGURE 7.7 – Illustration d'extraction des dimensions

Prenons l'exemple de TactileoMap, le patron indique la description générique d'un indicateur lié au temps, au contexte et à la personne, ce qui permettra la prise en compte de l'indicateur présenté dans la figure 7.7. Par conséquent, le processus affiche principalement les trois dimensions ayant les termes spécifiques équivalents c'est-à-dire "begin" et "end", "c3" et "c1" qui représentent respectivement temps, activité et personne.

À l'issue de cette étape, des indicateurs clés sont sélectionnés.

À ce stade, il est important de mettre en œuvre un processus d'organisation. Ce qui fait l'objet de la deuxième étape liée à l'organisation du tableau de bord d'apprentissage.

7.2 Étape 2 : l'organisation des indicateurs clés

L'organisation des indicateurs clés est l'un des facteurs les plus importants impliqués dans la conception de tout tableau de bord. Le défi fondamental ici est d'organiser tous les indicateurs clés nécessaires sur un seul écran, clairement et sans distraction, d'une manière assimilable rapidement. L'idée est que l'étape d'organisation serve de support à

la compréhension. Elle peut complètement dicter la manière dont les utilisateurs voient et interprètent les indicateurs qui leur sont présentés. Par ailleurs, les indicateurs clés qui se rapportent les uns aux autres doivent généralement être placés à proximité les uns des autres de manière à soutenir cette séquence d'attention visuelle [Few, 2013].

Nous consacrons donc cette étape à l'organisation des indicateurs clés afin de favoriser la prise de la décision. Cette étape est une mise en lien direct avec le modèle de composition du tableau de bord d'apprentissage (cf. section 6.4.1). L'objectif est d'organiser tout d'abord les indicateurs clés en vues et sections. Ceci nécessite l'application d'un ensemble de règles d'organisation qui ont pour rôle de définir la structure générale du tableau de bord d'apprentissage tout en spécifiant les différentes relations entre les indicateurs clés.

Le choix de ces relations est inspiré de la théorie de la structure rhétorique (RST). Cette théorie a été développée dans le cadre des études sur la génération automatique de texte. Elle aborde l'organisation du texte au moyen de relations entre les composants du texte. La génération de tableaux de bord d'apprentissage comme la génération de textes nécessite la production d'un ensemble de composants. Par ailleurs, l'application de ces relations permet de faciliter l'explication de l'organisation entre les composants en formant une structure hiérarchique et connectée [Mann et Thompson, 1988].

En se basant sur notre modèle d'indicateur, la définition des relations est effectuée d'un côté sur le contexte de calcul des indicateurs clés et de l'autre côté sur la sémantique et les caractéristiques techniques des indicateurs.

Nous retenons principalement six relations :

- (R1) Relation de contexte de calcul : elle définit le contexte de calcul des indicateurs propre au projet HUBBLE.
- (R2) Relation de circonstance : elle définit la source des indicateurs. Elle relie les indicateurs clés décrivant la même activité d'apprentissage ensemble.
- (R3) Relation de proximité : elle permet d'assurer une organisation inter-sections.
- (R4) Relation de continuité : elle assure une continuité de lecture entre les indicateurs. Nous présentons les indicateurs clés ayant les mêmes dimensions de manière alignée et continue.
- (R5) Relation d'arrière-plan : elle permet de positionner les indicateurs clés qui fournissent un résumé avant les autres indicateurs.
- (R6) Relation de précision (Background/details) : elle permet de relier des indicateurs clés ayant des niveaux de détails différents.

Nous illustrons dans la figure 7.8 l'étape de l'organisation.

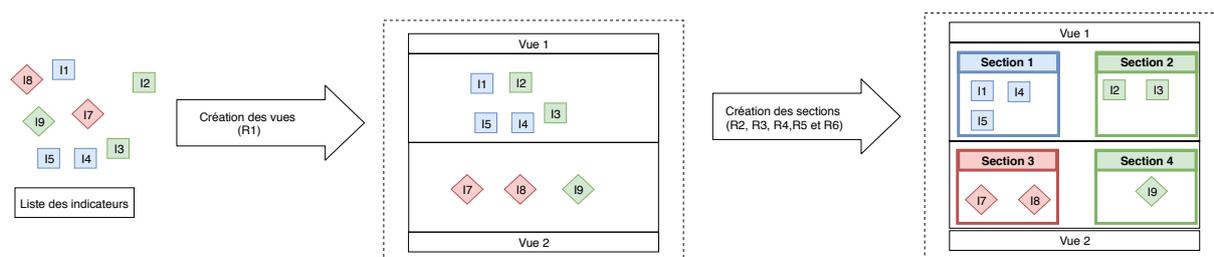


FIGURE 7.8 – Illustration de l'organisation des indicateurs clés en vues et sections

7.2.1 Création des vues du tableau de bord d'apprentissage

Le premier regroupement correspond à la création des vues dans un tableau de bord d'apprentissage. Chaque vue est constituée en prenant en compte le contexte de calcul des indicateurs. Comme nous l'avons défini auparavant, les indicateurs clés sélectionnés sont issus du même scénario d'analyse, où ils sont destinés à répondre à un objectif d'analyse spécifique. Les analystes ont formulé différentes problématiques en fonction de l'objectif d'analyse visé.

Suivant la même logique, nous organisons les indicateurs clés en respectant les problématiques formulées. L'objectif est d'offrir à l'utilisateur une vision complète sur le contexte de calcul des indicateurs clés par vue.

Le processus de génération regroupe donc l'ensemble des indicateurs clés qui répondent à la même problématique dans la même vue. Nous appliquons ici la règle de contexte de calcul (R1). Nous définissons cette règle de la façon suivante :

Soient I l'ensemble d'indicateurs clés identifiés, P l'ensemble des problématiques de calcul, V l'ensemble des vues, Sc un scénario d'analyse et $Sc(o)$ l'objectif du scénario d'analyse S .

Soient i_1 et $i_2 \in I$, $p \in P$ et $v \in V$.

Si i_1 et $i_2 \in p \Rightarrow i_1$ et $i_2 \in v$.

Nous illustrons dans la figure 7.9 l'application de la règle de contexte de calcul (R1)

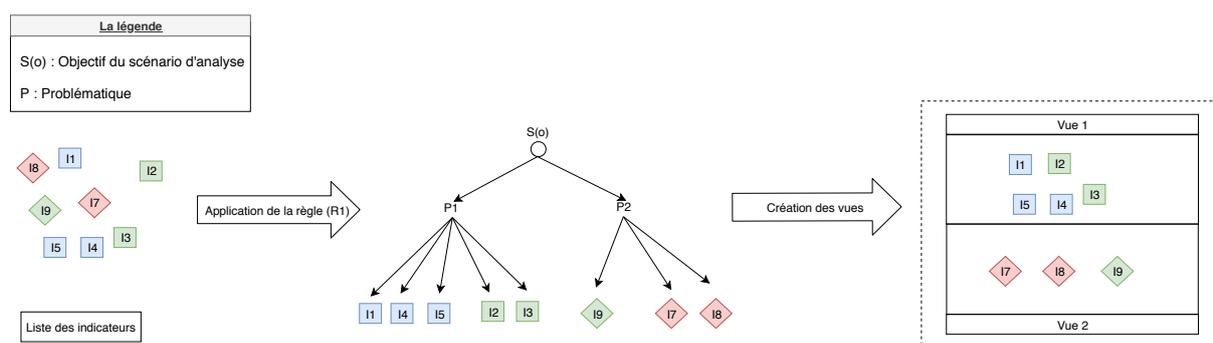


FIGURE 7.9 – Illustration de la création des vues (R1)

7.2.2 Création des sections du tableau de bord d'apprentissage

Le deuxième regroupement est dédié à la création et à l'organisation des sections au sein de chaque vue. Nous appliquons alors un ensemble de règles sur les indicateurs clés appartenant à chaque vue pour mettre en avant certaines relations. Ces relations permettent de regrouper les différents indicateurs clés et permettent de créer des sections au fur à mesure dans le tableau de bord d'apprentissage.

Pour l'ensemble de règles, soit S sont les sections

Relation de circonstance (R2)

D'après Few [2013], en informatique décisionnelle, l'organisation nécessite de former des groupes d'indicateurs clés alignés selon les activités d'une entreprise.

Suivant la même logique, nous organisons les indicateurs clés provenant de la même activité d'apprentissage dans la même section. Nous illustrons dans la figure 7.10 la création des sections. Nous appliquons ici une règle de circonstance (R2).

La légende	
S(o)	: Objectif du scénario d'analyse
P	: Problématique
A	: Activité d'apprentissage

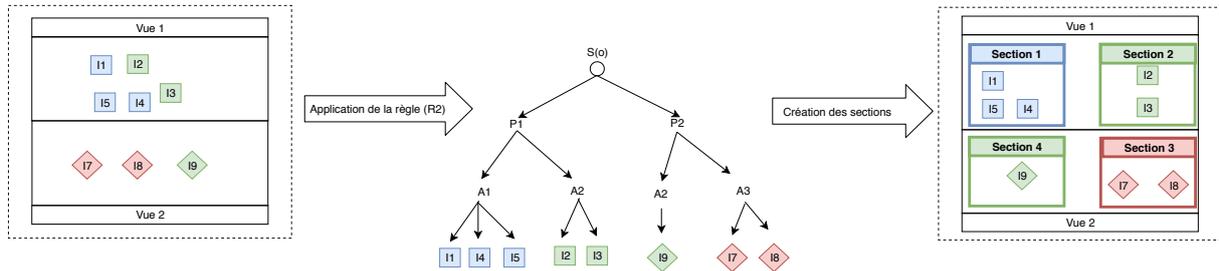


FIGURE 7.10 – Illustration de la création des sections (R2)

Relation de proximité (R3)

Après la création des sections, il est intéressant de les organiser entre elles pour assurer une cohérence entre les indicateurs clés qu'elles contiennent.

En effet, les sections permettent de rapprocher certains indicateurs clés ensemble. Cependant, celles-ci ne permettent pas de regrouper ensemble tous les indicateurs clés répondant à la fois à la même problématique et provenant de la même activité d'apprentissage. Dans l'exemple illustré (cf. fig. 7.11), les indicateurs I2, I3 et I9 sont issus de la même activité d'apprentissage, mais ils ne répondent pas à la même problématique. Ils sont alors dans des vues différentes mais la proximité liée à la même activité d'apprentissage nous amène à rapprocher visuellement les sections.

Nous mettons alors en place une relation de proximité permettant une organisation inter-sections. Cette relation permet de positionner les sections contenant des indicateurs clés issus de la même activité d'apprentissage à proximité, l'une à côté de l'autre.

Nous illustrons dans la figure 7.11 l'application de la règle de proximité (R3).

La légende	
S(o)	: Objectif du scénario d'analyse
P	: Problématique
A	: Activité d'apprentissage

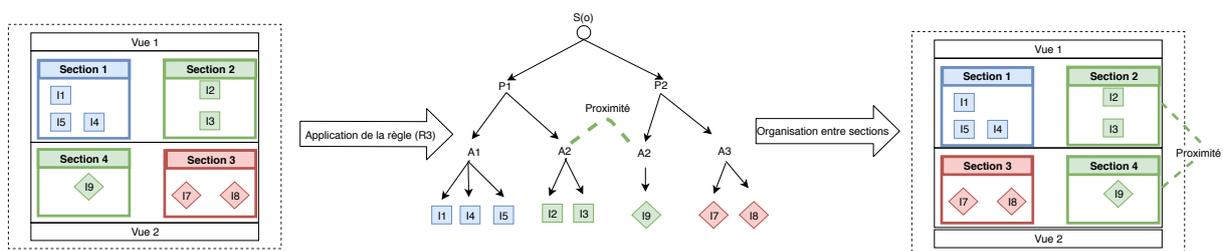


FIGURE 7.11 – Illustration de l'organisation inter-sections (R3)

Relation de continuité (R4)

Nous organisons aussi les indicateurs clés en fonction de leur sémantique et leurs caractéristiques techniques. Nous considérons une règle de continuité (R4) permettant de positionner un groupe d'indicateurs clés ayant les mêmes dimensions d'indicateurs clés l'une à côté de l'autre. Cette relation peut être présentée à la fois entre des indicateurs intra-section et inter-sections.

Nous définissons cette règle comme suit :

Soit D l'ensemble des dimensions d'un indicateur clé et $d \in D$.

$\exists i_1 \text{ et } i_2 \subset d \Rightarrow i_1 \text{ et } i_2 \in s$.

Par exemple, si deux indicateurs clés représentent une dimension temporelle, ces derniers doivent être regroupés l'un à côté de l'autre afin de favoriser la comparaison des données et d'avoir une vue complète sur une période bien déterminée.

L'aspect sémantique consiste à traiter les mêmes types d'information. Alors que l'aspect technique consiste à avoir les mêmes dimensions pour que les indicateurs clés soient comparables.

Les dimensions comparées doivent être alignées et présentées de la même manière pour faciliter la lecture des indicateurs. Nous illustrons dans la figure 7.12 deux applications de cette règle : une application intra-section et l'autre inter-sections.

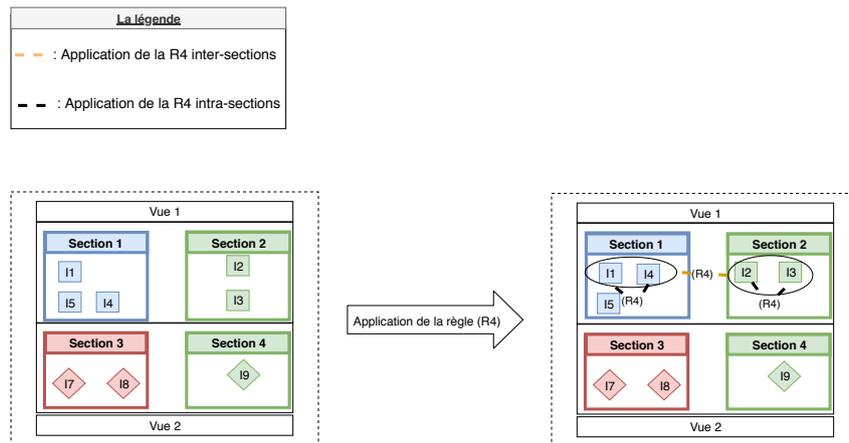


FIGURE 7.12 – Illustration de l'application de la règle de continuité (R4)

Comme présenté dans la figure 7.12, les deux indicateurs clés I1 et I4 partagent des dimensions en commun, la règle R4 doit être appliquée dans le but d'aligner les indicateurs clés et de faciliter la lecture. Suivant la même logique, les indicateurs clés I2 et I3 seront aussi alignés l'un à côté de l'autre. En appliquant la même règle, les indicateurs clés I1, I4, I2 et I3 partagent des dimensions en communs. Les quatre indicateurs clés doivent être alignés les uns à côté des autres.

Relation d'arrière-plan (R5)

Comme dans le cadre de la théorie de la structure rhétorique, certains indicateurs clés proposent une vision globale qui résume d'autres indicateurs clés. Généralement, ce sont les indicateurs clés textuels présentant une seule mesure (par exemple, le nombre total d'actions effectuées) qui servent à faciliter la lecture et la compréhension.

Tout indicateur clé fournissant des résumés doit être placé avant les autres indicateurs clés dans le tableau de bord d'apprentissage. L'idée est d'assurer une organisation graduée des indicateurs clés : des moins détaillés aux plus détaillés [Few, 2013].

Relation de précision (Background/details) (R6)

L'application d'une règle de précision permet de présenter les mêmes indicateurs clés avec des niveaux de détails différents. Cette relation est généralement présente dans les tableaux de bord opérationnels [Rahman *et al.*, 2017].

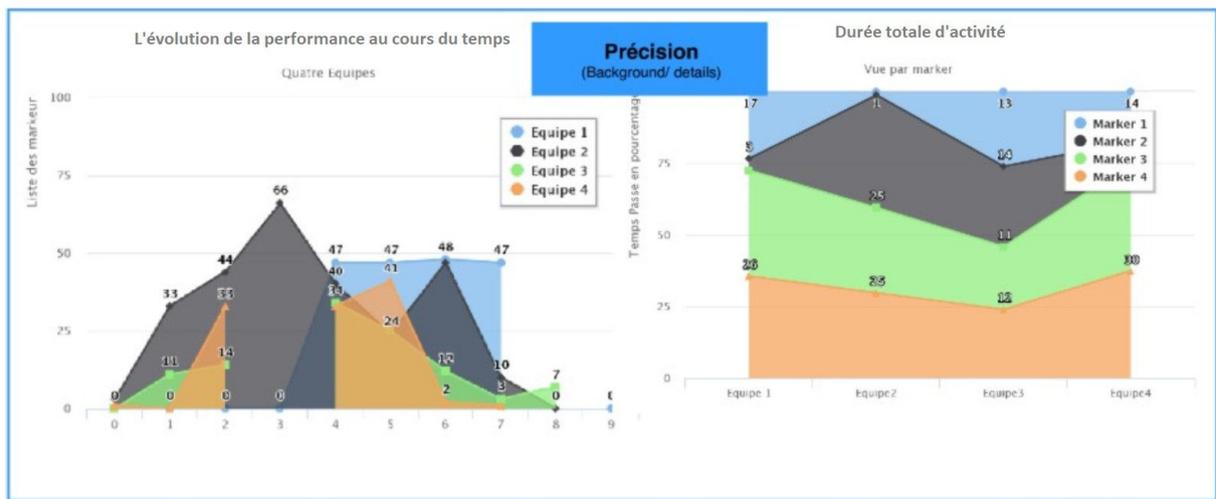


FIGURE 7.13 – Exemple d'application de la règle de précision (R6)

À l'aide de ces règles d'organisation, le tableau de bord d'apprentissage passe d'une simple présentation de l'information (ce que nous considérons comme une exigence minimale pour le tableau de bord d'apprentissage) à un outil d'aide à la prise de décision.

D'après Few [2013], les indicateurs clés seuls n'abordent pas les relations de cause à effet. L'idée donc de ces règles d'organisation est de mettre en avant ces relations. Le but est d'aller plus loin dans la compréhension des indicateurs. En effet, le simple fait de présenter des séries de mesures dans un moyen de visualisation ne suffit pas. Nous permettons, à travers ces relations, de raconter une histoire continue basée sur les besoins de l'utilisateur et sa décision.

7.3 Étape 3 : l'instanciation du tableau de bord d'apprentissage

L'organisation issue de l'étape précédente ne reflète pas l'état final du tableau de bord d'apprentissage. En effet, l'étape d'organisation permet de définir une structure générale d'un tableau de bord d'apprentissage. Cette structure est organisée principalement par rapport au choix des patrons qui qualifient les indicateurs en indicateurs clés. À ce stade, le tableau de bord d'apprentissage est général donc il peut être réutilisable entre les utilisateurs ayant les mêmes rôles et étant intéressés par le même type de décision. Cependant, ce type de structure limite l'appropriation d'un tableau de bord d'apprentissage par un utilisateur bien précis, c'est pour cela que nous allons l'adapter aux préférences des utilisateurs et au niveau de décision requis et atteindre une structure sur mesure.

La figure 7.14 présente la séquence d'étapes pour l'instanciation du tableau de bord d'apprentissage.

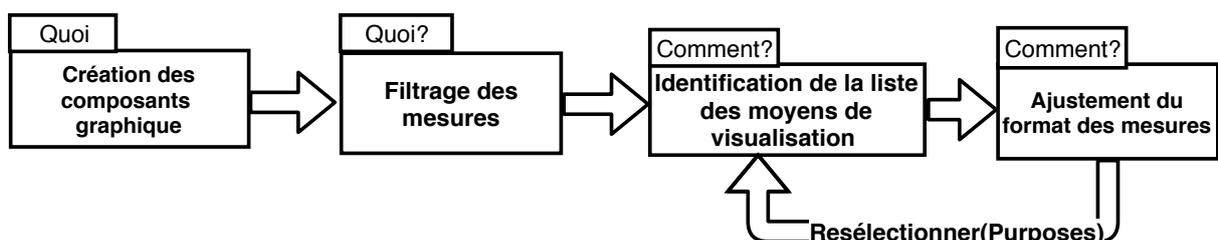


FIGURE 7.14 – Étape 3 : l'instanciation du tableau de bord d'apprentissage

7.3.1 Création des composants graphiques

Chaque section présente un ou plusieurs indicateurs clés. Généralement, chaque indicateur clé est représenté dans un composant graphique. Dans certains cas, un indicateur clé peut être réparti et présenté en plusieurs composants graphiques afin de faciliter sa représentation. Pour cela nous proposons une règle de répartition (R7). Il s'agit de diviser les mesures d'un indicateur clé en différentes parties.

Cette règle est appliquée principalement dans deux cas :

- le premier cas concerne un besoin de comparer plusieurs groupes de mesures. D'après Few [2013], les mesures deviennent plus pertinentes lorsqu'on les compare à d'autres mesures. Cette règle de répartition est appliquée seulement si trois conditions sont remplies.
 - La première condition est liée à l'objectif d'indicateur clé. La règle de répartition peut être appliquée si l'objectif est lié à la comparaison. En cas de comparaison, les mesures fournies par l'indicateur clé peuvent être réparties selon une seule dimension d'indicateur. Le choix de la dimension d'indicateur clé est fait en fonction du point d'intérêt du tableau de bord d'apprentissage.
 - La deuxième condition est liée au niveau de granularité. Cette dimension d'indicateur clé doit avoir des niveaux de granularité différents.
 - La troisième condition est liée au nombre de répartitions à présenter. La quantité de mesures présentées par cette dimension ne doit pas être volumineuse. Nous choisissons de fixer le nombre maximal des répartitions à huit répartitions, dont quatre répartitions affichées dans chaque ligne. Le choix est motivé principalement par un besoin de simplicité et par le fait d'assurer une lisibilité des données sur écran.

Nous présentons dans la figure 7.15 un exemple de répartition d'un indicateur en deux composants. Les deux composants sont présentés l'un à côté de l'autre dans la même section pour assurer la continuité de la lecture des mesures.

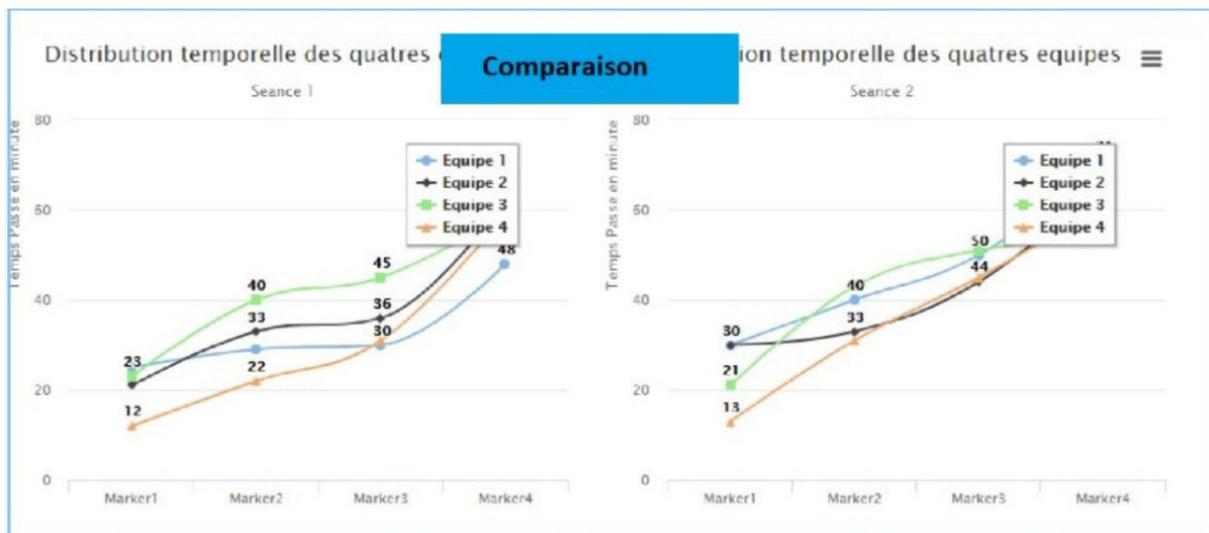


FIGURE 7.15 – Résultat d'application de la règle de répartition (R7)

Dans cet exemple, l'indicateur a quatre dimensions : marqueur (Contexte), équipe (Personne), temps passé en minute (Temps) et séance (Temps). L'objectif de

l'indicateur est de démontrer une comparaison entre deux séances. Par ailleurs, la première condition est vérifiée. Ainsi, l'objectif de la décision est le suivi de performance des équipes au cours du temps. La répartition des mesures doit être appliqué par rapport une dimension temporelle. Dans notre exemple, nous avons deux dimensions temporelles : le temps passé en minute et la séance. Le choix de la dimension est défini par rapport à la quantité de mesures. Nous précisons que la séance et le temps passé en minutes sont deux niveaux de granularité de la même dimension, mais avec des niveaux de granularité différents. Nous choisissons donc de répartir l'indicateur selon la séance.

- le deuxième cas est lié à des raisons techniques. Dans certains cas, un indicateur peut présenter de trop nombreuses dimensions. Dans notre contexte de travail, nous employons un ensemble de moyens de visualisation correspondant à ceux qui sont les plus utilisés dans les tableaux de bord d'apprentissage [Schwendimann *et al.*, 2017]. Cependant, ces moyens de visualisation ne peuvent pas présenter plus de quatre dimensions. Pour résoudre ce problème, nous faisons appel à une visualisation par tableau, si le tableau de bord d'apprentissage est de niveau opérationnel [Rahman *et al.*, 2017] et/ou si la visualisation par tableau est définie comme une préférence utilisateur. Dans le cas inverse, nous appliquons une répartition d'indicateurs en plusieurs composants.

La règle de répartition est appliquée de deux façons différentes :

1. Si l'objectif d'indicateur est la comparaison, nous répartissons l'indicateur tout en fixant certaines dimensions et en pivotant d'autres. L'idée est de pouvoir, par la suite, comparer les composants selon les dimensions fixes. Cette répartition permet d'assurer une continuité de lecture des données d'un composant à un autre.

soit s est une section.

Soit D l'ensemble des dimensions d'un indicateur I ayant un objectif (o) de type comparaison :

Soient $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 \in D$ et soit i_1 et $i_2 \in I$.

Soit $I(D) \geq 5$ et $d \subseteq d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 \wedge I(o) = \text{"comparaison"} \Rightarrow i_1(d_1, d_2, d_3) \wedge i_2(d_1, d_2, d_4) \wedge i_2(d_1, d_2, d_5) \in s$;

2. Sinon, nous appliquons ici une répartition

Soit $I(D) \geq 5$ et $d \subseteq d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 \Rightarrow i_1(d_1, d_2, d_3) \wedge i_2(d_1, d_4, d_5) \in s$; sachant que d_1 est équivalent au point d'intérêt du tableau de bord d'apprentissage.

7.3.2 Filtrage des mesures

L'étape de filtrage a pour but d'affiner les ensembles de mesures en fonction des besoins d'un utilisateur, sans inclure d'autres mesures qui pourraient être répétitives ou non pertinentes.

En effet, à l'issue de l'identification du niveau de la décision, le processus de génération filtre les mesures de chaque indicateur clé en fonction de l'horizon temporel (*horizon*) et du niveau de granularité (*Grain*). Ces deux éléments influencent le niveau de détail. Le processus de génération prépare ainsi les indicateurs clés pour l'étape suivante. Durant cette étape, une règle d'agrégation peut être appliquée.

Une règle d'agrégation (R8) permet d'associer différentes mesures du même indicateur clé et de les présenter ensemble dans le même composant.

Cette règle est appliquée dans le cas du tableau de bord stratégique ou tactique afin de fournir une vision peu détaillée des indicateurs clés.

Elle repose sur un cumul des mesures selon une dimension d'indicateur clé. L'application de cette règle nécessite qu'une dimension d'indicateur clé soit définie selon plusieurs niveaux de granularité.

Prenons l'exemple de l'indicateur présenté dans le tableau 7.1 :

Minutes	4	6	15	25	30	150	300
Actions	1	3	1	2	4	2	5

Séances	1	2	3	4
Actions	4	3	6	7

Année	1	2
Actions	7	13

TABLE 7.1 – Exemple d'indicateur avec trois niveaux de granularité différents

Dans cet exemple, la dimension temps présente les mesures en minutes. Si le tableau de bord d'apprentissage à générer est stratégique, la règle d'agrégation sera appliquée tout en permettant de passer à une présentation des mesures en séances ou années. Cette règle additionne la mesure pour effectuer l'agrégation.

Règle de fusion (R9) : elle est appliquée pour obtenir une vision d'ensemble (comme dans le cas de tableaux de bord stratégiques). Contrairement à la règle de répartition, une règle de fusion est appliquée pour associer différents indicateurs ayant des dimensions en communs. Nous présentons dans le tableau 7.2 un exemple d'application de la règle de fusion.

Indicateur 1

Équipe	Nombre d'actions	Temps passé en minutes
Équipe 1	40	32
Équipe 2	20	33

Indicateur 2

Équipe	Nombre d'actions	Temps passé en minutes
Équipe 3	23	24
Équipe 4	45	37

Résultat de combinaison

Équipe	Nombre d'actions	Temps passé en minutes
Équipe 1	40	32
Équipe 2	20	33
Équipe 3	23	24
Équipe 4	45	37

TABLE 7.2 – Exemple d'application de la règle de fusion (R9)

Si les deux indicateurs clés ont exactement les mêmes dimensions et une faible quantité de mesure (deux mesures pour cet exemple), cette règle est appliquée.

7.3.3 Identification de la liste des moyens de visualisation possibles

Le choix de chaque moyen de visualisation peut aider les utilisateurs à obtenir des informations différentes à partir de différentes dimensions [Abela, 2006]. Par exemple, les diagrammes linéaires (courbe, etc.) permettent d'observer les tendances basées sur les séquences temporelles, les diagrammes circulaires permettent de comparer les proportions des différents éléments et les diagrammes de dispersion aident à découvrir les différents clusters.

La sélection des moyens de visualisation est basée sur différents critères. Tout d'abord, le processus compare les descriptions des indicateurs clés avec celles des moyens de visualisation comme leurs dimensions et le nombre de mesures à visualiser. Comme présenté auparavant dans l'étape de modélisation (cf. chapitre 6), les indicateurs et les moyens de visualisation peuvent être de différentes dimensions. Par ailleurs, un indicateur ne peut être représenté que par des moyens de visualisation de même dimension que lui.

Deuxièmement, le choix d'un moyen de visualisation devrait être facilement compris par les utilisateurs et devrait représenter l'information de manière significative pour répondre aux besoins de l'utilisateur en lui fournissant des composants visuels familiers. Une adaptation selon les préférences des utilisateurs est alors requise. Présenter un mauvais graphique visuel ou fournir un type de visualisation sophistiqué à un utilisateur débutant, par exemple, peut entraîner une mauvaise interprétation des indicateurs. Par ailleurs, le processus de génération doit vérifier la préférence de l'utilisateur où la liste des moyens de visualisation sera hiérarchisée en fonction de ses préférences.

Ensuite, le processus vérifie le niveau de décision associé au tableau de bord d'apprentissage. En effet, chaque niveau de décision du tableau de bord d'apprentissage est associé à une liste de moyens d'interaction et de fonctionnalités visuelles [Rahman *et al.*, 2017]. Le processus de génération met l'accent sur le moyen de visualisation qui offre les moyens d'interactions conformes au niveau de décision. L'interaction dans le contexte de la visualisation des indicateurs et de l'information est un mécanisme permettant de modifier ce que les utilisateurs voient et comment ils le voient [Ward *et al.*, 2015]. Il existe de nombreux moyens d'interaction notamment :

- Le drill down qui donne la possibilité de passer de l'affichage d'une vision synthétique à une vision avec des détails supplémentaires fournissant plus de contexte.
- Les filtres : les utilisateurs peuvent contrôler les mesures en réduisant la quantité, en éliminant soit des mesures, soit les dimensions ou les deux.
- L'export / l'impression : donne aux utilisateurs la possibilité d'extraire des informations d'un tableau de bord d'apprentissage et d'exporter vers des formats comme Excel et CSV plutôt que PDF qui permettent aux utilisateurs de faire plus de traitement sur les indicateurs.

L'intérêt porté aux moyens d'interactions et aux fonctionnalités visuelles permet de différencier un tableau de bord d'apprentissage, d'offrir à l'utilisateur un contrôle du tableau de bord d'apprentissage et de rendre l'exploration des indicateurs complexes rapide et facile à comprendre et à parcourir. En interagissant avec les indicateurs, de nombreuses informations peuvent être évaluées, ce qui permet d'encourager l'utilisateur à la prise d'une décision [Packham *et al.*, 2004].

Finalement, dans le cas où il y a plus d'un moyen de visualisation pour chaque indicateur clé, le processus sélectionne un moyen de visualisation par défaut.

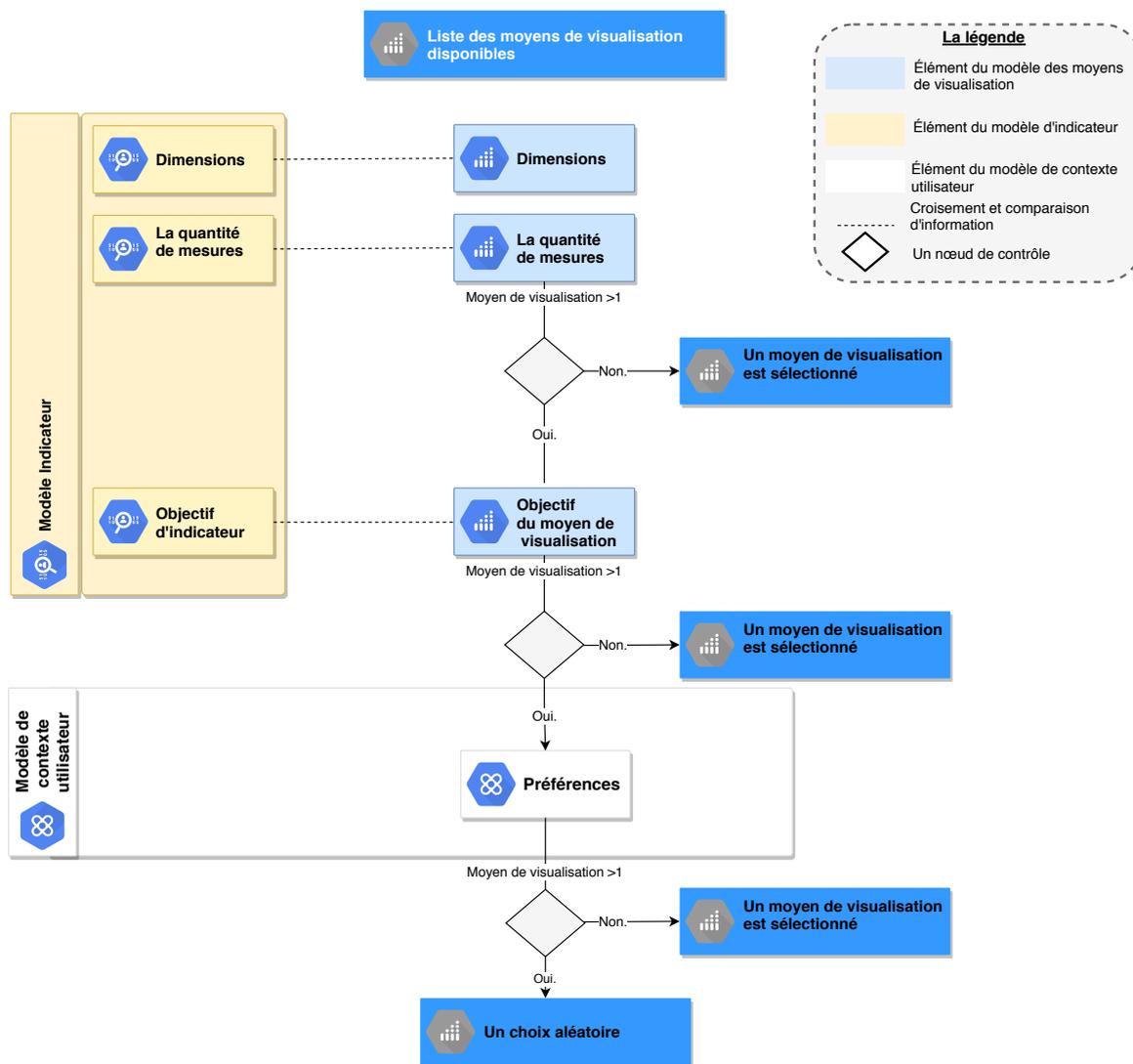


FIGURE 7.16 – Illustration de la sélection des moyens de visualisation

7.3.4 Présentation du tableau de bord d'apprentissage

La figure 7.16 illustre la sélection des moyens de visualisation. Cette sélection est représentée par un croisement entre les informations fournies dans le modèle d'indicateurs comme les dimensions, la quantité de mesure ou l'objectif d'indicateur, avec les préférences des utilisateurs fournies par le modèle de contexte utilisateur.

Finalement, si une règle de répartition ou une règle de continuité est appliquée, l'ensemble des composants graphiques doit être présenté par le même moyen de visualisation afin d'assurer une continuité de lecture d'un indicateur clé (cf. fig. 7.15).

7.3.5 Ajustement du format des mesures

L'étape d'ajustement est exécutée automatiquement par le système. Étant donné que chaque moyen de visualisation a des exigences de formats de données différents, il est nécessaire d'adapter la mesure des indicateurs clés en fonction de ces exigences.

Ensuite, les mesures peuvent être retraitées individuellement selon le format requis. En cas d'échec, le processus sélectionne à nouveau un autre moyen de visualisation, ce qui signifie qu'il partage le même objectif que le premier moyen de visualisation sélectionné. Par exemple, lorsque la mesure représente l'évolution temporelle, mais que le moyen de

visualisation choisi est un diagramme à barres plutôt qu'un diagramme chronologique. Le processus re-sélectionne un autre moyen de visualisation qui partage le même objectif de représentation de l'évolution temporelle que le diagramme à barres.

Une fois que les mesures sont ajustées en fonction du format, elles sont envoyées aux algorithmes des moyens de visualisation correspondants.

Ainsi, le processus s'efforcera de remplir chaque composant graphique avec ses données respectives : les mesures et les dimensions.

les composants graphiques sont présentés dans le tableau de bord d'apprentissage en respectant les positions définies durant l'étape d'organisation. Les moyens de visualisation sont également sélectionnés et intégrés dans la structure du tableau de bord d'apprentissage qui va être généré. Les moyens de visualisation sont sélectionnés pour chaque indicateur retenu ; mis en cohérence avec les autres moyens de visualisation des autres indicateurs de la même section ; mis en cohérence avec le patron retenu ; hiérarchisés en fonction des préférences utilisateur. Finalement, les moyens de visualisation sont alimentés par les mesures. Les dimensions de l'indicateur sont présentées dans le moyen de visualisation. La dimension qui est considérée principale selon le patron (point d'intérêt principal) doit apparaître facilement pour l'utilisateur, ceci permet d'orienter la perception de l'utilisateur. Autrement dit, la dimension principale doit être présentée dans l'axe des abscisses afin de permettre à l'utilisateur de juger les mesures en fonction de cette dimension. Sinon, nous devons proposer une répartition d'un indicateur en plusieurs graphiques où chaque répartition fournit des données autour d'un point d'intérêt principal (cf. fig. 7.17).

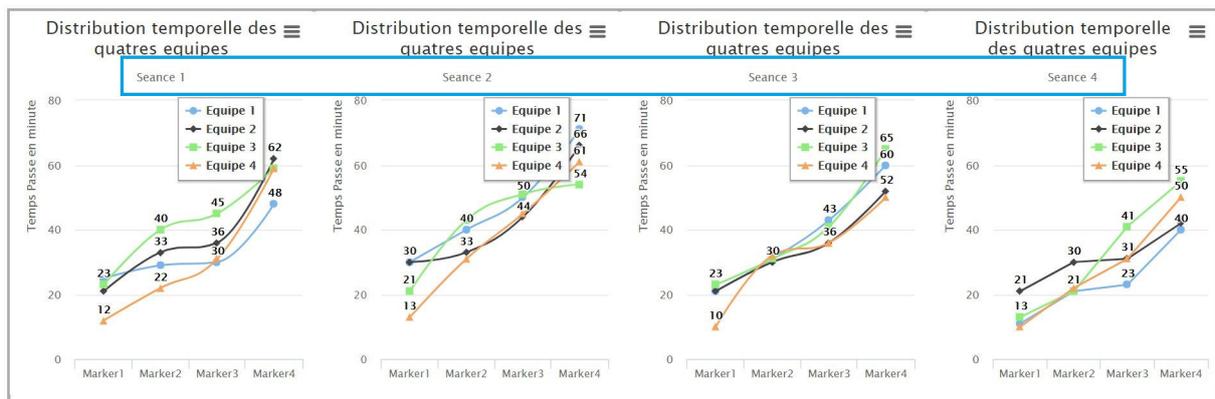


FIGURE 7.17 – Exemple d'un indicateur réparti en quatre composants graphiques (*widget*)

Le tableau de bord d'apprentissage peut alors être visualisé par l'utilisateur.

7.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous proposons un processus de génération des tableaux de bord d'apprentissage, qui vise à aider les utilisateurs à prendre une décision. Ce processus permet de générer automatiquement des tableaux de bord d'apprentissage sur mesure. Le processus est organisé autour des dimensions de conception "Qui ?, Pourquoi ?, Quoi ?, Comment ?, Quand ? et Où ?", les modèles et des règles de génération. Nous proposons de suivre trois étapes :

- une étape d'identification des indicateurs qui permet de sélectionner l'ensemble des indicateurs clés en fonction de la description d'un patron.

- une étape d'organisation qui permet d'organiser les indicateurs clés d'une manière conforme au modèle de composition. L'organisation est réalisée à travers l'application d'un ensemble de règles d'organisation.
- une étape d'instanciation qui a pour but de faciliter l'appropriation du tableau de bord d'apprentissage par l'utilisateur.

Dans le prochain chapitre, nous présentons une instrumentation et une mise en œuvre d'un générateur de tableau de bord d'apprentissage fondé sur le cadre proposé. Dans un premier temps, nous donnons un aperçu de l'architecture générale. Ensuite, nous présentons les fonctionnalités détaillées et les interfaces associées et expliquons les processus supportés par le processus de génération.

Troisième partie

Mise à l'essai et évaluation

Chapitre 8

Architecture du générateur de tableaux de bord d'apprentissage

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé un cadre de spécification du processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage. Cette spécification est basée sur le processus de génération en trois étapes : l'identification, l'organisation, et l'instanciation du tableau de bord d'apprentissage.

Nous consacrons ce chapitre à l'instrumentation et à la mise en oeuvre d'un générateur de tableau de bord d'apprentissage. Dans un premier temps, nous donnons un aperçu de l'architecture générale. Ensuite, nous présentons les fonctionnalités détaillées et les interfaces associées puis nous expliquons le prototype instrumentant le processus de génération.

8.1 Architecture du générateur de tableaux de bord d'apprentissage

Afin d'instrumenter le processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage, nous mettons en place un prototype dont nous présentons l'architecture dans cette section. L'objectif est de démontrer la faisabilité de la génération dynamique d'un tableau de bord d'apprentissage adapté aux besoins des utilisateurs.

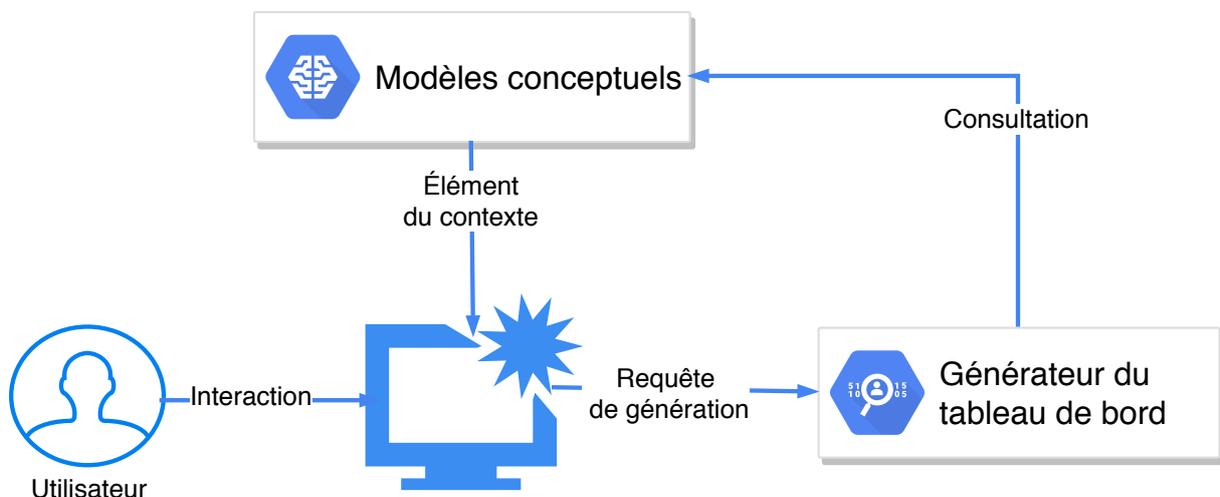


FIGURE 8.1 – Architecture du prototype

Le prototype que nous appelons "*HubbleBoard Generator*" est décrit par trois éléments

essentiels (cf. fig. 8.1) : un ensemble d'instances de modèles conceptuels, un questionnaire et un générateur.

- Les modèles conceptuels exploités sont : le modèle du contexte utilisateur, le modèle d'indicateur, le modèle des moyens de visualisation et le modèle de patron. Les instances de ces modèles représentent une base d'information nécessaire pour la génération automatique.
- Une interface utilisateur est présentée sous la forme d'un questionnaire. Elle fournit à l'utilisateur la possibilité de préciser le contexte d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage. Le résultat de l'interaction avec le questionnaire constitue une demande de génération.
- Un générateur produit dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage. Il prend comme entrée des éléments définissant le contexte d'utilisation recueillis à partir du questionnaire.

Le générateur est composé de deux parties : un moteur de création et un moteur de transformation.

1. le moteur de création génère un fichier de description générique d'un tableau de bord d'apprentissage. Ce fichier liste les indicateurs et les moyens de visualisation associés et précise comment les organiser. La création automatique de ce fichier permet la réutilisation du tableau de bord d'apprentissage dans le cas où un utilisateur n'a pas changé sa demande de génération. L'idée est d'éviter de passer une nouvelle fois par l'étape de génération du tableau de bord d'apprentissage.
2. Le moteur de transformation prend par la suite en entrée ce fichier de description afin d'instancier l'ensemble des composants graphiques du tableau de bord d'apprentissage.

8.1.1 Modèles conceptuels

Les modèles conceptuels représentent les différentes entrées vers le générateur. Nous choisissons d'exprimer ces modèles à l'aide de schémas XML stockés dans une base de données XML, pour les raisons suivantes :

- les modèles sont semi-structurés. Ils comportent des textes et leurs structures ont des formats différents. Par rapport à une base de données relationnelle, le format XML peut mieux soutenir les données textuelles qui sont moins structurées.
- XML a des balises sémantiques pour représenter la signification des données. C'est donc plus pratique pour une analyse et un traitement automatique par le générateur.
- l'utilisation de XML ne nous limite pas à un choix d'architecture, il est maintenant possible d'intégrer et d'importer des données XML dans la plupart des outils de gestion de données. Ce choix technique est basé sur le prototypage rapide avec les outils que nous utilisons régulièrement. Cela permet, d'un côté, de diminuer le temps de réponse pour accéder et afficher des données et d'un autre côté, de faire évoluer nos modèles d'information avec de nouveaux éléments.

Les différentes entrées sont considérées comme des pré-requis pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage. La description de ces entrées est fournie par deux acteurs principaux, les analystes et les utilisateurs des tableaux de bord d'apprentissage :

- Les analystes doivent fournir des descriptions sur les indicateurs en respectant notre modèle d'indicateur présenté dans la section 6.2. Cette description inclut principalement une description du contexte de calcul des indicateurs comme le scénario d'analyse, le cas d'étude associé, l'activité d'apprentissage ainsi que des descriptions techniques facilitant leur exploitation par la suite.
- L'utilisateur du tableau de bord d'apprentissage déclenche la demande de génération en passant par le questionnaire.

Le modèle conceptuel du contexte utilisateur :

les informations sur l'utilisateur sont primordiales pour la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Ce modèle permet de nous apporter des précisions sur le contexte utilisateur et ses besoins de visualisation. Il représente les données recueillies durant l'étape de capture de besoins.

Le modèle conceptuel d'indicateur :

nous alimentons notre base d'indicateurs par deux groupes d'indicateurs. Un ensemble d'indicateurs d'apprentissage avec des données simulées et un ensemble d'indicateurs de test qui sont ceux calculés dans le cadre du projet HUBBLE en particulier au sein du cas d'étude TactileoMap.

Le modèle conceptuel des moyens de visualisation :

nous formalisons aussi en XML le modèle des moyens de visualisation, ce qui permet de les indexer puis de les proposer aux usagers, en respectant le processus précédemment défini. Les moyens de visualisation sont décrits par : les bibliothèques, le type, l'objectif (*Purpose*), la dimension et les moyens d'interaction (*Feature*).

Durant notre travail, nous utilisons l'API de visualisation Highcharts¹ pour générer l'ensemble des graphiques proposés pour la visualisation des indicateurs clés. Le choix de cette API est lié au fait que celle-ci permet de fournir un large panel de moyens de visualisation. De plus, l'API highcharts permet de fournir par défaut un ensemble des moyens d'interaction comme ceux présentés dans la figure 8.2.

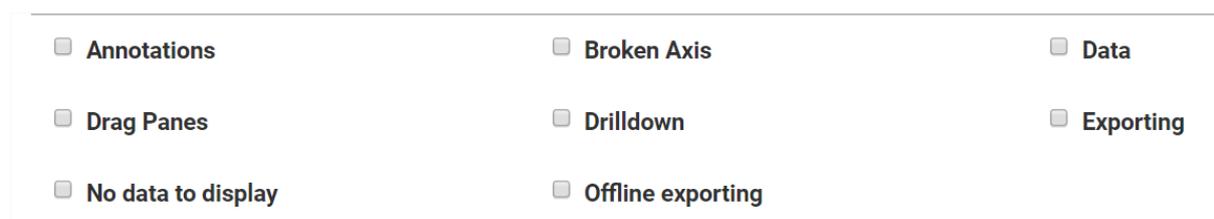


FIGURE 8.2 – Exemples des moyens d'interactions présentés dans le générateur

Actuellement, nous intégrons 10 moyens de visualisation. Il s'agit d'une liste variée qui permet d'offrir un panel intéressant selon le nombre de dimensions, les types des données (*Data Type*) et l'objectif des moyens de visualisation. Nous avons choisi d'apporter aux utilisateurs un ensemble de graphiques parmi les plus connus [Schwendimann *et al.*, 2017], afin qu'un maximum soit compréhensible/utilisable par ces derniers. Pour offrir un maximum de choix, nous intégrons des moyens de visualisation ayant de 1 à 4 dimensions. Chaque moyen de visualisation a un objectif de visualisation différent (cf. chapitre 6).

1. <https://www.highcharts.com/demo>

- Diagramme de courbe : c'est un type de graphique qui affiche l'information sous la forme d'une série de points de données reliés. Ce moyen de visualisation permet aux utilisateurs de comparer les tendances générales de différentes lignes ou de comparer les valeurs de différentes lignes à un moment donné. De plus, il permet de montrer la distribution des valeurs au cours du temps.
- Diagramme d'aire I : il permet d'afficher graphiquement des données quantitatives. Il est basé sur le graphique linéaire. La zone entre l'axe et la ligne est généralement soulignée par des couleurs, des textures et des hachures. Il montre les proportions des différentes parties au fil du temps en montrant la composition des données.
- Diagramme de colonne : il est utilisé pour comparer les valeurs entre les catégories à l'aide de barres verticales.
- Diagramme en bâtons : il montre les différences entre les catégories dans leurs présentations horizontales. Les utilisateurs peuvent comparer les différentes mesures appropriées à chaque catégorie. Ce moyen de visualisation permet de comparer un nombre limité de catégories afin de garder la lisibilité de ce dernier en permettant d'afficher un nombre important de mesures.
- Diagramme de nuages : c'est un graphique qui permet d'afficher les valeurs de deux dimensions. Les données sont affichées sous la forme d'un ensemble de points, chacun ayant la valeur d'une mesure déterminant la position sur l'axe horizontal et l'axe vertical (X,Y). Ce moyen de visualisation permet d'exprimer la distribution et la relation entre les données.
- Diagramme à bulles : c'est un type de graphique qui affiche trois dimensions de données. Il est une variation d'un diagramme de nuages dans lequel les points de données sont remplacés par des bulles, et une dimension supplémentaire des données est représentée dans la taille des bulles. Ce diagramme permet comme le diagramme de nuages d'exprimer la relation entre les données.
- Diagramme à radar : c'est un moyen de visualisation qui permet de comparer plusieurs variables quantitatives. Cela les rend utiles pour voir quelles variables ont des valeurs similaires ou s'il y a des valeurs aberrantes. Les diagrammes à radar sont également utiles pour voir quelles variables ont un score élevé ou faible dans un ensemble de données, ce qui les rend intéressants pour l'affichage des performances.
- Diagramme circulaire : il est divisé en plusieurs secteurs et montre les proportions numériques de chaque secteur d'un ensemble. Ce moyen de visualisation permet aux utilisateurs de comparer un ensemble de proportions entre les différents secteurs où il montre la composition des mesures d'un indicateur.
- Diagramme semi-circulaire : c'est un diagramme circulaire coupé en deux. Les éléments sont toujours divisés en secteurs, illustrant les proportions numériques comme un diagramme circulaire.
- Combinaison : c'est une combinaison de différents types de graphiques dans un seul graphique : courbe, colonne et circulaire. Ce moyen de visualisation est utilisé dans le cas où un indicateur clé est représenté par plus de quatre dimensions ou présente une quantité importante de mesures. Dans ce cas, le générateur propose ce graphique afin de combiner plusieurs indicateurs en un seul.

Nous proposons aussi de présenter les données sous la forme d'un tableau.

- Tableau : il permet d'organiser les données en colonnes et en lignes, ce qui permet de présenter des données numériques et/ou des données textuelles. Ce moyen de visualisation est simple à utiliser et à interpréter par les utilisateurs. De plus il permet d'afficher une grande quantité de mesures.

Le modèle conceptuel de patrons de tableaux de bord d'apprentissage :

le dernier modèle instancié décrit les patrons de tableaux de bord d'apprentissage. Ces instances fournissent des descriptions génériques de tableaux de bord d'apprentissage. Le patron doit être sélectionné automatiquement par le générateur. En effet, à travers le questionnaire, l'utilisateur choisit la décision à prendre. Le patron décrivant cette décision sera sélectionné.

8.1.2 Questionnaire

L'utilisateur manipule les modèles présentés auparavant à travers un questionnaire qui permet d'identifier le contexte d'utilisation d'un tableau de bord d'apprentissage à l'instant t. Ce qui permet de déclencher une demande de génération.

Afin de faciliter la prise en main du générateur de tableaux de bord d'apprentissage, nous proposons ce questionnaire permettant à l'utilisateur de s'abstraire des aspects techniques de l'environnement de génération. Il a pour but d'éviter à l'utilisateur de se confronter aux termes purement techniques comme les scénarios d'analyse, les traces, les indicateurs, etc. Nous présentons ce questionnaire sous la forme d'un formulaire à étapes multiples. L'idée générale est que ce type de formulaire divise le processus de consultation et d'interrogation des données en plusieurs pages.

Dans la version actuelle de notre prototype, les réponses au questionnaire ne sont pas stockées dans la base de données, ce qui implique le passage par le questionnaire à chaque fois que l'utilisateur souhaite un nouveau tableau de bord. Dans le cas où l'utilisateur veut visualiser la dernière version du tableau de bord d'apprentissage, la dernière version du fichier de description étant générée, il est possible de consulter le même tableau de bord.

Spécifications techniques

L'architecture du questionnaire est prévue pour fonctionner uniquement sur le web. Le fonctionnement tel qu'il est présenté dans la figure 8.3 implique la communication entre trois couches : une couche client web, une couche serveur et une couche pour la base de données.

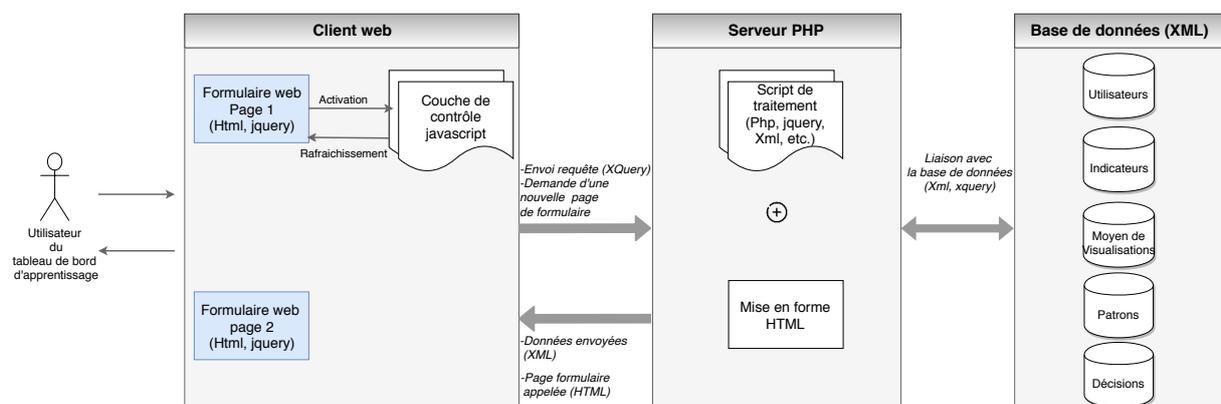


FIGURE 8.3 – Architecture du questionnaire

La couche client web :

Elle gère l’affichage des différentes pages du formulaire et les transmet aux utilisateurs. Elle récupère les réponses des utilisateurs aux différentes questions et utilise le langage XQuery afin de demander en base le nécessaire pour préparer chaque page du formulaire. XQuery est défini comme un langage de requête informatique permettant d’extraire des informations d’un document XML, ou d’une collection de documents XML, et d’effectuer des calculs complexes à partir des informations extraites puis de reconstruire de nouveaux documents ou fragments XML [Chamberlin, 2002]. Une fois le formulaire renseigné, cette couche client lance le processus de génération.

Elle est donc développée principalement avec du code HTML et JQuery. Dans le but d’assurer que les données saisies dans les pages du formulaire soient bien remplies, nous ajoutons une couche de contrôle implémentée en JavaScript.

La couche serveur :

C’est une couche responsable du traitement des demandes des utilisateurs et qui permet la liaison entre le client web et la base de données. Cette couche gère principalement les requêtes reçues du client web et les transmet à la base de données en utilisant les requêtes XQuery. Par la suite, la couche serveur renvoie les résultats de ces requêtes pour les afficher dans la couche client web. La couche traitement des données est fortement couplée avec la mise en forme et l’affichage, le serveur renvoyant des pages HTML directement mises en forme. Cette couche est développée principalement avec du PHP.

La couche de base de données :

Elle permet de gérer les données demandées. L’idée est de récupérer les données brutes dans la base de données, de les organiser et de les assembler pour qu’elles puissent ensuite être traitées par le serveur. La couche de base de données comporte aussi les données en entrée du processus. Ces données consistent en quatre fichiers XML introduits auparavant (utilisateurs, indicateurs, moyens de visualisation et patrons). Le résultat récupéré est envoyé au générateur afin de produire un tableau de bord d’apprentissage adapté.

8.1.3 Générateur de tableaux de bord d’apprentissage

Le générateur est composé de deux moteurs : un moteur de création et un moteur de transformation. Ces derniers sont présentés dans la figure 8.4.

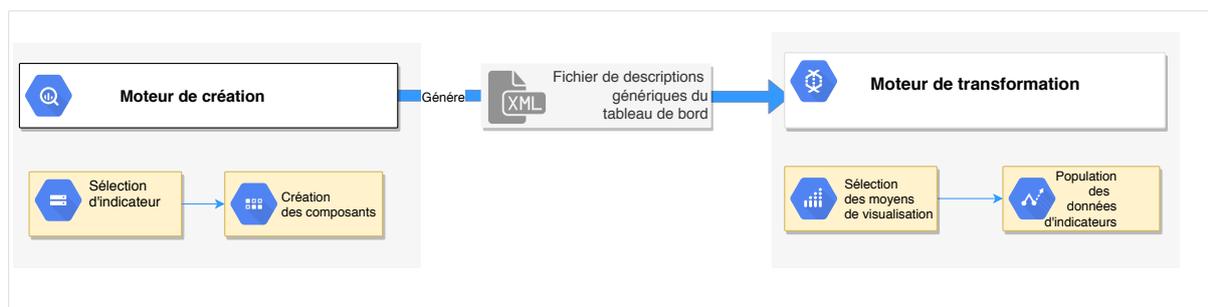


FIGURE 8.4 – Moteurs du générateur de tableaux de bord d’apprentissage

Moteur de création

Après une demande de génération, le générateur applique l’ensemble des règles de génération pour pouvoir suivre les étapes d’identification et d’organisation du tableau de bord d’apprentissage tout en respectant le modèle de composition. Le générateur consulte

les différentes instances de modèles qui permettent de décrire les ressources disponibles afin d'identifier et d'organiser les indicateurs clés (cf. chapitre 7).

Création d'un fichier de description générique du tableau de bord d'apprentissage

Par la suite, le générateur crée un fichier de sortie détaillé qui a pour rôle de fournir une description générique du tableau de bord d'apprentissage. Il est décrit au format XML et présente la structure du tableau de bord d'apprentissage en précisant le nombre de vues et de sections. La génération de ce fichier a pour but d'assurer une réutilisation du tableau de bord d'apprentissage dans un contexte similaire et/ou de garder une trace de la génération permettant la visualisation d'un tableau de bord d'apprentissage déjà généré sans qu'une partie importante du processus de génération ne soit exécutée de nouveau.

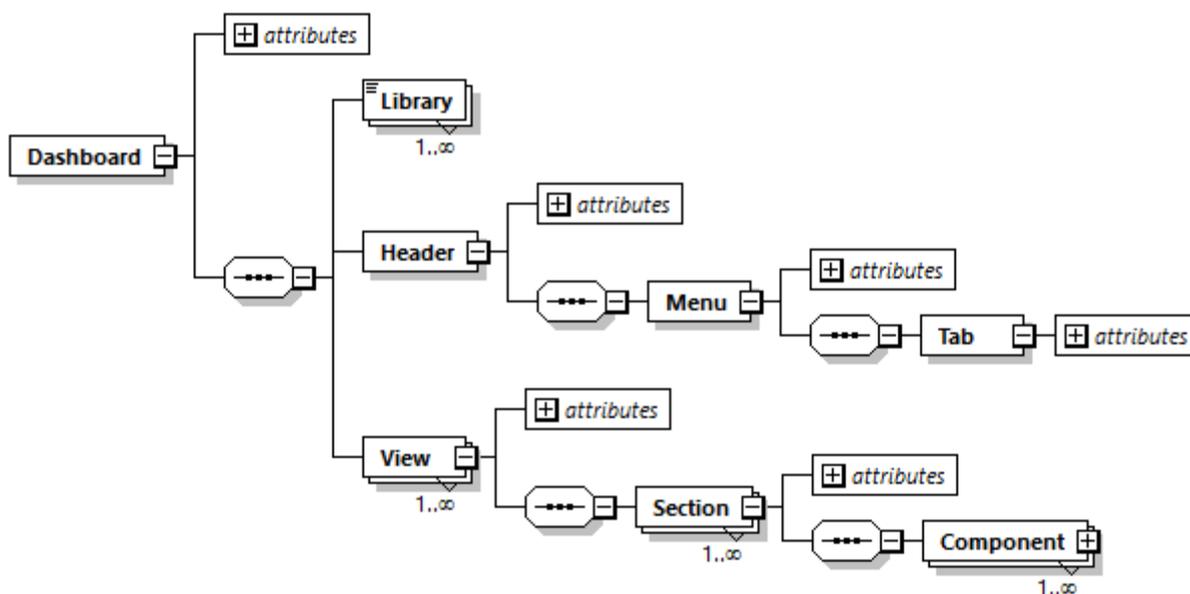


FIGURE 8.5 – Représentation du fichier de description générique du tableau de bord d'apprentissage (Schéma XML)

Les informations relatives à la description du tableau de bord d'apprentissage sont présentées dans la figure 8.5. Chaque fichier définit trois informations : la liste des librairies nécessaires (*Library*), un en-tête (*Header*) et la composition du tableau de bord d'apprentissage. La précision de la liste de librairies permet d'exploiter des moyens de visualisation spécifiques. La définition d'un en-tête est un des éléments essentiels d'un site web de manière générale, il doit donc bénéficier d'une attention particulière lors de la création d'un site web. Un en-tête a pour but de capter l'attention des utilisateurs vers des informations bien précises comme l'objectif du tableau de bord d'apprentissage généré. De plus, cet élément présente le mode de navigation entre les composants graphiques dans le tableau de bord d'apprentissage. La navigation peut être définie à travers un menu. Finalement, une organisation structurale en vues, sections et composants graphiques est définie. Chaque composant graphique est caractérisé par un ensemble d'attributs comme le titre du composant équivalent au nom de l'indicateur.

Moteur de transformation

Le moteur de transformation fait référence principalement à l'étape d'instanciation du tableau de bord d'apprentissage. À travers ce moteur, le générateur doit sélectionner les

moyens de visualisation et doit les peupler avec l'ensemble des mesures des indicateurs clés. En effet, il transforme le fichier de description générique en un tableau de bord d'apprentissage envoyé directement à l'utilisateur. Ensuite, il consulte les instances des modèles afin de récupérer les mesures et les dimensions des indicateurs et de les restituer à l'utilisateur en utilisant les moyens de visualisation. Cette étape permet de créer les composants graphiques des tableaux de bord d'apprentissage. Le moteur de transformation instancie le fichier de description générique en ajoutant des informations descriptives sur le contenu exact de chaque composant graphique.

La figure 8.6 présente le schéma XML d'un composant graphique du tableau de bord d'apprentissage. Ce composant présente l'association entre le choix des moyens de visualisation (*ChartType*) et les mesures des indicateurs qui sont décrites autour d'un groupe d'informations (*ChartArea*). Ce groupe d'informations présente la légende (*Legend*), l'infobulle (*Tooltip*), les options de traçage (*Plot*) et les axes (*Axes*). La légende décrit chaque dimension d'indicateurs par une paire d'informations : un symbole prédéfini et le nom de la dimension. L'infobulle peut apparaître ou non selon les préférences des utilisateurs. Si cette option est activée, une infobulle apparaît généralement lorsque l'utilisateur survole un point d'une série. Par défaut, l'infobulle affiche les valeurs du point et le nom des dimensions. La définition des options de traçage permet de personnaliser les couleurs et les moyens d'interactions. Finalement, les axes représentent chaque dimension ainsi que les mesures (*Group Value*).

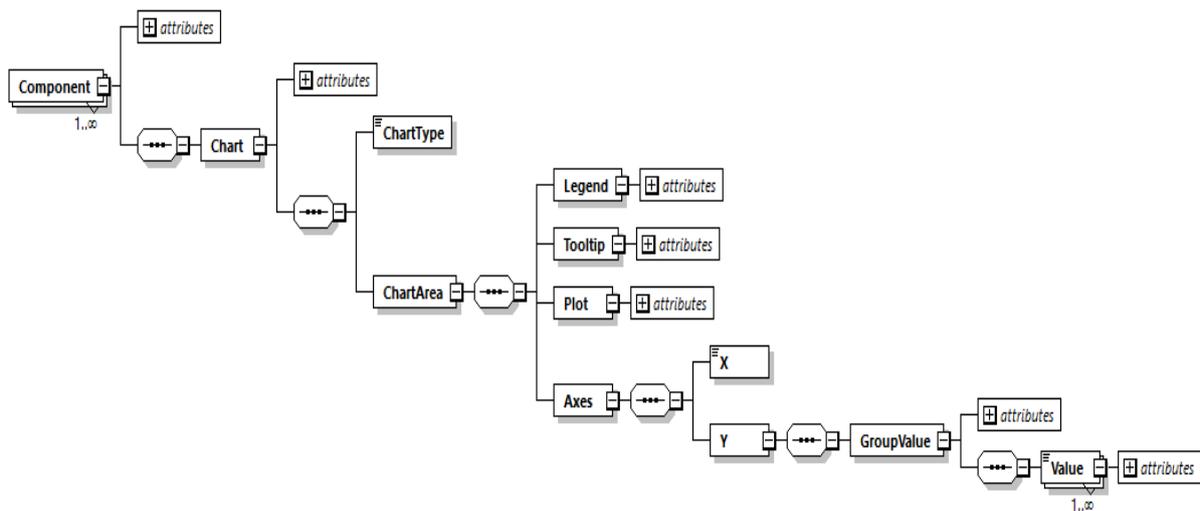


FIGURE 8.6 – Représentation du composant graphique (Schéma XML)

Après l'instanciation de ce fichier en XML, le moteur le transforme en un fichier HTML consultable par l'utilisateur. Finalement, le tableau de bord d'apprentissage généré est retourné à l'utilisateur au travers du navigateur internet, ce qui lui permet de visualiser et d'exploiter les différents indicateurs clés conformément à ses besoins exprimés.

8.2 Prototype de générateur de tableaux de bord d'apprentissage

L'instrumentation de notre processus de génération s'est faite à travers le développement et la mise en place d'un prototype. Nous allons illustrer et présenter

les captures d'écrans des différentes pages du questionnaire et quelques exemples de génération afin de démontrer la faisabilité de notre processus.

8.2.1 Instrumentation du questionnaire

Nous utilisons un formulaire en plusieurs étapes pour présenter une interface utilisateur afin de visualiser les questions et les résultats des requêtes à la base de données. Nous proposons trois pages (cf. fig. 8.7 A, B et C) de formulaires où chaque page présente aux utilisateurs un groupe de questions.

Figure 8.7 shows three screenshots of a user interface for dashboard generation, labeled (A), (B), and (C). Each screenshot has a title bar 'Génération de tableaux de bord' and a progress indicator '100%'.
 (A) 'Étape 1: Quel est votre rôle?' with options 'Enseignant' and 'tuteur'. 'Quelle est la plateforme d'apprentissage utilisée?' with options 'TactileoMap', 'Tamagocours', and 'Rearth'. 'Quel est votre cas d'étude?' with the same three options. A 'Next' button is at the bottom.
 (B) 'Étape 2: Quel sont vos objectifs de visualisation?' with options 'Activity duration', 'Mesurer l'évolution des apprenants au cours du temps', 'geolocalisation', and 'Comparaison entre deux séances'. 'plus de détails' with options 'Comparaison entre le jeu conçu et le jeu joué', 'Analyse des situations de formulation et de validation', and 'distribution'. 'Quelles sont vos activités d'apprentissage?' and 'Vous voulez visualiser quels Indicateurs?'. 'Previous' and 'Next' buttons are at the bottom.
 (C) 'Étape 3: Quelle est la décision que vous voulez prendre?' with a dropdown menu showing 'Monitoring Context-Related performance'. 'Sélectionner la période de visualisation des données' with options 'Séance de 17-05-2017' and 'Séance de 03-05-2018'. A 'Generate' button is at the bottom.

FIGURE 8.7 – Interface utilisateur en trois pages

Les questions présentées dans le formulaire respectent les dimensions de conception étudiées durant notre travail de thèse :

- Qui? Nous devons, à travers le formulaire, identifier le rôle de l'utilisateur. Cette information est obtenue dès le début avec la question qui apparaît la première dans la première page de formulaire (cf. fig. 8.7.(A)).
- Quoi? Afin de répondre à cette question, nous répartissons les questions sur les deux pages (cf. fig. 8.7.(A) et (B)). La première page concerne les informations sur l'utilisateur comme sa plateforme d'apprentissage et le cas d'étude traité. La deuxième page se focalise sur des questions liées aux activités d'apprentissage.
- Pourquoi? Après l'identification du contexte utilisateur, nous proposons aux utilisateurs la liste des décisions que le générateur peut traiter. Ces informations sont présentées dans la figure 8.7.(C) et elles seront sélectionnées à partir des objectifs de décision définis dans l'ensemble des modèles de contexte utilisateur et des patrons.
- Quand? Cette information permet de préciser deux informations : le moment d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage, et le temps d'observation sur lequel la décision se base.
 - L'utilisation : en effet, un tableau de bord d'apprentissage peut être nécessaire en temps réel par rapport à la situation d'apprentissage ou a posteriori, cela dépend du type de décision.
 - Le temps de l'observation : ici, nous souhaitons savoir sur quelle période se situe l'observation, est-ce une journée, un semestre, une séance, une séquence, etc. Cela permet d'orienter le type de tableau de bord d'apprentissage et permet de filtrer les indicateurs.

La seule dimension qui n'est pas proposée implicitement aux utilisateurs c'est le "Comment". Cette dimension est définie dans le modèle de contexte utilisateur. Chaque utilisateur peut avoir sa propre préférence au niveau du moyen de visualisation. Suite à la demande de génération, le prototype définit le patron du tableau de bord d'apprentissage. Le patron fournit des informations sur la structure et les moyens d'interaction à proposer à l'utilisateur.

Comme résultat, le questionnaire déclenche un ensemble de requêtes xQuery vers le générateur du tableau de bord d'apprentissage. Ces requêtes vont permettre d'interroger la base de données XML afin de sélectionner le contenu, de l'organiser et finalement de l'instancier dans un tableau de bord d'apprentissage.

8.2.2 Instrumentation du tableau de bord d'apprentissage

Les tableaux de bord d'apprentissage sont développés en utilisant les technologies JQuery, JavaScript et PHP. La structure du tableau de bord inclut deux éléments de base. Le premier élément est l'en-tête. Les en-têtes fournissent l'identité ou les logos et incorporent l'ensemble des moyens d'interaction qui peuvent rendre un tableau de bord d'apprentissage plus utile. Le deuxième élément représente les modes de navigation entre les indicateurs clés. Il permet la représentation de l'ensemble des indicateurs clés soit sur une page, soit à l'aide d'un menu dans le but de faciliter la navigation sur le tableau de bord d'apprentissage.

La figure 8.8 présente un tableau de bord d'apprentissage, pour le cas d'étude TactileoMap, qui a pour but d'aider l'enseignant à prendre une décision concernant l'évolution des apprenants au cours du temps. Cette décision est à prendre à moyen terme. Le générateur a fourni à l'enseignant un tableau de bord tactique, avec un nombre limité d'indicateurs, mais avec des données assez détaillées.

La "section 1" représente une vision synthétique de l'activité des apprenants, la "section 2" présente un détail sur chacun des apprenants.



FIGURE 8.8 – Exemple d'un tableau de bord d'apprentissage généré

Nous présentons dans la figure 8.9 une deuxième version du tableau de bord d'apprentissage.



FIGURE 8.9 – Exemple d'un tableau de bord opérationnel

Ce tableau de bord présente un niveau de décision opérationnel. Le nombre et le niveau de détail des indicateurs sont élevés. Il présente trois moyens d'interaction : une légende, une infobulle, un module d'exportation.

L'utilisateur a la possibilité d'avoir une légende pour chaque moyen de visualisation (cf. fig. 8.9.(a)). La légende permet d'aider les utilisateurs à comprendre les indicateurs

visualisés. Elle indique le nom et le symbole de la mesure qu'elle représente dans le graphique. En cliquant sur la légende, l'utilisateur peut activer et désactiver une série de mesures afin de se concentrer sur la visualisation des autres mesures et les comparer entre elles.

Lorsque l'utilisateur clique ou survole avec la souris sur la série de mesures, des infobulles (cf. fig. 8.9.(b)) vont apparaître pour afficher une mesure exacte ce qui représente l'intersection entre deux dimensions (x et y). Par défaut, l'infobulle affiche les valeurs du point sélectionné et les noms des dimensions.

Finalement, l'utilisateur a la possibilité, grâce au module d'exportation (cf. fig. 8.9.(c)), de télécharger le composant graphique au format PDF, PNG, JPG ou en images vectorielles de type SVG. Il permet également d'imprimer directement le(s) composant(s) graphique(s).

Nous présentons une autre capture d'écran d'un tableau de bord d'apprentissage avec un niveau de décision stratégique (cf. fig. 8.10). Ce tableau de bord est caractérisé par la présentation des indicateurs clés sur un temps d'observation à long terme. Ces indicateurs clés présentent des mesures annuelles et d'une manière synthétique.

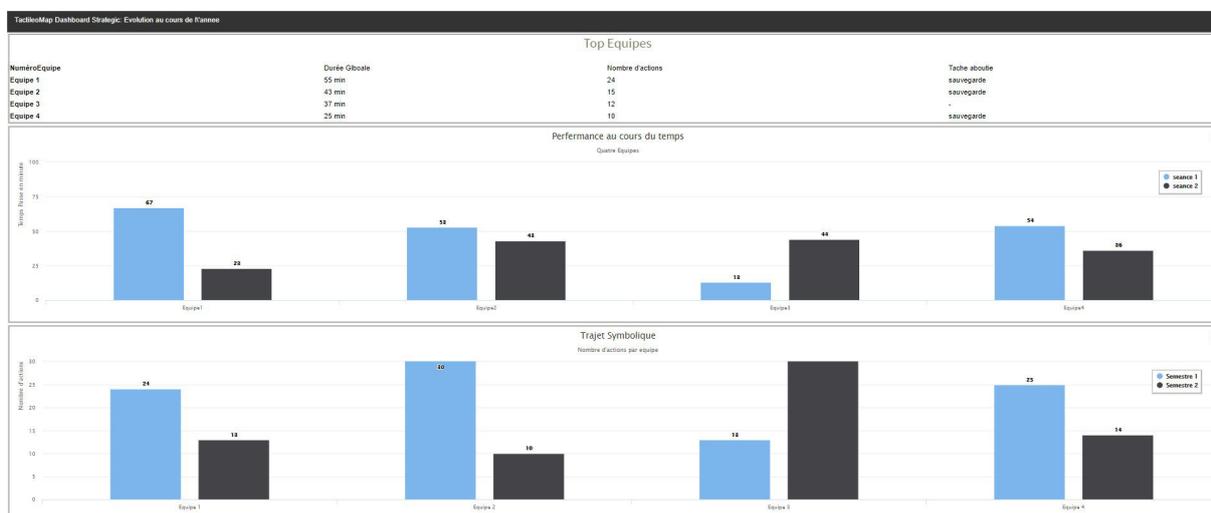


FIGURE 8.10 – Exemple d'un tableau de bord stratégique

Les différents exemples de tableaux de bord d'apprentissage (cf. fig. 8.8, fig. 8.9 et fig. 8.10) démontrent la capacité du *"HubbleBoard Generator"* à afficher les indicateurs clés avec différents moyens de visualisation. Il permet de générer dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage qui varient selon le contexte d'utilisation en prenant en compte les besoins des utilisateurs et leurs niveaux de décision.

8.3 Conclusion

Nous avons consacré ce chapitre à la présentation de l'architecture de notre prototype *"HubbleBoard Generator"*. L'objectif était d'instrumenter notre processus de génération introduit dans le chapitre 7. Nous avons présenté trois composants informatiques : une base de modèles, un questionnaire et un générateur.

Nous avons présenté tout d'abord des instances de différents modèles introduits dans le chapitre 6. Les modèles conceptuels doivent être formatés afin de permettre au générateur d'exploiter ces derniers et d'accéder aux informations intéressantes de manière optimale.

Le questionnaire est conçu dans le but de donner à l'utilisateur la possibilité d'exprimer son contexte d'utilisation de tableau de bord d'apprentissage. Le générateur repose sur les

trois étapes du processus de génération, l'identification, l'organisation et l'instanciation de tableaux de bord d'apprentissage. C'est un outil pour produire automatiquement un tableau de bord d'apprentissage en respectant le contexte d'utilisation défini et un fichier de description générique.

La génération de ce fichier a pour but d'assurer une réutilisation du tableau de bord d'apprentissage dans un contexte similaire et/ou de permettre de garder une trace de la génération de façon à réafficher le tableau de bord d'apprentissage sans relancer tout le processus de génération.

Dans le chapitre suivant, nous proposons une mise à l'essai de notre prototype "*HubbleBoard Generator*" dans deux exemples d'utilisation.

Chapitre 9

Mise à l'essai et résultats du générateur de tableaux de bord d'apprentissage

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté l'architecture de notre générateur de tableaux de bord d'apprentissage. Dans ce chapitre, nous testons ce générateur afin de démontrer la faisabilité de la génération dynamique d'un tableau de bord d'apprentissage adapté aux besoins des utilisateurs.

Nous avons mené une expérience de génération pour deux cas d'utilisation : TactileoMap et RearthM3. Le premier cas d'utilisation concerne des enseignants. Le deuxième se focalise sur des chercheurs et des concepteurs. En suivant notre démarche itérative et centrée sur l'utilisateur, nous avons rencontré les participants à trois reprises et à chaque fois, nous avons présenté un ou plusieurs tableaux de bord d'apprentissage générés.

9.1 Application au cas de TactileoMap

TactileoMap¹ est une plateforme mobile qui offre aux utilisateurs (enseignants et élèves) une expérience de terrain ludique en combinant des informations multimédias, telles que des images (cartes, images et schémas), de la vidéo et des composants audio (cf. fig. 9.1).

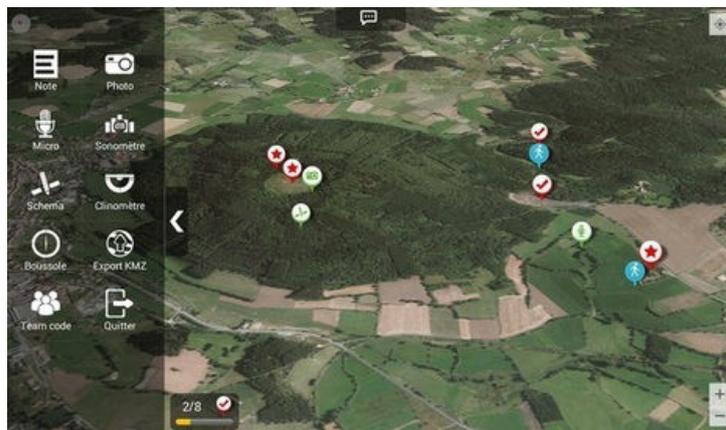


FIGURE 9.1 – Application TactileoMap [Sanchez *et al.*, 2014]

Cette plateforme comprend deux modules : le client et l'éditeur de TactileoMap. Le premier module est dédié aux élèves et accessible avec une tablette numérique. Le

1. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.maskott.tactileo.map>

deuxième module est dédié aux enseignants qui souhaitent concevoir leur propre jeu de géolocalisation. Ces jeux peuvent être des jeux collaboratifs ou compétitifs, individuels ou en équipe, offrant une grande diversité d'activités. Selon les choix faits pour la conception du jeu, un joueur peut prendre des photos, enregistrer et mesurer les niveaux sonores, dessiner des croquis et utiliser une boussole et un GPS pour s'orienter, prendre des notes et discuter à travers une messagerie instantanée. Au cours d'une session de jeu, les joueurs peuvent utiliser librement toutes ces fonctionnalités pour atteindre un objectif spécifique ou pour mettre en oeuvre l'information et les observations [Sanchez *et al.*, 2014].

9.1.1 Première itération : la génération d'un tableau de bord d'apprentissage général

Nous consacrons cette section à présenter le déroulement de la première itération. L'objectif de cette itération est de générer un tableau de bord d'apprentissage avec des indicateurs prédéfinis. Dans un premier temps, nous introduisons le contexte d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage. Dans un deuxième temps, nous présentons le résultat de la génération. Pour finir, nous présentons une évaluation du résultat de la génération et une interprétation des avis des utilisateurs.

Contexte d'utilisation du tableau de bord d'apprentissage

La première fois, nous avons contacté 8 enseignants concepteurs afin de recueillir leurs besoins en visualisation et de définir le contexte d'utilisation. Afin d'évaluer la pertinence des dimensions de conception, nous nous sommes intéressés au début à obtenir des réponses bien définies comme :

- qui est l'utilisateur ? Plus précisément, quel est le rôle de l'utilisateur ?
- pourquoi utiliseriez vous un tableau de bord d'apprentissage ? Quel est son objectif au niveau de la visualisation ?
- quand consulteriez-vous le tableau de bord d'apprentissage ?
- quels indicateurs vous semblent-ils pertinents de visualiser ?
- comment les utilisateurs souhaitent visualiser ces derniers ?

Durant cette première itération, nous n'introduisons que deux modèles : le contexte utilisateur et les moyens de visualisation. Ceci implique que les deux premières étapes du processus de génération - l'identification et l'organisation des indicateurs - sont faites, à ce stade, de manière manuelle.

La description du contexte d'utilisation nous permet de créer un fichier de description générique au format XML. Ce fichier décrit l'ensemble des indicateurs clés et les moyens de visualisation associés. Le générateur par la suite transforme automatiquement ce fichier en un tableau de bord d'apprentissage au format web (cf. fig. 9.2).

Résultat de la génération du tableau de bord d'apprentissage

Ce tableau de bord d'apprentissage est dédié à un groupe d'utilisateurs partageant le même objectif de visualisation et le même rôle. Il a pour but d'aider les enseignants à mesurer l'évolution des équipes. Nous proposons un tableau de bord d'apprentissage général avec des indicateurs prédéfinis. Il est consulté a posteriori.

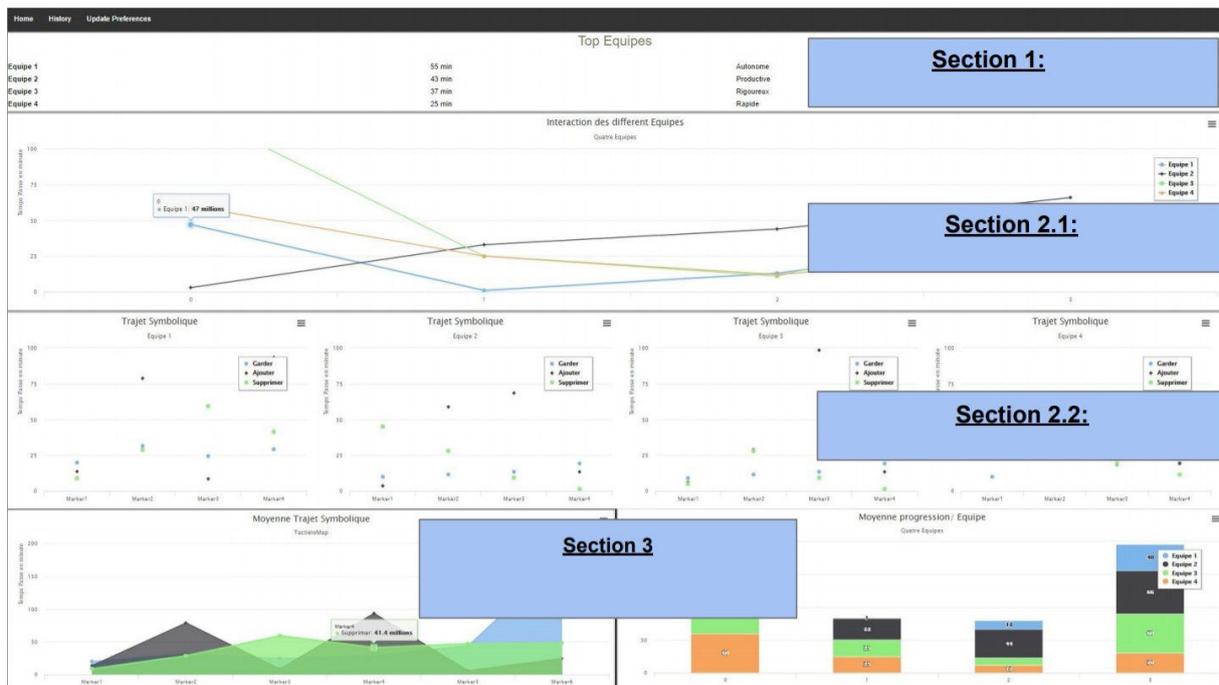


FIGURE 9.2 – Résultat de la première génération d'un tableau de bord d'apprentissage

L'identification des indicateurs clés est manuelle. Les indicateurs clés à ce stade comportent des mesures simulées. Nous présentons trois indicateurs clés parmi les quatre indicateurs demandés. En effet, notre générateur ne permet pas de traiter des données de géolocalisation, à l'origine les enseignants souhaitaient une intégration avec Google Maps. Le générateur limite la visualisation des indicateurs à des moyens de visualisation classiques.

L'identification des moyens de visualisation était effectuée automatiquement par rapport aux préférences d'utilisateurs, à l'exception des indicateurs clés présentés dans la "section 2.2". En effet, les utilisateurs ont préféré une visualisation par des diagrammes à bulles. Cependant, la description de ce diagramme ne correspond pas aux caractéristiques techniques de l'indicateur proposé. Ce diagramme à bulles comporte quatre dimensions alors que l'indicateur proposé n'en contient que trois. Par ailleurs, notre choix s'était porté sur le diagramme à nuages de la même catégorie que le diagramme à bulles (distribution) mais prévu pour les indicateurs tridimensionnels.

Évaluation du tableau de bord d'apprentissage

Suite à cette génération, nous avons mené une évaluation empirique qui correspond aux tests utilisateurs. Nous avons analysé les avis des utilisateurs dans le but d'identifier des informations sur les possibilités de réutilisation et de personnalisation des tableaux de bord d'apprentissage.

Face au tableau de bord d'apprentissage proposé, nous avons distingué deux points de vue différents de la part des utilisateurs. Nous avons donc formés deux groupes d'utilisateurs en fonction de leur profil : les enseignants dans les écoles primaires et les enseignants dans les lycées. Chaque groupe doit évaluer le tableau de bord d'apprentissage détaillé existant et correspondant à son point de vue.

Les tableaux 9.1 et 9.2 présentent l'évaluation des deux groupes. Le premier tableau 9.1 décrit l'évaluation des sections et des composants graphiques de manière générale.

	Groupe 1 (École primaire)	Groupe 2 (Lycée)
Section 1	<ul style="list-style-type: none"> + Cette section permet de fournir une idée générale sur la performance des équipes. + Cela permet de faire la synthèse avec les élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> - Il n'y a pas un intérêt.
Section 2.1	<ul style="list-style-type: none"> +Différencier et évaluer le parcours des équipes. 	<ul style="list-style-type: none"> +Avoir une vision globale de la manière dont les équipes ont vécu le scénario de jeu.
Section 2.2	<ul style="list-style-type: none"> +Catégorisation des équipes par marqueurs. 	<ul style="list-style-type: none"> +Réaliser un focus sur les équipes.
Section 3	<ul style="list-style-type: none"> + L'indicateur permet de donner un niveau de détail élevé. -L'utilisation du diagramme d'aire pour montrer la moyenne n'est pas trop significative. 	<ul style="list-style-type: none"> -L'indicateur qui porte sur la moyenne du temps passé a peu d'intérêt à être visualisé.

TABLE 9.1 – Évaluation du tableau de bord organisée par section

Le deuxième tableau 9.2 est plus spécifique dans le sens où nous organisons l'évaluation des utilisateurs par modèle de tableau de bord d'apprentissage notamment sur les indicateurs, les moyens de visualisation, le patron (plus spécifiquement la structure et les moyens d'interaction).

	Groupe 1 (École primaire)	Groupe 2 (Lycée)
Indicateur	<ul style="list-style-type: none"> +Les indicateurs présentés conviennent aux utilisateurs. - Besoin d'avoir plus d'indicateurs comme le regroupement géographique et les résultats des élèves. 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin d'avoir moins d'indicateurs.
Moyen de visualisation	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin de changement des moyens de visualisation : <ul style="list-style-type: none"> *Le diagramme colonne en un diagramme colonne avec zoom avant. *Les diagrammes nuage en des diagrammes à bulles 	<ul style="list-style-type: none"> - Besoin de changement des moyens de visualisation : <ul style="list-style-type: none"> *Les diagrammes nuage en des diagrammes colonne avec zoom avant
Structure	<ul style="list-style-type: none"> + La méthode de navigation est validée : Affichage des indicateurs sur la même page. - Ils demandent de pouvoir contrôler le niveau de détail sur demande. 	
Moyen d'interaction	<ul style="list-style-type: none"> -Possibilité d'ajouter des commentaires directement sur le tableau de bord. 	<ul style="list-style-type: none"> -Possibilité de choisir les données à afficher et la méthode de visualisation.

TABLE 9.2 – Évaluation du tableau de bord en termes des modèles

D'après les utilisateurs, ce tableau de bord d'apprentissage peut aider à recueillir des informations sur leurs situations d'apprentissage, mais il ne permet pas une prise de décision. En effet, nous avons constaté que même si tous les enseignants avaient un objectif de visualisation commun, ils ne partageaient pas la même décision. Le groupe 1 veut suivre les équipes ayant besoin d'une attention particulière afin d'anticiper les problèmes en temps réel. Alors que le groupe 2 veut planifier la répartition des équipes pour les prochaines séances.

À l'issue de cette phase d'évaluation, nous avons identifié la décision comme un élément central pour la conception d'un tableau de bord d'apprentissage adapté.

Cette décision dispose de différents niveaux. À travers l'évaluation des deux groupes, nous avons déduit la nécessité d'avoir deux niveaux de décision : l'un opérationnel et l'autre tactique. En effet, chaque groupe a demandé un niveau de détail, une fréquence de visualisation et un temps de visualisation différent. Le groupe 1 a préféré visualiser fréquemment des indicateurs très détaillés en temps réel. Le groupe 2 a besoin d'utiliser le tableau de bord d'apprentissage a posteriori. Afin d'évaluer la génération automatique de tableaux de bord d'apprentissage, nous procédons alors à une deuxième génération.

9.1.2 Deuxième itération : l'introduction de la notion de patron de tableaux de bord d'apprentissage

Lors de la deuxième génération des tableaux de bord, nous avons proposé deux tableaux de bord d'apprentissage différents en prenant en compte les niveaux de décision. Nous avons donc introduit deux patrons de tableaux de bord d'apprentissage. La description du patron à ce stade est limitée. La description des indicateurs clés n'était pas encore introduite.

À travers le générateur, nous proposons deux tableaux de bord d'apprentissage, un tableau de bord opérationnel (cf. fig. 9.3) pour le groupe 1 et un tableau de bord tactique pour le groupe 2 (cf. fig. 9.4). Au niveau des indicateurs, nous proposons toujours ceux produits avec des données simulées, car nous n'avons pas eu à ce stade d'indicateurs calculés pour le cas d'étude de TactileoMap.

Le premier tableau de bord d'apprentissage présente les mêmes indicateurs clés que ceux proposés durant la première itération, tout en offrant une vue détaillée (cf. fig. 9.3). La consultation du tableau de bord d'apprentissage sera effectuée après chaque séance. Les indicateurs clés sont organisés et alignés en fonction d'un point d'intérêt principal (L'équipe dans cet exemple). Une règle de répartition est appliquée ici afin de répartir un indicateur en plusieurs composants où chaque composant fournit des données autour du point d'intérêt. Cela permettra aux utilisateurs de se concentrer sur la performance des équipes et d'anticiper leurs problèmes à tout moment.

Pour le deuxième groupe, nous proposons un tableau de bord tactique (cf. fig. 9.4). Le tableau de bord tactique est caractérisé par des indicateurs clés moins détaillés. Cette fois, nous n'avons présenté qu'un seul indicateur clé tout en mettant l'accent sur la performance des équipes. Une règle de précision est appliquée afin de présenter deux visions, l'une détaillée et l'autre synthétique. L'objectif de ce tableau de bord d'apprentissage est d'aider les enseignants à améliorer l'organisation des équipes. Comme la décision à prendre est une décision à moyen terme, le tableau de bord d'apprentissage proposé présente des indicateurs clés sur plusieurs séances, afin d'aider les enseignants à prendre des décisions basées non seulement sur l'interprétation des dernières performances des équipes, mais aussi sur des périodes de temps plus longues.



La performance des équipes au fil du temps

Le nombre d'actions effectuées dans chaque station par chaque équipe.

Une vision détaillée des activités des équipes

Informations générales sur l'activité des équipes

FIGURE 9.3 – Tableau de bord opérationnel : le suivi de la performance des équipes après une seule séance

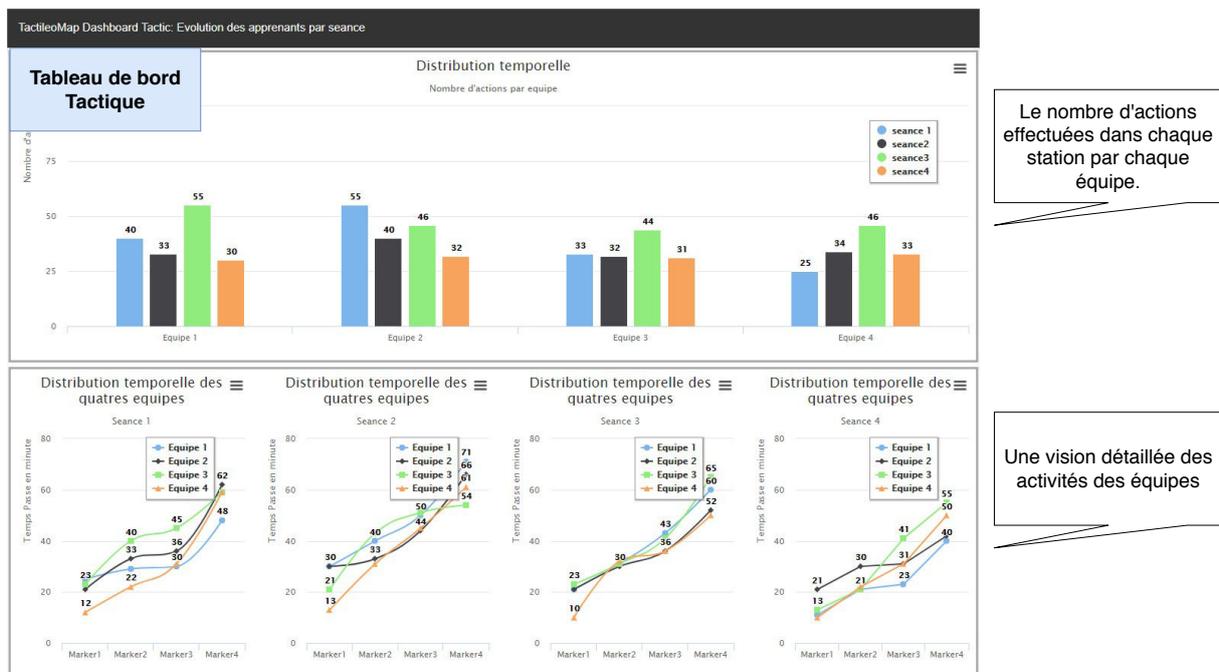


FIGURE 9.4 – Tableau de bord tactique : le suivi de la performance des équipes sur des périodes de temps.

En poursuivant la même démarche, nous générons deux tableaux de bord stratégiques qui sont présentés dans les figures 9.5 et 9.6.

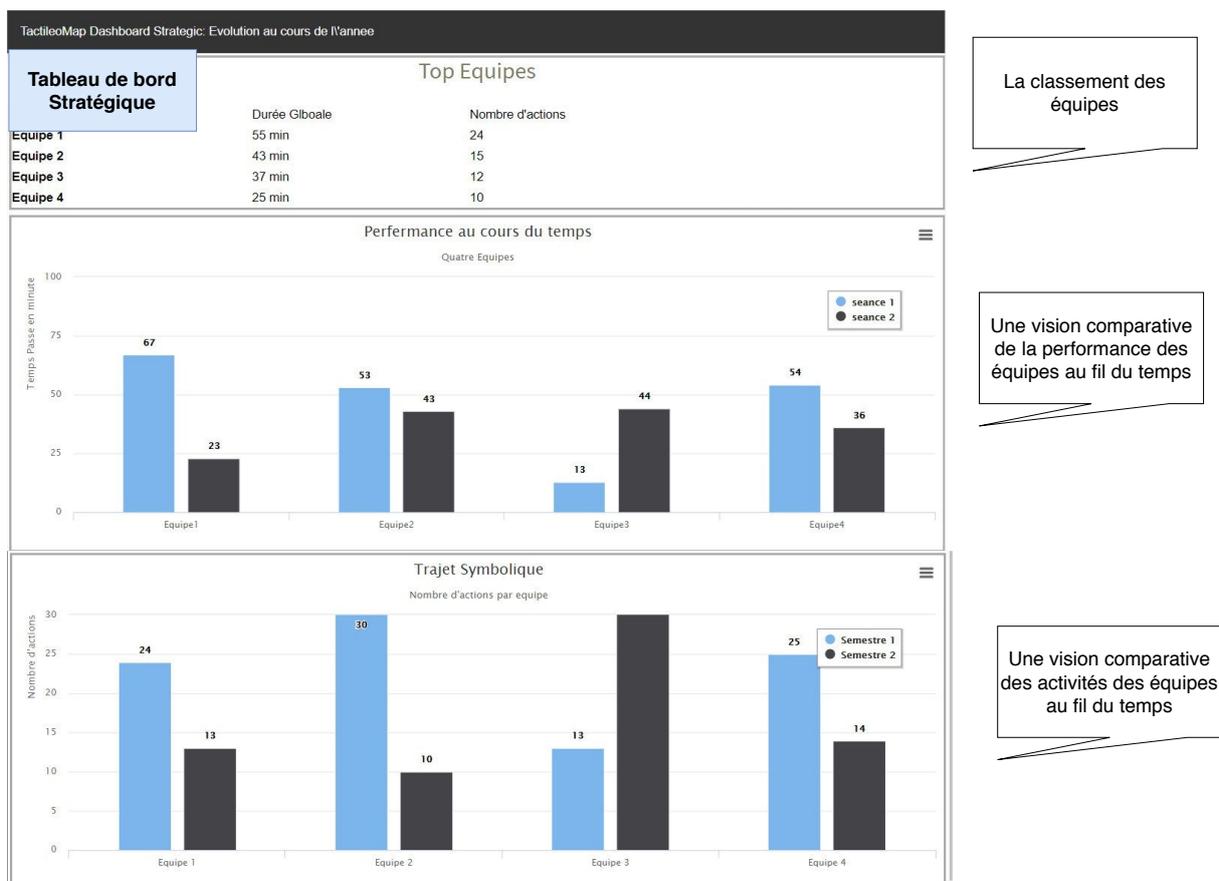


FIGURE 9.5 – Premier tableau de bord stratégique

Le niveau stratégique est caractérisé par la présentation d'informations peu détaillées

en proposant un résumé textuel présenté sous la forme d'un tableau à l'utilisateur. La vue représente toutes les mesures de chaque équipe en comparant leurs performances entre deux semestres.

Les deux indicateurs fournis pour les deux tableaux de bord d'apprentissage précédents (opérationnels et tactiques) sont toujours présentés dans ce cas, mais avec moins de détails. Ce tableau de bord d'apprentissage permet d'offrir une vision comparative de l'évolution de la performance de chaque équipe par rapport aux autres et par rapport aux deux semestres.

Nous présentons un deuxième tableau de bord stratégique à l'aide d'un deuxième patron (cf. fig. 9.6). Nous proposons les mêmes indicateurs clés qui se focalisent ici sur une vision comparative entre les équipes tout au long de l'année en mettant en avant cette fois la performance des équipes par rapport à l'activité (marker).



FIGURE 9.6 – Deuxième tableau de bord stratégique

Afin d'expérimenter et de valider le bon fonctionnement de notre générateur, nous passons à une troisième itération. Cette itération est caractérisée par la génération complètement automatique où tous nos modèles sont introduits.

9.1.3 Troisième itération : l'intégration des indicateurs

Pour la troisième itération, nous proposons un ensemble de tableaux de bord d'apprentissage générés de manière dynamique. L'intérêt de ces tableaux de bord d'apprentissage est d'observer l'ensemble des indicateurs clés calculés pour le cas d'étude TactileoMap. Ces indicateurs clés sont calculés par la plateforme d'analyse KTBS.

Nous avons eu deux indicateurs pour deux sessions d'apprentissage différentes qui proposent chacun un ensemble de dimensions qui sont les suivantes :

- "Id" et "type" : indiquent l'identifiant et le type de la ligne de chaque ressource KTBS exploitée pour calculer des indicateurs. Autrement dit, ces attributs font référence à la plateforme d'analyse KTBS.
- "begin" et "end" : la date de début et de fin de l'action au format ISO 8601
- "C1" : indique le nom de la tablette concernée.
- "C2" : indique le numéro du marqueur concerné par l'action.
- "C3" : indique le type d'action réalisé.
- "value" : représente le nombre d'actions effectuées pour chaque tablette.

Afin d'assurer le bon fonctionnement du générateur, une étape d'étiquetage des indicateurs est requise. Ceci permet avec la description du patron de sélectionner les indicateurs clés (cf. section 7.1.4).

Nous introduisons aussi des fichiers XML présentant l'ensemble de nos modèles : indicateur, contexte utilisateur, décision, moyen de visualisation et patron.

Tableau de bord tactique

La figure 9.7 représente un premier tableau de bord d'apprentissage construit à partir de l'indicateur fourni par l'analyste qui permet d'identifier deux indicateurs clés.

Le patron sélectionné décrit un premier indicateur clé qui présente le nombre d'actions effectuées par équipe pour chaque activité. C'est un indicateur tri-dimensionnel : une dimension autour de l'individu "Person", deux dimensions autour de l'activité. Par ailleurs, le générateur a fait la correspondance avec la liste de vocabulaire afin de connaître les dimensions intéressantes à sélectionner. Ces dimensions sont les attributs "C1", "C3" et "values".

Le deuxième indicateur clé concerne le nombre d'actions effectuées dans chaque station. Le patron a décrit un deuxième indicateur clé tridimensionnel qui porte des données sur l'individu "person", l'activité et le contexte. Cela fait appel à trois attributs "C1", "C2" et "value".

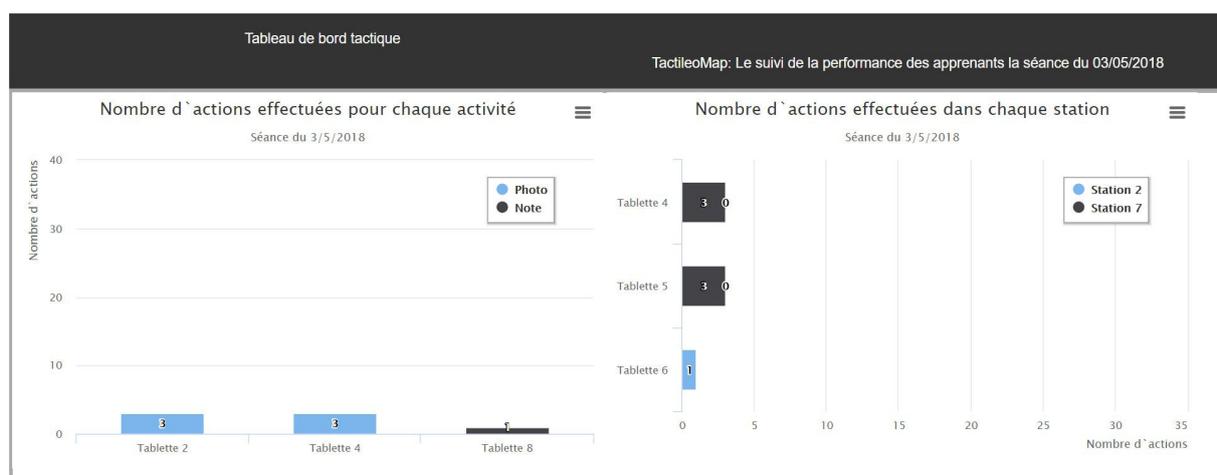


FIGURE 9.7 – Génération d'un tableau de bord tactique lors de la troisième itération

Nous indiquons que ce tableau de bord d'apprentissage généré est de niveau tactique où la consultation est effectuée a posteriori tout en présentant des indicateurs clés peu détaillés.

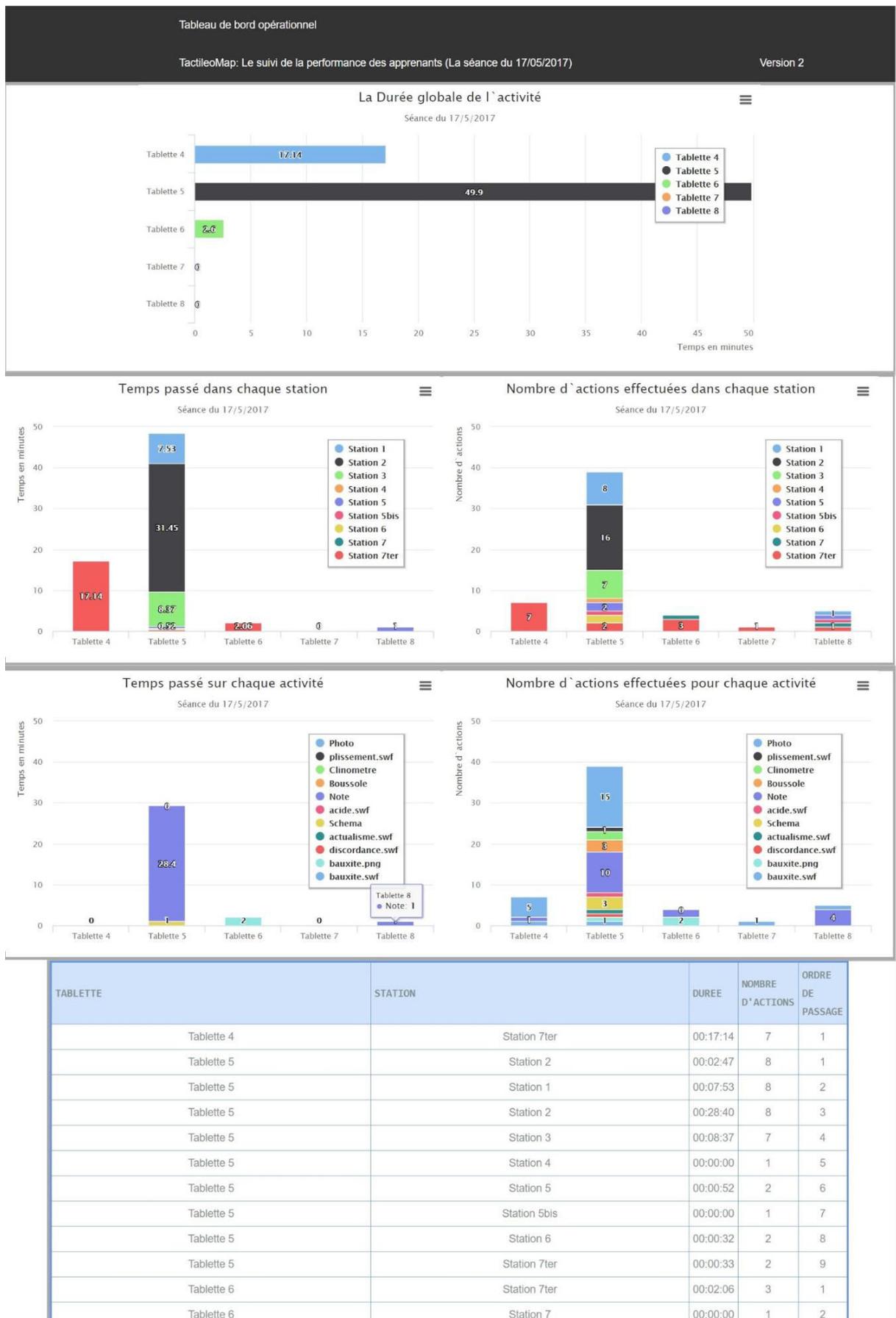


FIGURE 9.8 – Génération d'un tableau de bord opérationnel lors de la troisième itération

Tableau de bord opérationnel

Nous générons un deuxième tableau de bord d'apprentissage présenté dans la figure 9.8. Ce dernier est du niveau opérationnel. Il présente une vue avec quatre sections :

- La première section apporte une information synthétique sur le temps passé par équipe pour réaliser la totalité du scénario de jeu.
- La deuxième section comporte deux composants graphiques. Ces deux composants affichent deux indicateurs clés sur le passage des équipes dans chaque station où le premier porte une information (mesure) sur le temps de passage et le deuxième porte une information sur le nombre total d'actions effectuées par équipe dans chaque station.
- La troisième section affiche les mêmes mesures que l'indicateur clé (Temps et nombre d'actions) avec une variation des dimensions où celles à visualiser sont la tablette (considérée comme le point d'intérêt principal) et l'activité.
- La quatrième section présente l'indicateur avec toutes les dimensions proposées par l'analyste afin de fournir toutes les actions réalisées par les équipes. Cet indicateur est très détaillé, cela permet d'afficher ligne par ligne le détail des actions des équipes.

Tableau de bord stratégique

Le dernier tableau de bord d'apprentissage représente un niveau de décision stratégique (cf. fig. 9.9). Il a pour but d'aider les utilisateurs à comparer plusieurs déroulements de scénario de jeu durant une année entière dans le but de faire évoluer les prochains scénarios de jeu pour les années suivantes. Ce tableau de bord d'apprentissage ne contient que deux sections. Les deux sections présentent les mêmes indicateurs, mais dans deux périodes de temps différentes. Nous appliquons ici deux règles d'organisation : la proximité et la continuité.

- La première section comporte deux composants graphiques. Chacun des composants affiche un indicateur clé autour du nombre d'actions effectuées par équipe. Le premier composant indique des informations autour de l'activité elle-même. Le deuxième composant montre des informations autour du nombre total d'actions effectuées par équipe dans chaque station.
- La deuxième section affiche exactement les mêmes mesures que l'indicateur clé, mais sur une autre période de temps.

Le choix des moyens de visualisation était maintenu dans les deux sections afin d'assurer et de faciliter la comparaison.



FIGURE 9.9 – Génération d'un tableau de bord stratégique lors de la troisième itération

9.2 Application au cas de RearthM3

Nous testons le générateur avec un nouveau cas nommé RearthM3.

9.2.1 Présentation du jeu RearthM3

RearthM3 [Loup, 2017] est un jeu épistémique numérique (JEN) proposé dans le cadre du projet ANR JEN.lab². Un JEN est un jeu sérieux qui conduit l'apprenant à traiter des problèmes non-déterministes, complexes, pluridisciplinaires dans un contexte authentique et au travers d'une communauté [Loup *et al.*, 2015]. Le jeu RearthM3 est conçu et développé en collaboration avec certains enseignants dans le but de développer la motivation de leurs élèves. Au travers de nombreuses missions, les apprenants sont invités à utiliser des concepts en mathématiques, physique, développement durable et programmation pour la recherche, l'exploration et la colonisation d'une planète.

Pour évaluer l'impact des JEN sur la motivation et l'engagement des apprenants, une expérimentation de deux jeux était mise en place, un JEN et un JENP. Un JENP est à la fois un JEN et un jeu pervasif.

Le projet JEN.Lab présente le synopsis de la manière suivante :

Le scénario du jeu est classé en catégorie de science fiction. Dans le scénario, les apprenants agissent comme des explorateurs qui restent à bord d'un vaisseau spatial tout au long du jeu. Ils doivent collecter des données sur la planète dans le but de choisir l'endroit le plus pertinent pour installer un camp. Lors de la première étape du jeu,

2. <http://jenlab.fr/projet.html>

chaque apprenant doit explorer une partie de la planète. Pour cette phase d'exploration, les apprenants contrôlent un astromobile qui est un engin d'exploration pouvant être envoyé sur une planète. L'objectif est de le programmer afin de répartir des capteurs à la surface d'une planète (cf. fig. 9.10.(A)). Pour cela, les apprenants ont accès à un module d'observation (cf. fig. 9.10.(B)), et au journal de bord de l'astromobile (cf. fig. 9.10.(C)) pour suivre sa progression mais aussi faire des observations et anticiper les risques potentiels.

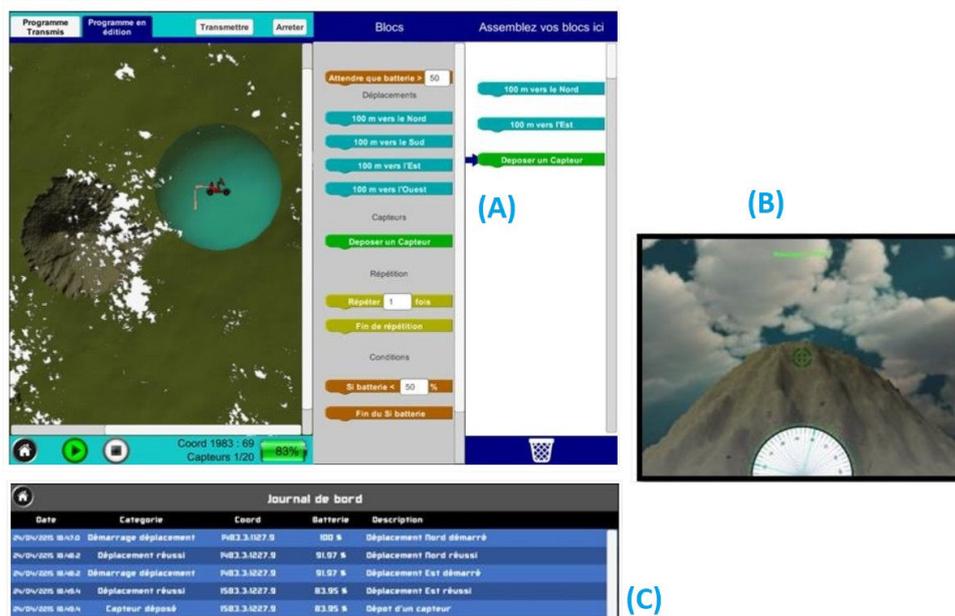


FIGURE 9.10 – Interfaces de RearthM3

La seconde étape du jeu consiste à exporter les données collectées par les capteurs. L'expérimentation de ces deux jeux JEN et JENP a permis d'obtenir les traces de 2 groupes d'apprenants de 15 élèves avec 2 enseignants pour les JEN et de 2 groupes de 15 élèves avec 2 enseignants pour les JENP.

Après cette étape, les traces collectées sont analysées afin d'avoir des indicateurs.

9.2.2 Tableaux de bord pour RearthM3

Comme première étape de visualisation de ces indicateurs, un premier tableau de bord d'apprentissage a été élaboré à l'aide de l'outil UTL. Le tableau de bord a pour but d'aider les enseignants à évaluer la motivation et l'engagement de leurs apprenants [Iksal *et al.*, 2018].

Le premier tableau de bord d'apprentissage était un tableau de bord opérationnel (cf. fig. 9.11). Les indicateurs clés sont affichés avec un niveau de détail très élevé afin de permettre aux enseignants d'avoir une idée détaillée sur les activités de chaque apprenant pendant chaque séance.

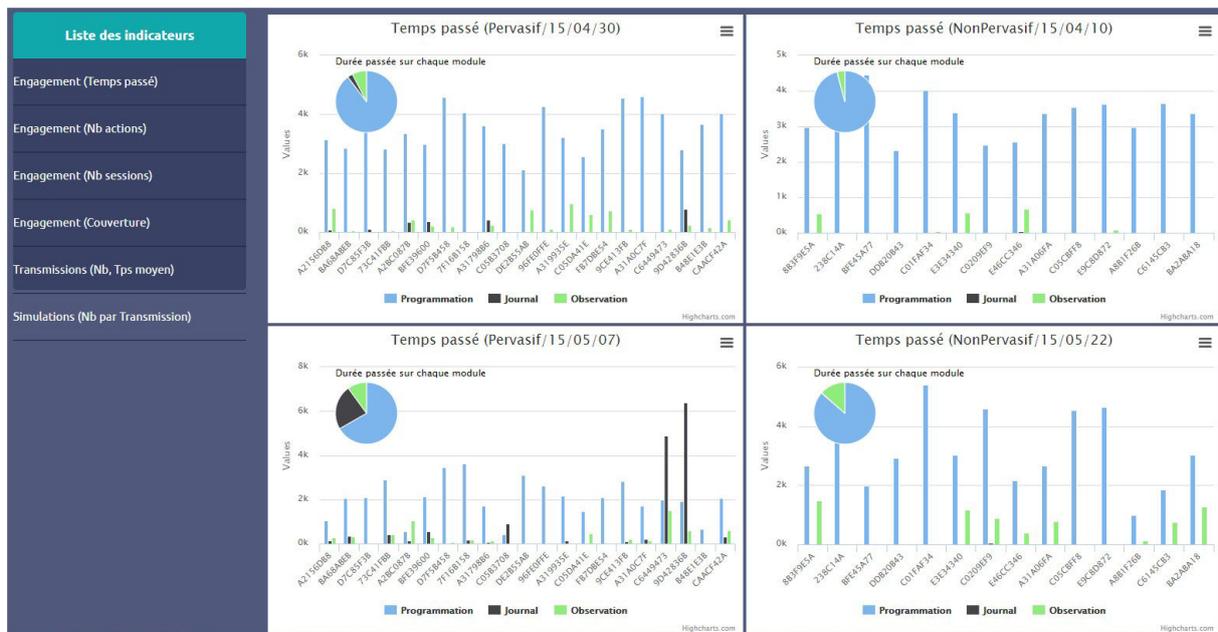


FIGURE 9.11 – Tableau de bord généré par l’outil UTL [Iksal *et al.*, 2018]

Dans le cadre de notre travail, nous proposons aux utilisateurs (chercheur et concepteur du jeu), un tableau de bord d’apprentissage de niveau stratégique. La consultation de ce tableau de bord d’apprentissage sera faite a posteriori. La décision ici sera prise à long terme afin d’aider ces utilisateurs à évaluer le prototype et à étudier l’impact du jeu à long terme.

Lors de la génération, des règles d’organisation sont appliquées comme la continuité, la proximité, la précision, etc. Le générateur crée une vue du tableau de bord d’apprentissage synthétique contenant trois sections (cf. fig. 9.12) :

- Une section présente deux indicateurs clés synthétiques permettant une comparaison entre les deux types de jeux (JEN) et (JENP). Cette section regroupe deux composants graphiques : l’un présente le nombre total d’actions et l’autre présente le taux de couverture totale effectuée par groupe (pervasif et non pervasif).
- La deuxième section présente deux composants graphiques. Chaque composant graphique décrit le temps passé par un groupe d’apprenants pervasif et non pervasif. Les deux composants graphiques présentent deux indicateurs clés permettant de comparer à chaque fois le temps passé par module (journal, observation et programmation).
- La dernière section présente aussi deux composants graphiques permettant de comparer les deux groupes pervasif et non pervasif pendant les deux séances. Les indicateurs clés présentent le nombre de sessions ouvertes durant les expérimentations pour chaque groupe.

Pour chaque section, le choix des moyens de visualisation était maintenu afin d’assurer et de faciliter la comparaison.



FIGURE 9.12 – Génération d'un tableau de bord stratégique pour RearthM3

9.3 Conclusion

L'étape d'évaluation des tableaux de bord a suivi une démarche itérative et centrée sur l'utilisateur. Nous avons testé le fonctionnement du générateur dans le cadre de deux cas d'utilisation : TactileoMap et RearthM3.

Le choix des cas d'utilisation était fait par rapport aux rôles des utilisateurs des tableaux de bord d'apprentissage. Nous avons visé dans le premier cas d'utilisation des enseignants et dans le deuxième des chercheurs et des concepteurs.

Tout d'abord, nous avons proposé une série de tableaux de bord d'apprentissage pour les enseignants impliqués dans le cas d'étude TactileoMap. Nous sommes passés par trois itérations. À l'issue de chaque itération, des tableaux de bord d'apprentissage ont été générés et évalués par des utilisateurs de TactileoMap.

L'objectif de la première itération était d'évaluer la pertinence des dimensions de conception et de raffiner les modèles de tableaux de bord d'apprentissage. Le tableau de bord d'apprentissage généré était général. En d'autres termes, nous avons généré le tableau de bord d'apprentissage conformément au résultat de l'activité wireframe présentée dans le chapitre 5. À l'issue de l'évaluation du tableau de bord d'apprentissage, nous avons constaté que les utilisateurs se projettent plus facilement dans leur décision à prendre

que dans leur objectif. Nous avons alors proposé une deuxième itération pour générer des tableaux de bord d'apprentissage en introduisant les notions de patron et de décision. La deuxième itération a confirmé que la décision est un élément central pour la génération des tableaux de bord d'apprentissage. Finalement, nous avons réalisé une troisième itération pour tester l'intégralité du générateur avec la manipulation des indicateurs sur des données réelles.

Dans le deuxième cas d'utilisation, nous avons proposé un tableau de bord stratégique pour des utilisateurs de RearthM3. Les utilisateurs visés sont les chercheurs et les concepteurs du jeu. Ce tableau de bord d'apprentissage présente les indicateurs clés issus de l'expérimentation réalisée dans le cadre du projet RearthM3.

Quatrième partie

Conclusion

Chapitre 10

Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous allons synthétiser nos réponses aux questions posées dans l'introduction de ce mémoire, puis nous dresserons des perspectives faisant suite aux différents aspects de nos travaux.

10.1 Synthèse

Les travaux présentés dans cette thèse se situent dans le cadre de l'analytique de l'apprentissage numérique en général et des tableaux de bord d'apprentissage en particulier. Une problématique concrète a été abordée, celle de l'identification des structures génériques de tableaux de bord d'apprentissage adaptés. Cette problématique a été déclinée en trois questions de recherche qui ont constitué le fil conducteur de ce travail de recherche. La réponse à nos questions de recherche correspondant aux étapes d'élaboration de tableaux de bord d'apprentissage.

Dans la section 10.1.1, nous allons tout d'abord résumer notre réponse à la question de la capture des besoins des utilisateurs. Puis la section 10.1.2 présente les modèles de tableaux de bord. La section 10.1.3 décrit notre processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage. Enfin, la section 10.1.4 fait la synthèse de l'expérimentation de génération que nous avons conduite afin de valider nos propositions.

10.1.1 Processus de capture des besoins

L'un des objectifs de cette thèse est d'identifier une méthode de capture des besoins utilisateurs afin de développer une meilleure compréhension des attentes des usagers des tableaux de bord d'apprentissage. L'idée est de fournir aux utilisateurs des tableaux de bord d'apprentissage qui répondent à leurs besoins.

Pour répondre à cette première question, nous avons étudié dans le chapitre 3 les principaux travaux concernant la capture des besoins pour la visualisation de données. Nous avons identifié deux approches : une approche centrée sur l'utilisateur et une approche participative. Nous avons suivi une démarche itérative dans le but de construire un processus participatif de capture des besoins. Pour capturer au mieux les besoins des utilisateurs, nous nous sommes basés sur un ensemble d'hypothèses à propos du contexte d'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage et des besoins d'utilisateurs.

Nous avons proposé un processus de capture des besoins développé tout au long de quatre itérations à l'aide d'un ensemble d'outils (cf. chapitre 5). L'objectif de ces itérations est de spécifier l'ensemble des dimensions de conception qui permettent de caractériser le contexte d'utilisation et la ou les structures adaptées des tableaux de bord d'apprentissage et de raffiner progressivement l'ensemble des modèles proposés.

À l'issue de cette démarche itérative, un outil de conception participatif a été proposé. Cet outil sert principalement à capturer des besoins d'utilisateurs contextualisés permettant d'explicitier les différentes dimensions de conception pour chaque tableau de bord d'apprentissage.

10.1.2 Modélisation des tableaux de bord

En réponse à la seconde question de recherche nous avons proposé, au chapitre 6, un ensemble de modèles de tableaux de bord d'apprentissage. L'objectif de la modélisation des tableaux de bord d'apprentissage est la formalisation et l'organisation des besoins utilisateurs recueillis. L'idée est de décrire les dimensions de conception qui représentent les besoins utilisateurs et de les organiser autour des modèles de tableaux de bord d'apprentissage.

Nous avons étudié aux chapitres 3 et 4, les principaux travaux concernant la modélisation de tableaux de bord. L'étude bibliographique a permis de mettre l'accent sur la place des dimensions pour la capture des besoins, la modélisation et la conception des tableaux de bord. Nous avons présenté trois applications de la méthode QQQQCP.

Nous nous sommes intéressés aussi à deux métamodèles de tableaux de bord existants [Ouali, 2016] et [Chowdhary *et al.*, 2014]. Cette analyse a mis en évidence que ces travaux précédents ne permettent pas de modéliser l'ensemble des dimensions de conception. En effet, ces métamodèles nous fournissent une base de réflexion, même si des limites sont à poser. Ils ne considèrent pas la dimension "Pourquoi?" qui concerne l'objectif du tableau de bord d'apprentissage et la décision à prendre par l'utilisateur ni la dimension "Où?" qui représente son aspect physique. Contrairement aux travaux de Ouali [2016], nous n'avons pas limité la modélisation de la dimension "Comment?" à la description des moyens de visualisation, mais nous avons proposé un modèle de composition permettant de traiter l'aspect structurel du tableau de bord d'apprentissage. L'organisation de nos modèles repose sur l'ensemble des dimensions de conception QQQQCP. L'objectif de la modélisation est de fournir des descriptions sur les besoins et les contextes utilisateurs, l'indicateur et les moyens de visualisation ainsi qu'une description pour assurer la réutilisation.

La description des besoins et contextes utilisateurs repose sur deux modèles : un modèle de contexte d'utilisateur et un modèle de décision. Le tableau de bord, en tant que notion clé dans le domaine de l'informatique décisionnelle est défini comme un support d'aide à la décision. Nous avons adopté les principes de l'informatique décisionnelle en ce qui concerne le point de vue sur les décisions de l'utilisateur. Nous proposons aussi des modèles d'indexation des indicateurs et des moyens de visualisation pour pouvoir principalement faire le lien entre le travail d'analyste et les besoins des utilisateurs.

Finalement, nous proposons un modèle de composition du tableau de bord d'apprentissage associé à un modèle de patron pour assurer la réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage dans des contextes similaires d'utilisation.

10.1.3 Génération des tableaux de bord d'apprentissage

En réponse à la dernière question de recherche nous avons proposé, au chapitre 7, un processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage. Nous avons spécifié un processus de génération sur mesure, et automatisé dans le but de produire des tableaux de bord d'apprentissage avec des indicateurs non prédéfinis.

Notre analyse de l'existant dans le chapitre 3 nous a permis d'identifier trois étapes pour la génération de tableaux de bord d'apprentissage : l'identification, l'organisation

et l'instanciation. Nous proposons un processus de génération s'inspirant des travaux de Ouali [2016] et Chowdhary *et al.* [2014], mais mieux adapté à notre contexte. En effet, nous avons suivi la démarche de génération automatique de tableaux de bord proposé par Chowdhary *et al.* [2014] en adoptant la logique de composition présente dans les travaux de Ouali [2016] et Iksal et Garlatti [2002]. L'idée est que la logique de composition permet d'assurer une réutilisation de tableaux de bord d'apprentissage dans des contextes similaires. Cependant, les deux travaux étudiés exigent une intervention technique récurrente de la part de l'utilisateur et/ou des experts pour assurer une génération des tableaux de bord d'apprentissage.

Nous avons donc proposé un processus de génération des tableaux de bord d'apprentissage permettant d'introduire et de prendre en compte automatiquement les besoins des utilisateurs. Ce processus se déroule en trois étapes et repose sur un ensemble de règles de génération.

10.1.4 Expérimentation de la génération de tableaux de bord d'apprentissage

Au chapitre 8, nous avons décrit un prototype de générateur dynamique de tableaux de bord d'apprentissage. Nous présentons, dans le chapitre 9, un ensemble de tableaux de bord d'apprentissage élaborés sur la base des besoins des utilisateurs décrits au chapitre 5. Le prototype proposé repose sur trois éléments : un ensemble d'instances des modèles conceptuels, un questionnaire et un générateur de tableaux de bord d'apprentissage. Un générateur a été développé afin de produire dynamiquement des tableaux de bord d'apprentissage selon le contexte de l'utilisateur. Le générateur prend comme entrée les éléments de contexte collectés à partir du questionnaire. Ces éléments sont considérés comme une demande de génération. Le générateur dispose de deux moteurs : l'un de création et l'autre de transformation.

Le moteur de création permet de produire un fichier de description générique de tableau de bord d'apprentissage qui représente un ensemble d'informations à destination de notre base de données afin de lui indiquer quels indicateurs et quels moyens de visualisation intéressent l'utilisateur. La création automatique de ce fichier permet sa réutilisation dans le cas où l'utilisateur n'a pas changé sa demande au niveau de la visualisation, cela évite alors de passer une nouvelle fois par l'étape de génération du tableau de bord d'apprentissage. Ce fichier est récupéré par le moteur de transformation afin d'instancier l'ensemble des composants du tableau de bord d'apprentissage, et de le transformer en une page web.

L'expérimentation que nous avons conduite valide la faisabilité de l'approche proposée de génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage. Nous allons voir dans les perspectives qui suivent comment nous envisageons de pallier certaines limites de nos propositions.

10.2 Limites et Perspectives

Nous allons dresser quelques perspectives de notre travail sous cinq aspects. Le premier aspect est lié à l'amélioration de notre générateur "*HubbleBoard Generator*". Le deuxième porte sur la co-conception de tableaux de bord d'apprentissage permettant d'enrichir le lien entre le travail des analystes et les besoins des utilisateurs. Le troisième aspect correspond à la capitalisation des tableaux de bord d'apprentissage. Le quatrième vise une évaluation du générateur et des tableaux de bord d'apprentissage plus approfondie.

Enfin, dans la dernière perspective, nous souhaitons passer à une génération de tableaux de bord d'apprentissage adaptatifs.

10.2.1 Amélioration du prototype de générateur de tableaux de bord d'apprentissage

Une première perspective est liée à l'amélioration du prototype de générateur de tableaux de bord d'apprentissage. Actuellement, le prototype permet une génération dynamique réalisée suite à une demande de la part de l'utilisateur. La demande de génération permet d'obtenir les besoins de l'utilisateur et de définir son contexte. Cependant, le prototype se limite à certaines configurations effectuées manuellement pour assurer l'organisation entre les indicateurs. D'autres améliorations sont nécessaires sur les tableaux de bord d'apprentissage générés. Nous envisageons de renforcer le lien avec les travaux des analystes afin d'assurer la réutilisation des indicateurs calculés par différents analystes travaillant sur différentes plateformes d'analyse. Notre système va devoir prendre en charge des formats d'indicateurs plus variés (autres que KTBs et UTL). Le modèle d'indicateur qui permet l'indexation de ces derniers, va devoir évoluer pour gagner en précision afin d'améliorer la sélection, mais il devra évoluer aussi au niveau de la généralité pour une plus grande ouverture vers les nombreux outils d'analyse de données.

Actuellement, le prototype permet de consulter les indicateurs uniquement à partir d'une base locale. Mais, il est nécessaire d'ouvrir les connexions vers des bases distantes pour multiplier les possibilités offertes aux utilisateurs. Cela sera d'autant plus utile que certains analystes utilisent des clusters spécifiques pour les calculs en temps réel, ce qui correspond aussi à une demande des utilisateurs (enseignants, chercheurs, ...). Enfin, il sera nécessaire de prendre en compte l'évolution des indicateurs et de gérer un rafraîchissement des tableaux de bord d'apprentissage grâce à des signaux à définir, provenant des entrepôts de données et indiquant que de nouvelles informations sont disponibles.

Durant notre phase d'évaluation, les utilisateurs ont souhaité avoir des tableaux de bord d'apprentissage plus interactifs. Nous tenons donc à intégrer non seulement des représentations visuelles, mais aussi des effets sonores comme le fait d'être informé avec des notifications d'alerte lors de la détection de situations inhabituelles. Nous devons donc intégrer dans nos modèles la description du scénario d'activité d'apprentissage pour avoir des seuils de données, des mesures d'indicateur ordonnées suivant le scénario d'activité, etc.

Nous avons identifié durant la phase de capture des besoins que certains des tableaux de bord d'apprentissage ont comme intérêt d'améliorer la collaboration entre les utilisateurs. Le prototype actuel ne permet de générer un tableau de bord d'apprentissage que pour un unique utilisateur. Il va être nécessaire de travailler sur un éditeur permettant de sélectionner et de partager ensuite un ensemble de composants graphiques. Il faudra veiller à rester conforme aux aspects éthiques des données, lors des partages.

Durant la génération des tableaux de bord d'apprentissage, le prototype ne traite pas des indicateurs portant sur des données de géo-localisation, plus particulièrement sur le rendu visuel dans des outils de cartographie existants (comme Google Maps ou OpenStreetMap). Nous envisageons de compléter notre modèle avec de nouveaux moyens de visualisation tels que les cartes géographiques, la notation par étoiles, la carte thermique, etc. Actuellement, le prototype comporte 10 moyens de visualisation classiques. C'est une petite base que nous souhaitons enrichir pour améliorer l'expérience utilisateur.

10.2.2 Co-conception des tableaux de bord d'apprentissage

Durant notre travail, nous avons proposé un outil de conception participatif de tableaux de bord d'apprentissage. Cet outil combine un plateau et des cartes supportant à la fois l'aide à la décision et la mise à disposition d'alternatives de conception. Il répond à un double objectif d'expression de besoins utilisateurs et de capitalisation de ces besoins et des tableaux de bord d'apprentissage correspondants. Les premiers retours issus d'un atelier test sont encourageants, et démontrent que cette forme d'atelier facilite effectivement la coopération et l'exploration de plusieurs alternatives. Cet outil sert à recueillir le contexte utilisateur et ses besoins. Il permet de nous fournir, grâce au prototypage sur papier, des exemples de tableaux de bord d'apprentissage.

Nous envisageons, par la suite, d'automatiser la conception participative en nous appuyant sur l'outil de génération. L'idée est d'assurer une co-conception entre les utilisateurs et l'analyste. La co-conception intègre une approche d'innovation sociale, de design, et de créativité autour de la coproduction de tableaux de bord d'apprentissage.

Nous envisageons donc de proposer une version web de notre outil de conception afin de permettre à l'utilisateur d'exprimer ses besoins par rapport au tableau de bord d'apprentissage. Cette version web sera accessible aussi par les analystes ce qui permettra d'alimenter nos modèles de manière automatique.

10.2.3 Capitalisation des tableaux de bord d'apprentissage

Nous avons étudié dans notre travail la réutilisation des tableaux de bord d'apprentissage. Nous avons proposé deux solutions pour assurer la réutilisation : un modèle de composition et un patron du tableau de bord d'apprentissage.

À court terme, nous souhaitons alimenter notre base de patrons dans le but de pouvoir proposer plus de solutions aux utilisateurs. Pour ce faire, nous envisageons d'exploiter notre outil de conception participative de tableaux de bord d'apprentissage. Nous envisageons par la suite d'expérimenter la génération de tableaux de bord d'apprentissage dans des contextes différents afin d'évaluer les possibilités de réutilisation de nos patrons. Afin de structurer cette base de patrons, nous souhaitons proposer une cartographie des tableaux de bord d'apprentissage. Cette étude doit comporter des définitions de tableaux de bord d'apprentissage par exemple par type, décision, objectif et rôle. Nous voulons travailler aussi à identifier de nouveaux éléments d'indexation de ces patrons de tableaux de bord d'apprentissage.

10.2.4 Évaluation du générateur de tableaux de bord d'apprentissage

Notre expérimentation nous a permis de valider la faisabilité de la génération automatique des tableaux de bord d'apprentissage en considérant deux cas d'étude. À cette étape du travail, nous avons mené une expérience de génération automatique qui n'était pas suffisante pour être utilisée dans un contexte d'apprentissage réel.

Il est alors nécessaire de poursuivre l'étude de validation de nos travaux en étendant l'expérimentation à des cas réels. Une étude plus large sur les utilisateurs avec un nombre représentatif d'utilisateurs doit être réalisée.

Des études complémentaires doivent être effectuées afin d'étudier l'impact des tableaux de bord d'apprentissage sur des situations d'apprentissage et sur les prises de décision. D'autres travaux sont nécessaires pour mieux comprendre comment les utilisateurs utilisent les tableaux de bord d'apprentissage, et pour observer leur comportement d'exploration de ces outils dans une étude à plus long terme. Une telle étude pourrait

nous permettre de mieux comprendre l'évolution des besoins d'un utilisateur qui acquiert de plus en plus d'expérience. En effet, une question importante à explorer est de savoir si les systèmes conçus avec des fonctionnalités limitées aident réellement les utilisateurs à évoluer et à prendre des décisions. Nous tenons à nous concentrer dans nos futurs travaux sur les connaissances acquises à partir des données pour aider à améliorer la prise de décision. Il serait intéressant d'observer comment les différentes combinaisons de visualisation affectent la compréhension et la prise de décision.

De plus, les études futures devront prendre en compte le calcul des indicateurs sur le suivi de l'utilisation des tableaux de bord d'apprentissage afin de focaliser l'évaluation sur l'utilité de ces derniers.

10.2.5 Vers une génération de tableaux de bord d'apprentissage adaptatifs

Dans notre travail, nous avons proposé un processus de génération de tableaux de bord d'apprentissage adaptés aux besoins des utilisateurs. Nous envisageons dans le futur de proposer des tableaux de bord d'apprentissage capables de s'adapter aux différents profils des utilisateurs. Ceci devient une nécessité liée à l'hétérogénéité des utilisateurs et leurs besoins variés qui sont en perpétuel changement. Un tableau de bord adaptatif doit être capable de s'adapter de lui-même aux différentes caractéristiques des utilisateurs qui sont définies à travers un modèle. De tels systèmes permettent à l'utilisateur de visualiser les indicateurs d'apprentissage en leur permettant de s'adapter à son propre contexte d'apprentissage.

Nous envisageons, en nous inspirant des systèmes hypermédia adaptatifs, d'utiliser des techniques pour assurer l'adaptation de la présentation des données, l'adaptation du contenu et l'adaptation de la navigation autrement dit la structure.

L'objectif de ces systèmes est d'augmenter leur niveau de personnalisation et d'adaptation par rapport aux besoins des utilisateurs. Nous tenons à mettre en place des techniques d'adaptation, afin de permettre une action d'auto adaptation comme la sauvegarde des historiques de l'utilisateur dans le but d'enrichir le modèle de contexte utilisateur. L'étude de l'historique de l'utilisation du tableau de bord d'apprentissage et des demandes de génération permet de détecter les changements dans le contexte utilisateur et de réagir à ces derniers en modifiant le contenu et l'organisation des tableaux de bord d'apprentissage dynamiquement.

Nous envisageons donc d'intégrer des informations sur la session de visualisation courante du tableau de bord d'apprentissage. Nous tenons à proposer aussi des règles d'adaptation. Une règle d'adaptation est une configuration qui correspond à un profil et qui répond aux exigences d'adaptation du profil [De Virgilio *et al.*, 2007]. Cependant, le modèle de contexte utilisateur actuel ne permet pas de décrire un profil détaillé d'un utilisateur. Nous devons alors affiner notre modèle. Par exemple, alors que les utilisateurs de TactileoMap ont le même rôle, nous constatons que ces derniers ne partagent pas le même profil : les connaissances en terme de visualisation, le public (Lycéens, collégiens et élèves de primaire). Ces informations influencent le choix des moyens de visualisation et des indicateurs.

Liste des publications scientifiques

- Dabbebi, I. Conception de tableaux de bord adaptatifs, contextuels et dynamiques. In Sixième Rencontre Jeunes Chercheurs en Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (RJC'EIAH 2016) (pp. 33-38).
- Dabbebi, I., Iksal, S., Gilliot, J. M., May, M., and Garlatti, S. Towards Adaptive Dashboards for Learning Analytic : An Approach for Conceptual Design and implementation. In 9th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2017) (pp. 120-131).
- Dabbebi, I. Towards Adaptive Dashboards for Learning Analytic : An Approach for Conceptual Design and implementation. In Journée des doctorants de l'école doctorale MathSTIC (JDOC 2017).
- Gilliot, J. M., Iksal, S., Medou, D., and Dabbebi, I. Conception participative de tableaux de bord d'apprentissage. In 30eme conférence francophone sur l'interaction homme-machine 2018 (pp. 119-128).
- Dabbebi, I., Gilliot, J. M., and , Iksal, S. User Centered Learning Analytics Dashboard Generation. In 11th International Conference on Computer Supported Education (CSEDU 2019) (pp. 48-56).

Bibliographie

- ABEL, T. D. et EVANS, M. (2013). Cross-disciplinary participatory & contextual design research : Creating a teacher dashboard application. *IxD&A*, 19:63–76.
- ABELA, A. (2006). Choosing a good chart. *The Extreme Presentation Method*, 6.
- ACKOFF, R. L. *et al.* (1974). Redesigning the future. *New York*, 29.
- AGUILAR, S., LONN, S. et TEASLEY, S. D. (2014). Perceptions and use of an early warning system during a higher education transition program. *In Proceedings of the fourth international conference on learning analytics and knowledge*, pages 113–117. ACM.
- ALI, L., HATALA, M., GASEVIC, D. et JOVANOVIC, J. (2012). A qualitative evaluation of evolution of a learning analytics tool. *Computers and Education*, pages 470–489.
- ANSOFF, H. I. (1965). *Corporate strategy : An analytic approach to business policy for growth and expansion*. McGraw-Hill Companies.
- ANSOFF, H. I. et BRANDENBURG, R. (1969). The general manager of the future. *California Management Review*, 11(3):61–72.
- ARNOLD, K.-E. et PISTILLI, M.-D. (2012). Course signals at Purdue : using learning analytics to increase student success. *The 2nd International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, pages 267–270.
- BAKHARIA, A., CORRIN, L., de BARBA, P., KENNEDY, G., GAŠEVIĆ, D., MULDER, R., WILLIAMS, D., DAWSON, S. et LOCKYER, L. (2016). A conceptual framework linking learning design with learning analytics. *In Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, pages 329–338. ACM.
- BARA, A., BOTHA, I., DIACONITA, V., LUNGU, I., VELICANU, A. et VELICANU, M. (2009). A model for business intelligence systems' development. *Informatica Economica*, 13(4):99.
- BILLSUS, D. et PAZZANI, M. J. (2000). User modeling for adaptive news access. *User modeling and user-adapted interaction*, 10(2-3):147–180.
- BLANCHET, A. et GOTMAN, A. (2010). L'entretien : L'enquête et ses méthodes. *Paris : Armand Colin*, 978.
- BOBILLIER-CHAUMON, M.-E., CARVALLO, S., TARPIN-BERNARD, F. et VACHERAND-REVEL, J. (2005). Standardiser ou adapter les interactions personnes-machines? *Revue des Interactions Humaines Médiatisées (RIHM)= Journal of Human Mediated Interactions*, 6(2):91–129.

- BOURMAUD, G. (2006). *Les systèmes d'instruments : méthodes d'analyse et perspectives de conception*. Thèse de doctorat, Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis.
- BRÉCHON, P. (2015). *Enquêtes qualitatives, enquêtes quantitatives*. Presses universitaires de Grenoble.
- BROHMAN, M. K., PARENT, M., PEARCE, M. R. et WADE, M. (2000). The business intelligence value chain : Data-driven decision support in a data warehouse environment : An exploratory study. *In System Sciences, 2000. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on*, pages 10–pp. IEEE.
- BROOS, T., VERBERT, K., LANGIE, G., VAN SOOM, C. et DE LAET, T. (2018). Multi-institutional positioning test feedback dashboard for aspiring students : lessons learnt from a case study in flanders. *In Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, pages 51–55. ACM.
- BROUNS, F., ZORRILLA PANTALEÓN, M. E., SOLANA GONZÁLEZ, P., COBO ORTEGA, Á., COLLANTES VIAÑA, M., RODRÍGUEZ HOYO, C., DE LIMA SILVA, M., MARTA-LAZO, C., GABELAS BARROSO, J. A., ARRANZ, P. *et al.* (2015). Eco d2. 5 learning analytics requirements and metrics report.
- BRUSILOVSKY, P. (1998). Methods and techniques of adaptive hypermedia. *In Adaptive hypertext and hypermedia*, pages 1–43. Springer.
- BUECKLE, M. G. N. S. A. et BÖRNER, K. (2017). Empowering instructors in learning management systems : interactive heat map analytics dashboard. *Retrieved November, 2:2017*.
- CAREY, M. A. et ASBURY, J.-E. (2016). *Focus group research*. Routledge.
- CHAKER, H. (2012). *Une approche de gestion de contextes métiers pour l'accès à l'information*. Thèse de doctorat.
- CHAMBERLIN, D. (2002). Xquery : An xml query language. *IBM systems journal*, 41(4): 597–615.
- CHARLEER, S., ODRIOZOLA, S., LUIS, J., KLERKX, J. et DUVAL, E. (2014). Laræ : Learning analytics reflection & awareness environment. *In CEUR Workshop Proceedings*, volume 1238, pages 85–87. CEUR-WS.
- CHARLET, J. (2003). L'ingénierie des connaissances. *Développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, université Pierre et Marie Curie*.
- CHATTI, M. A., DYCKHOFF, A. L., SCHROEDER, U. et THÜS, H. (2012). A reference model for learning analytics. *International Journal of Technology Enhanced Learning*, 4(5-6):318–331.
- CHOQUET, C. et IKSAL, S. (2007). Modélisation et construction de traces d'utilisation d'une activité d'apprentissage : une approche langage pour la réingénierie d'un EIAH. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 14:24–pages.

- CHOWDHARY, P., PALPANAS, T., PINEL, F., CHEN, S.-K. et WU, F. Y. (2006). Model-driven dashboards for business performance reporting. *In Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2006. EDOC'06. 10th IEEE International*, pages 374–386. IEEE.
- CHOWDHARY, P. R., PINEL, F. A., PALPANAS, T. et CHEN, S.-K. (2014). System and method for model-driven dashboard for business performance management. US Patent 8,843,883.
- CISEL, M. (2017). Livrable 2.5 - une typologie de méthodes d'évaluation des interfaces appliquée aux tableaux de bord des eiah cisel.
- COMMITTEE, D. A. *et al.* (2002). *Glossary of key terms in evaluation and results based management*.
- CORRIN, L. et de BARBA, P. (2014). Exploring students' interpretation of feedback delivered through learning analytics dashboards. *In Proceedings of the ascilite 2014 conference*, pages 629–633.
- CRAMPTON, J. W. (2001). Maps as social constructions : power, communication and visualization. *Progress in human Geography*, 25(2):235–252.
- DE VIRGILIO, R., TORLONE, R. et HOUBEN, G.-J. (2007). Rule-based adaptation of web information systems. *World Wide Web*, 10(4):443–470.
- DIMITRACOPOULOU, A. et BRUILLARD, É. (2006). Enrichir les interfaces de forums par la visualisation d'analyses automatiques des interactions et du contenu. *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, 13:40–pages.
- DIMITRACOPOULOU, A., PETROU, A., MARTINEZ, A., MARCOS, J. A., KOLLIAS, V., JERMANN, P., HARRER, A., DIMITRIADIS, Y. et BOLLEN, L. (2006). State of the art of interaction analysis for metacognitive support & diagnosis.
- DIMOPOULOS, I., PETROPOULOU, O., BOLOUDAKIS, M. et RETALIS, S. (2013). Using learning analytics in moodle for assessing students' performance.
- DOROFTEI, D., DE CUBBER, G., WAGEMANS, R., MATOS, A., SILVA, E., LOBO, V., CARDOSO, G., CHINTAMANI, K., GOVINDARAJ, S., GANCET, J. *et al.* (2017). User-centered design. *In Search and Rescue Robotics-From Theory to Practice*. InTech.
- DORRINGTON, P., WILKINSON, C., TASKER, L. et WALTERS, A. (2016). User-centered design method for the design of assistive switch devices to improve user experience, accessibility, and independence. *Journal of Usability Studies*, 11(2):66–82.
- DUNCAN, S. (2003). Component software : Beyond object-oriented programming. *Software Quality Professional*, 5(4):42.
- ECKERSON, W. W. (2006). Creating effective kpis. *Information Management*, 16(6):15.
- ELBASHIR, M. Z., COLLIER, P. A. et DAVERN, M. J. (2008). Measuring the effects of business intelligence systems : The relationship between business process and organizational performance. *International Journal of Accounting Information Systems*, 9(3):135–153.

- ELIAS, M. (2012). *Enhancing User Interaction with Business Intelligence Dashboards*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris.
- FENNETEAU, H. (2015). *Enquête : entretien et questionnaire*. Dunod.
- FEW, S. (2013). *Information Dashboard Design : Displaying data for at-a-glance monitoring*. Burlingame, CA : Analytics Press.
- FINK, J., KOBZA, A. et NILL, A. (1996). User-oriented adaptivity and adaptability in the avanti project. *In Designing for the Web : empirical studies*. Citeseer.
- FLINT, L. N. (1917). *Newspaper writing in high schools : Containing an outline for the use of teachers*. Pub. from the Department of journalism Press in the University of Kansas.
- GOLDSTEIN, P. et KATZ, R. (2005). Academic analytics : The uses of management information and technology in higher education : Educause.
- GOLFARELLI, M., RIZZI, S. et CELLA, I. (2004). Beyond data warehousing : what's next in business intelligence? *In Proceedings of the 7th ACM international workshop on Data warehousing and OLAP*, pages 1–6. ACM.
- GRUBER, T. R., VEMURI, S. et RICE, J. (1997). Model-based virtual document generation. *International journal of human-computer studies*, 46(6):687–706.
- HALLIFAX, S., SERNA, A., MARTY, J.-C. et LAVOUÉ, E. (2018). A design space for meaningful structural gamification. *In Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '18*, pages LBW073 :1–LBW073 :6, New York, NY, USA. ACM.
- HANNULA, M. et PIIRTIMAKI, V. (2003). Business intelligence empirical study on the top 50 finnish companies. *Journal of American Academy of Business*, 2(2):593–599.
- HOLSTEIN, K., HONG, G., TEGENE, M., MCLAREN, B. M. et ALEVEN, V. (2018). The classroom as a dashboard : co-designing wearable cognitive augmentation for k-12 teachers. *In Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, pages 79–88. ACM.
- HÖÖK, K., KARLGREN, J., WÆRN, A., DAHLBÄCK, N., JANSSON, C. G., KARLGREN, K. et LEMAIRE, B. (1998). A glass box approach to adaptive hypermedia. *In Adaptive hypertext and hypermedia*, pages 143–170. Springer.
- HULIN, T. (2010). Apprentissage et représentations de la recherche d'information experte avec des traces d'activité. *Les enjeux de l'information et de la communication*.
- IKSAL, S. (2002). *Spécification déclarative et composition sémantique pour des documents virtuels personnalisables*. Thèse de doctorat, Paris, EHESS.
- IKSAL, S. (2012). Ingénierie de l'observation basée sur la prescription en eiah. *Habilitation à diriger des recherches*.
- IKSAL, S. et GARLATTI, S. (2002). Adaptive special reports for on-line newspapers. *Personalization Techniques in Electronic Publishing on the Web : Trends and Perspectives*, page 31.

- IKSAL, S., LEFEVRE, M., BROISIN, J., CHAMPALLE, O., FONTANIEU, V., MICHEL, C. et YESSAD, A. (2018). Learning analytics : Cas d’usage général utilisant les outils de la recherche française.
- JI, M., MICHEL, C., LAVOUÉ, E. et GEORGE, S. (2014). Ddart, a dynamic dashboard for collection, analysis and visualization of activity and reporting traces. *In European Conference on Technology Enhanced Learning*, pages 440–445. Springer.
- JIVET, I., SCHEFFEL, M., SPECHT, M. et DRACHSLER, H. (2018). License to evaluate : preparing learning analytics dashboards for educational practice. *In Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics and Knowledge*, pages 31–40. ACM.
- JOKELA, T., IIVARI, N., MATERO, J. et KARUKKA, M. (2003). The standard of user-centered design and the standard definition of usability : analyzing iso 13407 against iso 9241-11. *ACM*, pages 53–60.
- JOKSTE, L. et GRABIS, J. (2017). Rule based adaptation : literature review. *In Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference. Volume II*, volume 42, page 46.
- KAPROS, E. et PEIRCE, N. (2014). Empowering l&d managers through customisation of inline learning analytics. *In International Conference on Learning and Collaboration Technologies*, pages 282–291. Springer.
- KEIM, D. A., LEE, J. P., THURASINGHAMAN, B. et WITTENBRINK, C. (1995). Database issues for data visualization : supporting interactive database exploration. *In Workshop on Database Issues for Data Visualization*, pages 12–25. Springer.
- KIENZLE, J., YU, Y. et XIONG, J. (2003). On composition and reuse of aspects. *In Proc. of the 2nd Foundations of Aspect-oriented Languages Workshop at AOSD*, pages 17–24.
- KNAFLIC, C. N. (2015). *Storytelling with data : A data visualization guide for business professionals*. John Wiley & Sons.
- KNIBBE, C. (2016a). *Concevoir avec des technologies émergentes pour la construction conjointe des pratiques et des artefacts : apports d’une méthodologie participative à l’innovation technologique et pédagogique*. Thèse de doctorat, Conservatoire national des arts et métiers-CNAM.
- KNIBBE, C. (2016b). *Concevoir avec des technologies émergentes pour la construction conjointe des pratiques et des artefacts : apports d’une méthodologie participative à l’innovation technologique et pédagogique*. Theses, Conservatoire national des arts et métiers - CNAM.
- KUFLIK, T. et POTERIAYKINA, K. (2009). User model on a key. *In Proceedings of the 20th ACM conference on Hypertext and hypermedia*, pages 371–372. ACM.
- LABARTHE, H. et LUENGO, V. (2016). *L’analytique des apprentissages numériques*. Thèse de doctorat, LIP6-Laboratoire d’Informatique de Paris 6.
- LANTER, D. et ESSINGER, R. (2016). User-centered design. *International Encyclopedia of Geography : People, the Earth, Environment and Technology*, pages 1–4.

- LARSON, D. et CHANG, V. (2016). A review and future direction of agile, business intelligence, analytics and data science. *International Journal of Information Management*, 36(5):700–710.
- LARUSSON, J. A. et WHITE, B. (2014). *Learning analytics : From research to practice*, volume 13. Springer.
- LEBIS, A., LEFEVRE, M., LUENGO, V. et GUIN, N. (2016). Towards a capitalization of processes analyzing learning interaction traces. In *European Conference on Technology Enhanced Learning*, pages 397–403. Springer.
- LEITNER, P., KHALIL, M. et EBNER, M. (2017). Learning analytics in higher education—a literature review. In *Learning analytics : Fundamentals, applications, and trends*, pages 1–23. Springer.
- LLOYD, D. et DYKES, J. (2011). Human-centered approaches in geovisualization design : Investigating multiple methods through a long-term case study. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(12):2498–2507.
- LOUP, G. (2017). *Design and development of immersive interactions for serious games*. Theses, Université du Maine.
- LOUP, G., GEORGE, S. et SERNA, A. (2015). Fondements et caractérisation des jeux épistémiques numériques pervasifs. In *7ème Conférence sur les Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (EIAH 2015)*, pages 41–52.
- LUCERO, A., DALSGAARD, P., HALSKOV, K. et BUUR, J. (2016). Designing with cards. In *Collaboration in Creative Design*, pages 75–95. Springer.
- LUENGO, V. (2014). Projet anr hubble human observatory based on analysis of e-learning traces.
- LUENGO, V., GUIN, N., BOUHINEAU, D., DAUBIAS, P., BRUILLARD, E., IKSAL, S., GARLATTI, S., PRIÉ, Y. et KUZNIAK, R. (2019). Hubble, un observatoire des analyses des traces. Research report, ANR (Agence Nationale de la Recherche - France).
- MACKAY, W. et FAYARD, A.-L. (1997). Radicalement nouveau et néanmoins familier : les strips papiers revus par la réalité augmentée. *Actes des journées IHM*, 97.
- MANN, W. C. et THOMPSON, S. A. (1988). Rhetorical structure theory : Toward a functional theory of text organization. *Text-Interdisciplinary Journal for the Study of Discourse*, 8(3):243–281.
- MARTINS, A. F., ALVES, A. C. et LEÃO, C. P. (2017). Development and implementation of dashboards for operational monitoring using participatory design in a lean context. In *International Symposium on Qualitative Research*, pages 237–249. Springer.
- MAY, M., GEORGE, S. et PRÉVÔT, P. (2011). TrAVis to Enhance Students Self-monitoring in Online Learning Supported by Computer-Mediated Communication Tools. *Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 3:623–634.
- MAZZA, R. et BOTTURI, L. (2007). Monitoring an online course with the gismo tool : A case study. *Journal of Interactive Learning Research*, 18(2):251–265.

- MAZZA, R. et DIMITROVA, V. (2007). CourseVis : A graphical student monitoring tool for supporting instructors in web-based distance courses. *International Journal of Human Computer Studies*, 65:125–139.
- MAZZA, R. et MILANI, C. (2004). GISMO : a Graphical Interactive Student Monitoring Tool for Course Management Systems. *Technology Enhanced Learning International Conference. Milan*, pages 18–19.
- MCKENNA, S., STAHELI, D. et MEYER, M. (2015). Unlocking user-centered design methods for building cyber security visualizations. In *Visualization for Cyber Security (VizSec), 2015 IEEE Symposium on*, pages 1–8. IEEE.
- MEJIA, C., BULL, S., VATRAPU, R., FLORIAN, B. et FABREGAT, R. (2012). Pada : a dashboard of learning analytics for university students with dyslexia. In *Last ScandLE Seminar in Copenhagen*, pages 9–11.
- MIKSCH, S. et AIGNER, W. (2014). A matter of time : Applying a data–users–tasks design triangle to visual analytics of time-oriented data. *Computers & Graphics*, 38:286–290.
- MITREUTER, U., UNGER, S. et ZYGAN-MAUS, R. (2003). Method for identifying internet users. US Patent App. 10/221,570.
- MUNTEAN, M. et CABAU, L. G. (2011). Business intelligence approach in a business performance context.
- MUSLIM, A., CHATTI, M. A., MUGHAL, M. et SCHROEDER, U. (2017). The goal-question-indicator approach for personalized learning analytics. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education*, volume 1, pages 371–378.
- NEGASH, S. (2004). Business intelligence. *Communications of the association for information systems*, 13(1):15.
- OPPERMANN, R. et al. (1994). Adaptively supported adaptability. *International Journal of Human Computer Studies*, 40(3):455–472.
- OSTERWALDER, A. et PIGNEUR, Y. (2010). *Business model generation : a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.
- OUALI, M. A. (2016). *Modélisation outillée d’une stratégie contextualisée d’observation dans le cadre d’un environnement d’apprentissage*. Thèse de doctorat, Université du Maine.
- OUALI, M. A., IKSAL, S. et LAFORCADE, P. (2014). Observation strategy : specification and user processes. In *Advanced Learning Technologies (ICALT), 2014 IEEE 14th International Conference on*, pages 370–372. IEEE.
- PACKHAM, I., RAFIQ, M., BORTHWICK, M. et DENHAM, S. (2004). Interactive visualisation for decision support and evaluation of robustness using evolutionary computing. In *Proc., 11th Int. Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering*, pages 86–95.
- PARK, Y. et JO, I. H. (2015). Development of the Learning Analytics Dashboard to Support Students Learning Performance. *UCS*, pages 110–133.

- PARMENTER, D. (2015). *Key performance indicators : developing, implementing, and using winning KPIs*. John Wiley & Sons.
- PAUWELS, K., AMBLER, T., CLARK, B. H., LAPOINTE, P., REIBSTEIN, D., SKIERA, B., WIERENGA, B. et WIESEL, T. (2009). Dashboards as a service : why, what, how, and what research is needed? *Journal of Service Research*, 12(2):175–189.
- RAHMAN, A. A., ADAMU, Y. B. et HARUN, P. (2017). Review on dashboard application from managerial perspective. *In Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS), 2017 International Conference on*, pages 1–5. IEEE.
- RASMUSSEN, N. H., BANSAL, M. et CHEN, C. Y. (2009). *Business dashboards : a visual catalog for design and deployment*. John Wiley & Sons.
- RIVERO, J. M., GRIGERA, J., ROSSI, G., LUNA, E. R., MONTERO, F. et GAEDKE, M. (2014). Mockup-driven development : providing agile support for model-driven web engineering. *Information and Software Technology*, 56(6):670–687.
- ROGERS, Y., SHARP, H. et PREECE, J. (2011). *Interaction design : beyond human-computer interaction*. John Wiley & Sons.
- ROY, B. (2013). *Multicriteria methodology for decision aiding*, volume 12. Springer Science & Business Media.
- ROY, B. et BOUYSSOU, D. (1993). *Aide multicritère à la décision : méthodes et cas*. Economica Paris.
- SAATY, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1):83–98.
- SANCHEZ, E., GRYL, I. et JEKEL, T. (2014). *Learning and teaching with geomedia*. Cambridge Scholars Publishing.
- SANCHEZ, E., KALMPOURTZIS, G., CAZES, J., BERTHOIX, M. et MONOD-ANSALDI, R. (2015). Learning with Tactileo Map : From Gamification to Ludicization of Fieldwork. *GI_Fourm Journal for Geographic Information Science*.
- SANDERS, E. B.-N. (2003). From user-centered to participatory design approaches. *In Design and the social sciences*, pages 18–25. CRC Press.
- SANDERS, E. B.-N., BRANDT, E. et BINDER, T. (2010). A framework for organizing the tools and techniques of participatory design. *In Proceedings of the 11th Biennial Participatory Design Conference*, PDC '10, pages 195–198, New York, NY, USA. ACM.
- SANDERS, E. B.-N. et STAPPERS, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *Co-design*, 4(1):5–18.
- SARDAIN, A., TANG, C. et POTVIN, C. (2016). Towards a dashboard of sustainability indicators for panama : A participatory approach. *Ecological indicators*, 70:545–556.
- SCHEUREN, F. (2004). What is a survey? American Statistical Association Alexandria.
- SCHNEIDER, J. et PASSANT, A. (2012). Envisioning a discussion dashboard for collective intelligence of web conversations. *Collective Intelligence as Community Discourse and Action*.

- SCHWENDIMANN, B. A., RODRIGUEZ-TRIANA, M. J., VOZNIUK, A., PRIETO, L. P., BOROUJENI, M. S., HOLZER, A., GILLET, D. et DILLENBOURG, P. (2017). Perceiving learning at a glance : A systematic literature review of learning dashboard research. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(1):30–41.
- SEHABA, K. (2014). Adaptation dynamique des Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. working paper or preprint.
- SEIFY, M. (2010). Importance of kpi in bi system, case study : Iranian industries. *In Information Technology : New Generations (ITNG), 2010 Seventh International Conference on*, pages 1245–1246. IEEE.
- SELMER, C. (2011). *Concevoir le tableau de bord-3e édition : Outils de contrôle, de pilotage et d'aide à la décision*. Dunod.
- SHAW, M. (2012). The role of design spaces. *IEEE software*, 29:46–50.
- SHEMWELL, S. (2005). Futuristic decision-making. *Executive Briefing Business Value from*.
- SHEN, X., TAN, B. et ZHAI, C. (2005). Implicit user modeling for personalized search. *In Proceedings of the 14th ACM international conference on Information and knowledge management*, pages 824–831. ACM.
- SIEMENS, G., GASEVIC, D., HAYTHORNTHWAITE, C., DAWSON, S. P., SHUM, S., FERGUSON, R., DUVAL, E., VERBERT, K., BAKER, R. *et al.* (2011). Open learning analytics : an integrated & modularized platform. *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, pages 1–20.
- SIMON, H. A. (1960). The new science of management decision.
- SPINUZZI, C. (2005). The methodology of participatory design. *Technical communication*, 52(2):163–174.
- STODDER, D. (2013). Data visualization and discovery for better business decisions. *TDWI Research*.
- TRISCHLER, J., PERVAN, S. J., KELLY, S. J. et SCOTT, D. R. (2018). The value of codesign : The effect of customer involvement in service design teams. *Journal of Service Research*, 21(1):75–100.
- VALENTI, D. *et al.* (2016). Implantação de ferramenta open source de business intelligence para gerenciamento de clientes com grande número de usuários.
- VAN HARMELEN, M. et WORKMAN, D. (2012). Analytics for learning and teaching. *CETIS Analytics Series*, 1(3):1–40.
- VAN LEEUWEN, A., van WERMESKERKEN, M., ERKENS, G. et RUMMEL, N. (2017). Measuring teacher sense making strategies of learning analytics : a case study. *Learning : Research and Practice*, 3(1):42–58.
- VAN RYSEGHEM, B., DUCASSE, S. et FABRY, J. (2014). Seamless composition and reuse of customizable user interfaces with spec. *Science of Computer Programming*, 96:34–51.

- VENANT, R. (2016). Evaluation et visualisation de la performance de l'apprenant lors d'une activité pratique. In *6emes Rencontres Jeunes Chercheurs en Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain (RJC-EIAH 2016)*, pages pp-39.
- VERBERT, K., DUVAL, E., KLERKX, J., GOVAERTS, S. et SANTOS, J. L. (2013). Learning Analytics Dashboard Applications. *American Behavioral Scientist*, 57:1500-1509.
- VILATTE, J.-C. (2007). L'entretien comme outil d'évaluation. *Laboratoire Culture et communication, Université d'Avignon*, pages 41-42.
- WANG, X., MILLER, E., SMARICK, K., RIBARSKY, W. et CHANG, R. (2008). Investigative visual analysis of global terrorism. In *Computer Graphics Forum*, volume 27, pages 919-926. Wiley Online Library.
- WARD, M. O., GRINSTEIN, G. et KEIM, D. (2015). *Interactive data visualization : foundations, techniques, and applications*. AK Peters/CRC Press.
- XHAKAJ, F., ALEVEN, V. et MCLAREN, B. M. (2017). Effects of a teacher dashboard for an intelligent tutoring system on teacher knowledge, lesson planning, lessons and student learning. In *European Conference on Technology Enhanced Learning*, pages 315-329. Springer.
- XU, X. et BIRGE, J. R. (2008). Operational decisions, capital structure, and managerial compensation : A news vendor perspective. *The Engineering Economist*, 53(3):173-196.
- YOO, Y., LEE, H., JO, I.-H. et PARK, Y. (2015). Educational dashboards for smart learning : Review of case studies. In *Emerging issues in smart learning*, pages 145-155. Springer.

Annexe A

Questionnaire de capture des besoins

Dimension “Qui” : Identification des utilisateurs et leurs contextes (cas d’étude, activités d’apprentissage, etc.)	
Noms et prénoms des personnes qui remplissent le questionnaire	
Votre laboratoire/ Équipe	
Cas d’étude concerné	
Titre du scénario d’analyse	
Quel est le nombre d’utilisateurs impliqué dans ce scénario d’analyse ?	
Liste des utilisateurs impliqués	Nous faisons la distinction entre les auteurs du questionnaire et les utilisateurs effectifs des tableaux de bord.
Rôles des utilisateurs qui sont intéressés par la visualisation.	Il est question ici d’identifier les catégories d’utilisateurs afin éventuellement d’élaborer des catégories.
Quelles sont les caractéristiques de chaque utilisateur ? Exemple : moyenne d’âge, niveau d’expérience, etc.	Il est question ici d’obtenir des informations spécifiques à chaque utilisateur.
L’utilisateur a-t-il des connaissances dans le domaine de la visualisation ? (oui/non) si oui : Définir les préférences de visualisation.	Cette question permet de définir les connaissances de l’utilisateur, et aussi de renseigner ses préférences.
Dimension “Pourquoi” : Expression des objectifs de visualisation	
Quel est l’objectif d’observation de chaque utilisateur ?	Cette question est primordiale pour comprendre ce que veut faire l’utilisateur avec le tableau de bord.
Dimension “Quoi” : Expression des besoins en termes d’indicateurs	
Quels sont les indicateurs à visualiser pour chaque utilisateur ? Description d’un ou plusieurs indicateurs, nom des indicateurs, référence à un document, etc.	Lorsque le scénario d’analyse a été réalisé, cette information nous permet de savoir précisément quelles informations sont à présenter.
Pourquoi l’utilisateur veut-il visualiser ces indicateurs ?	Il s’agit ici de comprendre l’intérêt de l’indicateur pour l’utilisateur, afin d’appréhender plus facilement son usage.
En fonction de quoi l’utilisateur visualise ces indicateurs ?	Il s’agit ici d’identifier l’axe principal de représentation de l’information.
Dimension “Comment” : Présentation des tableaux de bord	
Comment l’utilisateur veut-il visualiser cet indicateur ? Charte graphique récapitulatif et comparatif, type de graphique récapitulatif détaillé, instantané ou synchrone, etc.	Définition des préférences des utilisateurs en termes de représentation des données.
En cas de modification de la visualisation de cet indicateur. Comment voulez-vous présenter ce changement ?	Cette question permet de comprendre les changements demandés.
L’utilisateur a-t-il besoin des mécanismes de collaboration et d’interaction ?	Nous étudions ici les besoins liés à la collaboration sur la prise de décision grâce aux tableaux de bord.
Est-ce que le tableau de bord doit être partagé entre plusieurs personnes en même temps ? (oui/ non) Si oui : précisez les différents utilisateurs qui partagent le même tableau de bord	La notion de partage de tableaux de bord entre plusieurs décideurs a souvent été évoquée, nous regardons ici les demandes des utilisateurs.
Dimension “Quand” : Description de l’aspect temporel du tableau de bord	
Quelle est la modalité de visualisation des indicateurs ? En temps réel, après session, hybride	Cette information est nécessaire pour prendre en compte le rafraîchissement des indicateurs.
Dans quel cas l’utilisateur peut changer la présentation de cet indicateur ?	Il est question ici d’identifier éventuellement des possibilités d’interactivité ou d’adaptation.
Dimension “Où” : Description de l’aspect physique du tableau de bord	
Où vous allez visualiser le tableau de bord ?	Il s’agit de décrire le contexte d’utilisation du tableau de bord : Face à face ou à distance
Est-ce que vous avez d’autres informations qui pourraient être utiles ?	Ici, nous sommes ouverts à la créativité et à l’imagination des utilisateurs sur leurs visions des tableaux de bord.
Remarques à prendre en compte pour améliorer la grille	Cette grille étant une première version, nous permettons aux utilisateurs de proposer des évolutions

TABLE A.1 – Description des éléments du questionnaire

Annexe B

Vue comparative de tableaux de bord d'apprentissage

Nous présentons dans les tableaux ci-dessous, une vue comparative détaillée entre les tableaux de bord d'apprentissage existants en fonction des dimensions de conception. Nous identifions, dans chaque travaux, les éléments et les champs définissant chacune des dimensions.

TABLE B.1 – Étude comparative des tableaux de bord d'apprentissage existants

Travaux		Progress Statistics (PS) Van Leeuwen <i>et al.</i> [2017]	Gismo Mazza et Botturi [2007]	HeatMap Bueckle et Börner [2017]
Qui	Rôle	Enseignant	Enseignant	Enseignant
Pourquoi	Objectif	Suivi des autres : Intervention et orchestration de la classe	Suivi des autres : Évaluation de la performance des apprenants	Suivi des autres : Suivre l'engagement des apprenants
Quoi	Type	Résultat (le nombre des mots écrits)	Résultat, Apprenant, Temps, Action	Contenu de cours, Apprenant, Action (le nombre de connexions) Temps (temps d'apprentissage),
	Nature	prédéfini	Prédéfini	Prédéfini
	Niveau d'analyse	Seul niveau	Deux niveaux : synthétique et détaillé	Seul niveau
	Source de données	Multiple : Chat et éditeur de texte	Unique (Moodle)	-
	Activité d'apprentissage	Rédaction	Activités sur Moodle	Activités scolaires
	Point d'intérêt	Apprenant	Apprenant	Apprenant
Comment	Moyen de visualisation	Diagramme à barre	Carte thermique, diagramme de colonne, Nuages à point	Carte thermique
	Structure	Page unique	Page multiple	Page multiple
Quand	Temps d'observation	Séance	Séance	Hebdomadaire
	Temps d'utilisation	Temps réel	A posteriori	A posteriori
Où	Contexte d'apprentissage	En classe	En ligne	En classe

Travaux		LARAE Charleer <i>et al.</i> [2014]	LAB4CE Venant [2016]	LAPA Park et Jo [2015]
Qui	Rôle	Enseignant	Apprenant	Apprenant
Pourquoi	Objectif	Suivi des autres : suivre l'activité des apprenants sur les réseau social	Auto suivi : suivre le progrès des apprenants	Auto suivi
Quoi	Type	Apprenant (progrès), Action (Interaction), Contenu	Apprenant, Résultat	Apprenant (rendement), Action (connexion)
	Nature	Prédéfini	Prédéfini	prédéfini
	Niveau d'analyse	Seul niveau	Seul niveau	seul niveau
	Source de données	Multiple (Blog, de commentaires et Twitter)	Unique	unique
	Activité d'apprentissage	Travail de groupe : Rédaction d'un rapport	Travaux pratique	-
	Point d'intérêt	Apprenant, Contenu	Apprenant, Résultat	Apprenant
Comment	Moyen de visualisation	Badge, Texte	Carte thermique	Diagramme de colonne, Diagramme circulaire, les nuages à point
	Structure	Page unique : multi-sections	Page unique	Page unique
Quand	Temps d'observation	Hebdomadaire	Séance	Hebdomadaire, Semestre
	Temps d'utilisation	A posteriori	Temps réel et a posteriori	Temps réel et a posteriori
Où	Contexte d'apprentissage	En ligne	En ligne	En ligne

Travaux		Student Explorer Aguilar <i>et al.</i> [2014]	Corrin et de Barba [2014]	Abel et Evans [2013]
Qui	Rôle	Enseignant	Apprenant	Enseignant
Pourquoi	Objectif	Suivi des autres : suivre les efforts et le rendement des apprenants à risque. Faciliter les interventions opportunes	Auto suivi : Évaluer la motivation des apprenants	Suivi des autres
Quoi	Type	Apprenant, Résultat (notes)	Apprenant, Résultat (notes)	Apprenants, Résultat, Action, Temps
	Nature	Prédéfini	Prédéfini	Prédéfini
	Niveau d'analyse	Deux niveaux (Vue synthétique et détaillée)	Seul niveau	Trois niveaux (individu, classe, école)
	Source de données	-	-	-
	Activité d'apprentissage	Résultats scolaires	Examens scolaire	Activités scolaire
	Point d'intérêt	Apprenant	Apprenant	Apprenant
Comment	Moyen de visualisation	Diagramme de colonne, Courbe, Texte	Diagramme de colonne, Tableau	Graphique classique
	Structure	Page multiple avec effet accordéon	Page unique	Page multiple
Quand	Temps d'observation	Long terme : deux ans Première et deuxième année d'études de premier cycle en STIM	Semestre	-
	Temps d'utilisation	A posteriori	A posteriori	A posteriori
Où	Contexte d'apprentissage	-	En classe	En classe

Travaux		Broos <i>et al.</i> [2018]	DDART Ji <i>et al.</i> [2014]	EVADE Kaprois et Peirce [2014]	PADA Mejia <i>et al.</i> [2012]
Qui	Rôle	Apprenant	Apprenant	Administration	Apprenant et Enseignant
Pourquoi	Objectif	Auto suivi : rétroaction aux apprenants en transition de l'enseignement secondaire à l'enseignement supérieur	Auto Suivi : améliorer les compétences d'autorégulation et de métacognition des apprenants	Suivi administrative : Détecter des anomalies	Auto suivi et suivi des autres : Gestion des cas particulier de dyslexie
Quoi	Type	Temps (gestion du temps), Résultat (Notes de tests),	Temps, Résultat, Contenu, Apprenant, Action	Temps, Résultat, Contenu, Apprenant, Action	Temps, Apprenant, Résultat
	Nature	Prédéfini	Non prédéfini	Non prédéfini	Non prédéfini
	Niveau d'analyse	multi-institutionnel	Seul niveau	seul niveau	Seul niveau
	Source de données	unique (Examens scolaires)	Unique	Unique	Unique
	Activité d'apprentissage Point d'intérêt	Examens scolaires Apprenants	Activité de lecture choix libre	Activités scolaires choix libre	Activités scolaires Apprenant
Comment	Moyen de visualisation	Badge	Diagramme de colonne, Diagramme circulaire	-	Diagramme circulaire
	Structure	Page multiple avec un effet accorédon	Page unique	Page unique	Page unique
Quand	Temps d'observation	Long terme (Annuel)	choix libre	Choix libre	Séance
	Temps d'utilisation	A posteriori	A posteriori	A posteriori	A posteriori
Où	Contexte d'apprentissage	En classe	En classe	En classe	En classe

Titre : Conception et génération dynamique de tableaux de bord d'apprentissage contextuels

Mot clés : Tableau de bord d'apprentissage, l'analytique de l'apprentissage numérique, Contexte, Prise de décision, Processus de génération, Approche centrée sur l'utilisateur, Informatique décisionnelle.

Résumé : Ce travail s'inscrit dans une problématique générale de l'analytique de l'apprentissage numérique et particulièrement dans le contexte du projet ANR HUBBLE, un observatoire national permettant le dépôt de processus d'analyse de haut niveau. Nous nous intéressons principalement à la communication des données analysées aux utilisateurs en mettant à leur disposition des tableaux de bord d'apprentissage (TBA). Notre problématique porte sur l'identification de structures génériques de TBA dans le but de générer dynamiquement des TBA sur mesure. Les structures proposées doivent être à la fois génériques et adaptables aux besoins d'utilisateurs. Les travaux existants proposent le plus souvent des TBA trop généraux ou développés de manière adhoc. Au travers du projet HUBBLE, nous souhaitons exploiter les décisions des utilisateurs pour générer dynamiquement

des TBA. Nous nous sommes intéressés au domaine de l'informatique décisionnelle en raison de la place des tableaux de bord dans la prise de décision. Ce processus requiert une compréhension explicite des besoins des utilisateurs. C'est pourquoi nous avons adopté une approche de conception centrée sur l'utilisateur (CCU) dans le but de fournir aux utilisateurs des TBA adaptés. Nous proposons aussi un processus de capture des besoins qui a permis l'élaboration de nos modèles (indicateur, moyens de visualisation, utilisateur, patron, ...). Ces modèles sont utilisés par un processus de génération implémenté dans un prototype de générateur dynamique de TBA. Nous avons procédé à une phase d'évaluation itérative dont l'objectif est d'affiner nos modèles et de valider l'efficacité de notre processus de génération ainsi que de démontrer l'impact de la décision sur la génération des TBA.

Title: Design and dynamic generation of contextual Learning Analytics dashboards

Keywords: Learning Analytics dashboard, Learning Analytics, Context, Decision Making, Generation Process, User-centered design, Business Intelligence.

Abstract: This work is part of a broader issue of Learning Analytics (LA). It is particularly carried out within the context of the HUBBLE project, a national observatory for the design and sharing of data analysis processes. We are interested in communicating data analysis results to users by providing LA dashboards (LAD). Our main issue is the identification of generic LAD structures in order to generate dynamically tailored LAD. These structures must be generic to ensure their reuse, and adaptable to users' needs. Existing works proposed LAD which remains too general or developed in an adhoc way. According to the HUBBLE project, we want to use identified decisions of end-users to generate dynamically our LAD. We were interested in the business intelligence area because

of the place of dashboards in the decision-making process. Decision-making requires an explicit understanding of user needs. That's why we have adopted a user-centered design (UCD) approach to generate adapted LAD. We propose a new process for capturing end-users' needs, in order to elaborate some models (Indicator, visualization means, user, pattern, ...). These models are used by a generation process implemented in a LAD dynamic generator prototype. We conducted an iterative evaluation phase. The objective is to refine our models and validate the efficiency of our generation process. The second iteration demonstrates the impact of the decision on the LAD generation. Thus, we can confirm that the decision is considered as a central element for the generation of LADs.