

Modéliser et outiller la conception participative et générative de tableaux de bord d'apprentissage soutenant la création de sens

Modeling and Tooling Participatory and Generative Design of Learning Dashboards Supporting Sensemaking

Madjid SADALLAH¹ Jean-Marie GILLIOT¹

¹IIMT Atlantique, Lab-STICC UMR CNRS 6285, F-29238 Brest, France

Résumé. Les tableaux de bord d'apprentissage, dont le déploiement doit soutenir la prise de décision à toutes les étapes de la formation, continuent de faire face à des défis d'adoption. La littérature identifie plusieurs raisons à cette réticence, notamment l'absence de principes directeurs pour la conception et une participation insuffisante des parties prenantes. Pour y remédier, nous proposons un cadre de conception ainsi que deux outils pour supporter le processus de conception. Le cadre de conception, axé sur la création de sens pour étayer la prise de décision, guide la conception au travers d'un espace de conception exhaustif. Le premier outil propose une phase d'idéation participative et encourage la collaboration des différentes parties prenantes. Le second outil propose de simplifier le travail du développeur et d'encourager sa collaboration avec les parties prenantes. L'évaluation de ces outils repose sur des critères tels que la facilité d'utilisation, le soutien à la participation et l'expérience utilisateur, éclairant chaque étape du processus de conception. Les résultats montrent que ces outils soutiennent significativement la participation des utilisateurs finaux et l'expérience des développeurs, soulignant leur pertinence et leur efficacité. En favorisant l'adoption des tableaux de bord d'apprentissage par une conception centrée sur l'utilisateur, cette contribution met en lumière le potentiel de ces outils et l'importance des approches participatives dans le développement des technologies éducatives.

Mots-clés : tableaux de bord d'apprentissage, conception participative, conception générative, processus décisionnel, génération de tableaux de bord

Abstract. *Despite their potential, learning dashboards face challenges in terms of adoption. Research highlights a lack of design principles and insufficient stakeholder participation as key factors. To address these, we propose a design framework emphasizing sensemaking for decision-making. Additionally, we advocate for a collaborative design approach, supported by tools for ideation and prototyping. These tools aim to involve users actively, promoting an inclusive design approach. Their evaluation, based on ease of use, support for participation, and user experience, illuminates each design stage. Results show these tools significantly support end-user participation and developer experience, underscoring their relevance and effectiveness. By promoting the adoption of learning dashboards through user-centered design, this contribution not only unlocks their potential but also highlights the value of participatory approaches in educational technology development.*

Keywords: *learning analytics dashboards, participatory design, generative design, decision-making process, dashboard generation*

1. INTRODUCTION

Les tableaux de bord d'apprentissage (TBA), ou *Learning Analytics Dashboards*, sont des instruments conçus pour structurer et présenter des informations relatives aux apprenants, aux processus d'apprentissage et aux environnements éducatifs (Schwendimann *et al.*, 2017). Leur fonction première consiste à convertir ces données en informations visuelles, souvent sous forme graphique, afin de les rendre accessibles aux acteurs éducatifs. Cette transformation offre une vue précise et concise des performances des apprenants et des tendances d'apprentissage, ce qui facilite l'établissement d'objectifs clés et le suivi des progrès. Elle soutient également la prise de décisions éclairées et la mise en œuvre d'interventions ciblées (Jivet *et al.*, 2017). En fin de compte, ces outils aspirent à optimiser l'expérience d'apprentissage, les résultats des apprenants et à promouvoir une éducation plus éclairée et efficace grâce à l'utilisation stratégique des données.

L'intérêt pour les TBA a connu une croissance significative au fil des années. Cependant, malgré cette attention accrue, la recherche et l'exploration de ces outils demeurent limitées, entravant ainsi leur adoption à grande échelle (Alhamadi, 2020). Plusieurs facteurs contribuent à ces limitations. D'abord, en raison de leur émergence relativement récente, les TBA sont encore peu étudiés en termes de principes de conception (Echeverria *et al.*, 2018; Sedrakyan *et al.*, 2019). Or, au-delà de leur rôle d'agrégateurs de données, ces outils sont des systèmes complexes qui nécessitent une conception soignée pour garantir leur utilité et leur efficacité. L'absence de directives précises pour leur conception complique la création de TBA qui répondent aux exigences spécifiques des divers groupes d'utilisateurs, tels que les enseignants, les apprenants ou les administrateurs, chacun ayant des attentes et des profils uniques. Par ailleurs, un autre défi majeur réside dans la faible implication des utilisateurs en tant que parties prenantes dans le processus de conception des TBA (Alvarez *et al.*, 2020). En effet, les outils d'analyse de l'apprentissage peuvent imposer des hypothèses qui ne correspondent pas nécessairement aux besoins réels des utilisateurs (Gašević *et al.*, 2015), ces derniers possédant souvent une compréhension unique des préoccupations propres à leur contexte. Leur non-consultation ou intégration dans le processus de conception peut aboutir à des TBA qui ne répondent pas à leurs attentes, limitant ainsi leur adoption et leur efficacité. De plus, ces utilisateurs manquent souvent d'expérience dans l'utilisation de ces outils et de compétences en littératie des données (Schwendimann *et al.*, 2017). Enfin, un défi supplémentaire est la difficulté de développer des TBA capables de convertir les informations en actions facilement exploitables par les utilisateurs, en raison d'une compréhension limitée des processus décisionnels (Verbert *et al.*, 2020).

Pour relever ces défis, cet article se focalise sur la phase de conception des TBA, où l'implication précoce des utilisateurs finaux revêt une importance capitale. L'objectif est d'assurer une compréhension approfondie des besoins spécifiques de chaque catégorie d'utilisateurs, garantissant ainsi que les TBA répondent adéquatement à leurs attentes et sont conçus en tenant compte des réalités de leur contexte d'utilisation. Afin de renforcer l'autonomie des parties prenantes, nous proposons la mise en place d'un accompagnement ciblé visant à améliorer leurs compétences et leur compréhension de ces outils, favorisant ainsi une utilisation plus autonome et efficace. Dans ce contexte, la conception participative, également connue sous le terme de *codesign*, apparaît comme une approche prometteuse pour résoudre les défis liés à la conception et à l'utilisation des TBA (Prieto-Alvarez *et al.*, 2018). Cette approche met l'accent sur l'implication active de toutes les parties prenantes dans le processus de conception. En encourageant la communication et la collaboration entre les concepteurs, les enseignants, les apprenants et d'autres acteurs éducatifs, elle vise à établir un consensus. De plus, elle favorise le développement de modèles mentaux partagés, c'est-à-

dire des représentations internes des besoins, des attentes et des réalités propres au contexte d'utilisation des TBA, construites à partir des expériences passées, des connaissances préalables et des interactions sociales. Dans le cadre de la conception des TBA, cette construction collective de modèles mentaux facilite la compréhension commune des enjeux spécifiques à chaque utilisateur, ainsi que des solutions potentielles. Cela renforce la collaboration et la prise de décision en permettant à tous les acteurs de contribuer à la conception des TBA de manière informée et réfléchie. De plus, la conception participative vise à garantir une utilisation réfléchie des données générées par les TBA. Elle encourage les utilisateurs à interpréter les informations de manière critique et à les aligner sur des objectifs éducatifs spécifiques. Ainsi, cette approche favorise une utilisation plus autonome et efficace des TBA, tout en répondant aux besoins diversifiés des parties prenantes dans le domaine de l'éducation.

Malgré la reconnaissance croissante de l'importance des méthodes de conception participative parmi les chercheurs et praticiens, et quelques exemples éducatifs soulignant leur utilité (Sarmiento et Wise, 2022), leur intégration dans le domaine de l'analyse de l'apprentissage n'est pas encore largement répandue (2022). Les obstacles à cette intégration sont multiples, notamment une compréhension peu claire des approches spécifiques à adopter (Alvarez *et al.*, 2020; Dollinger *et al.*, 2019). Plus particulièrement, dans le contexte des TBA, l'adoption limitée de la conception participative s'explique en partie par le manque de clarté sur la manière d'appliquer efficacement cette approche dans ce domaine (Alvarez *et al.*, 2020). En outre, l'absence d'outils spécifiquement conçus pour répondre aux besoins des acteurs de l'éducation constitue un autre problème majeur (Dollinger *et al.*, 2019). Ces obstacles freinent la diffusion et l'adoption à grande échelle de ces méthodes, malgré leur potentiel considérable à améliorer la conception et l'efficacité des TBA.

Dans ce contexte, notre objectif est de combler ces lacunes en proposant des outils spécifiques pour faciliter la conception participative des TBA. Cette approche, qui favorise une collaboration étroite entre les concepteurs et les utilisateurs finaux, vise à aligner les fonctionnalités du TBA sur les besoins et les attentes des acteurs de l'éducation. En adoptant cette approche, nous aspirons à promouvoir une utilisation plus efficace des TBA en éducation. Cette efficacité visée reflète la capacité des TBA co-conçus à répondre aux besoins des utilisateurs finaux dans le domaine de l'apprentissage, se matérialisant à plusieurs niveaux. Tout d'abord, en termes de qualité de l'information, les TBA doivent fournir des données pertinentes et exploitables pour permettre aux utilisateurs de comprendre les tendances, d'identifier les points forts et les faiblesses, et de prendre des décisions éclairées. Ensuite, en termes d'utilisabilité, ils doivent être conviviaux et accessibles, même pour ceux qui ne sont pas familiers avec de tels outils, afin de favoriser leur adoption et leur utilisation régulière. Enfin, en termes d'impact, les TBA doivent avoir un effet mesurable sur les résultats de l'apprentissage, contribuant ainsi à l'amélioration des performances des étudiants, à la performance des programmes d'enseignement, ou à d'autres objectifs spécifiques définis dans le contexte de l'éducation. Pour soutenir cette efficacité, nous nous concentrons sur deux aspects principaux : premièrement, la mise en place d'une approche participative dès les phases de conception, favorisant ainsi une meilleure adaptation des outils aux besoins réels des acteurs éducatifs ; deuxièmement, le développement d'outils spécifiques qui soutiennent cette démarche participative, permettant une collaboration efficace entre les concepteurs, les développeurs et les parties prenantes. En tenant compte de ces aspects, notre recherche aspire à surmonter les obstacles identifiés et à ouvrir la voie à une utilisation plus répandue et plus efficace des TBA.

Cette recherche a adopté une méthodologie de *Design-Based Research* (DBR), couramment utilisée pour étudier les environnements éducatifs à travers des cycles itératifs de conception, de mise en œuvre et d'analyse (Wang et Hannafin, 2005). La première itéra-

tion, rapportée dans (Gilliot *et al.*, 2018), a permis de valider la démarche de conception et la faisabilité d'articuler un outil d'idéation et un outil de prototypage autour d'un espace de conception (Shaw, 2012), jouant le rôle de modèle commun. L'itération actuelle vise à atteindre plusieurs objectifs : (1) raffiner l'espace de conception en réifiant le processus de prise de décision ; (2) proposer un outil d'idéation PaDLAD permettant d'exprimer le processus de prise de décision et facilitant la coopération entre les parties prenantes ; (3) développer un outil de prototypage opérationnel LADStudio ; et (4) analyser les outils développés.

La structure de cet article se décline comme suit. La section 2 se concentre sur la conception participative dans le domaine de l'éducation, mettant en évidence ses caractéristiques distinctives et son utilisation spécifique dans le cadre des TBA. Nous y détaillons notre méthodologie et notre modèle d'interaction visant à soutenir le processus décisionnel à travers les TBA, ainsi que notre cadre de conception dédié. La section 3 est dédiée aux outils que nous avons élaborés pour faciliter le processus participatif, en abordant les phases d'idéation et de prototypage. Dans la section 4, nous détaillons les expérimentations réalisées pour évaluer notre approche et nos outils, suivies d'une analyse détaillée des résultats. Enfin, la section 5 présente nos conclusions et propose des directions pour les recherches futures.

2. CONCEPTION PARTICIPATIVE DE TABLEAUX DE BORD D'APPRENTISSAGE SUPPORTANT LA DÉCISION

Dans cette section, nous définissons d'abord la conception participative, soulignons ses caractéristiques distinctives et explorons ensuite son application dans le domaine de l'éducation en analysant ses méthodes et ses outils. Ensuite, nous exposons notre méthodologie, conçue pour impliquer activement les parties prenantes en leur permettant d'exprimer leurs besoins et de concrétiser leurs idées à travers des prototypes. Cette méthodologie s'appuie sur les principes fondamentaux établis dans le domaine de la conception participative en éducation, tout en intégrant des aspects cruciaux relatifs à l'utilisation des TBA lors du processus de conception. Nous accordons notamment une attention particulière à la *création de sens* (ou *sensemaking*) et au soutien à la prise de décision à travers des visualisations pertinentes, éléments indispensables pour optimiser l'impact des TBA lors de leur utilisation (Meyer *et al.*, 2010). Enfin, nous détaillons les composants essentiels d'un cadre de conception. Ce cadre, en délimitant clairement l'espace de conception, vise à structurer les différentes étapes du processus de conception participative, marquant ainsi la transition vers nos propositions concrètes pour une approche plus efficace de la conception des TBA.

2.1. CONCEPTION PARTICIPATIVE EN ÉDUCATION

La *conception participative*, qui découle de la conception centrée sur l'utilisateur, englobe les pratiques de conception qui impliquent activement les parties prenantes tout au long du processus, depuis l'exploration initiale jusqu'au développement final. Cette approche promeut un apprentissage mutuel entre les participants et encourage leur engagement dans des processus collectifs de conception (Robertson & Simonsen, 2012, p. 2). La transition vers une telle approche marque un changement de paradigme, passant de la conception pour les utilisateurs à la conception avec les individus comme partenaires égaux (Sanders et Stappers, 2008). Cette évolution vise à intégrer les participants en les reconnaissant comme des contributeurs légitimes au sein de l'équipe de conception (Visser *et al.*, 2005). En tant qu'approche de *co-création*, les concepteurs, formés à la créativité, collaborent avec des non-concepteurs tout au long du processus de conception. L'accent est donc mis sur l'apprentissage mutuel : les utilisateurs découvrent les possibilités et les contraintes de la technologie, tandis que les

concepteurs acquièrent une compréhension des pratiques et des perspectives des utilisateurs (Schuler et Namioka, 1993). La recherche a également montré que l'implication des utilisateurs finaux dans le cycle de conception assure des solutions de conception adaptées, alignées sur leurs besoins et attentes (Holstein *et al.*, 2017 ; Taffe, 2015).

La conception participative en éducation, qui se caractérise par son parcours historique propre, sa philosophie intrinsèque et sa méthodologie (DiSalvo *et al.*, 2017), représente une tendance en pleine expansion. Cette approche met l'accent sur l'importance d'une collaboration active entre tous les acteurs de l'éducation. Elle est articulée autour de plusieurs étapes clés, telles que l'idéation, le prototypage et le test, nécessitant chacune des outils et des méthodes adaptés pour guider efficacement le processus. Parmi les techniques populaires utilisées pour la conception participative en éducation, on retrouve notamment les ateliers et les groupes de discussion, les personas d'apprentissage, les outils basés sur des cartes, ainsi que les croquis et les prototypes.

Les *ateliers et les groupes de discussion* sont couramment utilisés pour générer des idées de conception et recueillir les avis des participants. Ces méthodes permettent une interaction directe avec les utilisateurs finaux, favorisant ainsi une compréhension approfondie de leurs besoins et attentes. Par exemple, pré-interviewer les utilisateurs finaux sur leurs besoins peut être utilisé pour dériver des idées de conception (Xhakaj *et al.*, 2016).

Le *persona d'apprentissage* permet de modéliser et de résumer les informations essentielles sur les utilisateurs finaux potentiels. Lors de sessions de codesign, les participants peuvent être engagés à travailler collectivement pour créer de nouveaux profils de persona ou pour enrichir des instances existantes (Prieto-Alvarez *et al.*, 2018). Ces représentations peuvent ensuite être utilisées pour guider la conception et le développement de nouvelles fonctionnalités ou améliorations.

Le *codesign basé sur des cartes* est une autre approche populaire. Les cartes assurent une base commune pour la compréhension et la communication au sein d'une équipe, fournissant ainsi des résumés pratiques d'informations et/ou de méthodes utiles. L'utilisation de cartes peut renforcer la collaboration, stimuler la créativité combinatoire et faciliter l'exploration des liens possibles entre les besoins de décision des utilisateurs et les nombreuses propositions d'indicateurs et de visualisations disponibles dans les ateliers de conception (Lucero *et al.*, 2016). Par exemple, LA-DECK (Alvarez *et al.*, 2020) est un outil de co-conception basé sur des cartes, conçu spécifiquement pour la création d'outils d'analyse de l'apprentissage.

Les *croquis et les prototypes* sont d'autres techniques utilisées pour concrétiser les résultats des efforts collaboratifs entre participants. Ce processus de réalisation permet de créer des représentations visuelles et d'impliquer les participants au-delà de la phase de génération d'idées. Il leur permet de communiquer de manière non conventionnelle, en les incitant à matérialiser collectivement leurs attentes (Gaver *et al.*, 1999).

Notre méthodologie, détaillée dans la suite de cet article, se fonde sur ces principes théoriques et ces méthodes pratiques pour guider notre démarche de conception participative des TBA. L'objectif est de transcender la simple fonction d'outil d'analyse des TBA pour en faire des ressources qui favorisent une compréhension approfondie des données et une prise de décision éclairée. En intégrant ces concepts, notre méthodologie vise à orienter la conception de TBA qui ne se limitent pas à présenter des données, mais qui les rendent accessibles, compréhensibles et utiles pour les utilisateurs, contribuant ainsi à une amélioration tangible en éducation.

2.2. MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION PARTICIPATIVE DES TBA

En matière de conception des TBA, l'approche participative permet d'aligner les différents acteurs éducatifs sur les objectifs principaux du tableau de bord, facilite une mise en

œuvre cohérente et anticipe les éventuels obstacles à son adoption (Boscardin *et al.*, 2018). Pour enrichir notre processus de conception des TBA, nous avons intégré de manière synergique une approche de conception générative à notre démarche participative. Cette combinaison méthodologique vise à dynamiser la création des TBA en favorisant une collaboration étroite avec les parties prenantes dès le début du processus.

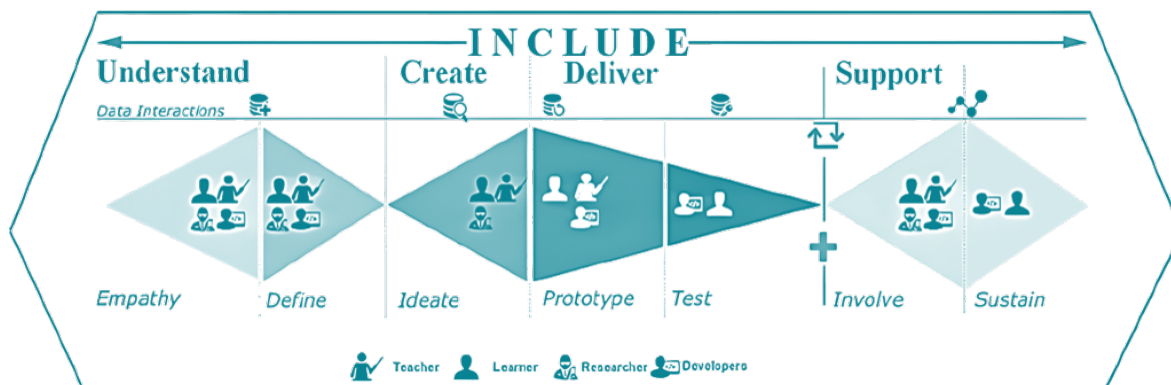


Figure 1 : Processus de co-design en analytique de l'apprentissage (2018)

La *conception participative* constitue la première pierre angulaire de notre démarche. Elle vise à impliquer activement les parties prenantes dès le début, recueillant leurs idées et besoins pour une compréhension approfondie tout en favorisant leur engagement continu. Nos propositions s'inscrivent dans le cadre du *Modèle de codesign en analytique de l'apprentissage*, élaboré par Prieto-Alvarez *et al.* (2018). Ce modèle décompose le processus de conception participative en une série d'activités rassemblant les différents acteurs impliqués, visant à affiner continuellement les exigences et à se rapprocher progressivement de la solution recherchée. Notre application spécifique de ce modèle se concentre sur les TBA. La phase préliminaire de compréhension (*Understand*), initiée à travers des entretiens d'exploration (Gilliot *et al.*, 2018), oriente nos phases ultérieures d'idéation et de prototypage.

La *conception générative* complète cette première phase en fournissant aux parties prenantes des outils puissants pour articuler de manière approfondie leurs besoins et intentions. Elle permet d'explorer un espace de conception étendu, facilitant la génération de multiples solutions cibles (Robertson et Simonsen, 2012). En associant ces deux approches, nous établissons un cadre méthodologique solide, favorisant la collaboration et la génération itérative de solutions innovantes, alignées sur les besoins spécifiques des parties prenantes. L'intégration de la *conception générative* apporte une dimension créative et exploratoire au processus, permettant aux parties prenantes de participer activement à la création et à la sélection des solutions, renforçant ainsi leur engagement dans le projet (Sanders et Stappers, 2008).

2.3. CRÉATION DE SENS AU CENTRE DE LA CONCEPTION DES TBA

Envisager les TBA comme des instruments de communication requiert une exploration approfondie de la cognition humaine, de l'interaction homme-machine et des technologies de visualisation (Alhadad, 2018 ; Yoo *et al.*, 2015). En effet, pour maximiser leur impact, les TBA doivent être conçus sur des bases théoriques solides (Alhadad, 2018 ; Yoo *et al.*, 2015), afin de renforcer la conscience et la réflexion des utilisateurs, et d'entraîner des modifications dans leurs compétences cognitives, comportementales et émotionnelles (Jivet *et al.*, 2017). Par conséquent, une exploration approfondie des principes de conception des TBA est cruciale pour guider ces choix (Bodily et Verbert, 2017 ; Echeverria *et al.*, 2018). L'efficacité de la conception des TBA pour une communication réussie dépend d'une compréhension

approfondie de la manière dont les humains assimilent l'information (Few, 2006). Examiner comment les TBA peuvent favoriser des aspects essentiels tels que la création de sens et la prise de décision, en mettant l'accent sur l'interaction de l'utilisateur, est par conséquent essentiel pour toute approche de conception.

2.3.1. Création de sens et théorie Data/Frame

La création de sens, ou *sensemaking*, est un processus méta-cognitif fondamental dans l'utilisation des TBA. C'est un processus dynamique et réciproque qui implique l'adaptation des données à un cadre cognitif existant (ou modèle mental) et la modification de ce cadre en réponse aux nouvelles données (Pirolli et Card, 2005). En d'autres termes, il s'agit d'un processus d'interprétation des données à travers le prisme d'un modèle mental existant, tout en révisant ce modèle en fonction des nouvelles informations que les données apportent. Les modèles existants qui explorent la stimulation de la pensée humaine à travers des outils de visualisation décomposent le processus de création de sens en différentes phases, allant de la perception initiale de l'information à la prise de décision et à la mise en œuvre d'actions pédagogiques (Campos *et al.*, 2021 ; Wise et Jung, 2019). Pour approfondir notre analyse de la création de sens liée aux TBA, nous nous appuyons sur la théorie *Data/Frame* (D/F) proposée par Klein *et al.* (2006). Cette théorie offre un éclairage précieux sur les mécanismes cognitifs en jeu, en articulant la dynamique entre les données — perçues comme des signaux ou des indicateurs d'événements — et les cadres cognitifs — envisagés comme des structures interprétatives qui donnent du sens aux données et orientent la quête de nouvelles informations (Ndukwe et Daniel, 2020).

La pertinence de la théorie D/F pour l'analyse de la création de sens via les TBA est à la fois multiple et significative. Tout d'abord, cette théorie décrit de manière précise la façon dont les données, sous forme de signaux, interagissent avec les cadres cognitifs, qui sont les mécanismes par lesquels les individus interprètent et attribuent un sens aux informations (Klein *et al.*, 2006). Cette interaction constitue le cœur de l'utilisation des TBA, où les données doivent être interprétées de manière à éclairer la prise de décision. Deuxièmement, la théorie D/F reconnaît que le processus de *sensemaking* est une activité intentionnelle, menée par des agents poursuivant des objectifs spécifiques (Pirolli et Card, 2005). Cette caractéristique est fondamentale pour les utilisateurs de TBA, qui déploient ces outils dans des buts précis tels que l'amélioration de l'enseignement ou de l'apprentissage. Troisièmement, la théorie D/F aborde la question des biais cognitifs, ces pièges de raisonnement qui peuvent influencer négativement l'interprétation des données (Klein *et al.*, 2006). Comprendre ces biais est crucial pour appréhender pourquoi certains utilisateurs peuvent mal interpréter les informations fournies par les TBA. Enfin, par rapport à d'autres modèles de *sensemaking*, la théorie D/F se distingue par son approche pragmatique et représentationnelle, se concentrant sur la façon dont les individus construisent du sens à partir de leur expérience face à des problématiques concrètes. Cette caractéristique en fait un cadre conceptuel particulièrement adapté à l'étude de la création de sens dans le contexte spécifique des TBA.

2.3.2. Conscience de la situation et interaction utilisateur

La création de sens, un processus essentiel dans diverses activités humaines, est particulièrement cruciale lorsqu'il s'agit de déchiffrer des situations complexes pour prendre des décisions éclairées et appropriées. Cette capacité joue un rôle important dans l'utilisation des outils d'analyse en éducation. La conscience de la situation (*Situational Awareness* - SA) est un concept crucial dans la prise de décision, notamment dans des situations où l'information doit être traitée rapidement et avec précision. Développée par Endsley (1995), la SA se com-

pose de trois niveaux interdépendants qui facilitent la compréhension et l'anticipation des événements, permettant ainsi une prise de décision efficace :

1. *Perception des éléments dans l'environnement* : cette étape initiale implique la détection des signaux et des indices dans l'environnement immédiat, ce qui est crucial pour toute analyse ultérieure.
2. *Compréhension de la signification de ces éléments* : au-delà de la perception, cette phase englobe l'interprétation et l'intégration des informations perçues, en établissant des liens entre les éléments et en évaluant leur pertinence par rapport aux objectifs poursuivis.
3. *Projection de l'état futur des éléments perçus* : cette dernière phase consiste à anticiper les événements futurs en se basant sur la compréhension actuelle, ce qui est essentiel pour la planification stratégique et la préparation aux actions nécessaires.

La théorie de la création de sens de Klein *et al.* (2006) suggère que ces niveaux de SA ne deviennent pleinement exploitables que lorsque les individus activent leurs cadres cognitifs pour donner un sens aux informations perçues. Cela implique souvent de remettre en question les hypothèses existantes, de reconnaître les modèles émergents et d'ajuster les cadres cognitifs en fonction des nouvelles données.

2.3.3. Modèle d'interaction pour la création de sens soutenant le processus décisionnel par les TBA

L'exploration du processus de création de sens via les TBA nécessite une analyse détaillée des interactions entre l'utilisateur et l'outil. Les TBA, qui sont conçus pour organiser les données afin de faciliter leur interprétation, offrent la possibilité de tirer des conclusions et de planifier des actions ayant un impact sur l'enseignement et l'apprentissage. Toutefois, les modèles actuels ne reflètent pas entièrement l'intégration des activités cognitives dans l'expérience utilisateur des TBA. Or, comprendre comment les utilisateurs interagissent avec ces outils est crucial, car la création de sens implique la recherche de représentations pertinentes et l'encodage des données pour répondre à des questions spécifiques à la tâche (Russell *et al.*, 1993). Enfin, une compréhension précise de ces interactions est nécessaire pour optimiser l'efficacité des TBA en éducation, afin d'ajuster les modèles existants en tenant compte de la dynamique complexe entre les activités cognitives, la recherche de représentation et les interactions utilisateur-TBA.

Les interactions avec les TBA jouent un rôle essentiel en permettant aux individus d'explorer les représentations visuelles, générant ainsi des connaissances et des compréhensions cruciales pour le processus décisionnel. En établissant une connexion étroite entre l'analyse, la visualisation et l'analyste humain, ces interactions favorisent une approche intégrée de la prise de décision (Endert *et al.*, 2014). Pour examiner comment les utilisateurs participent au processus de création de sens avec les TBA, nous adoptons une perspective qui va au-delà des aspects techniques et modaux de l'interaction. Nous envisageons l'interaction comme un échange dynamique entre les utilisateurs et les TBA, un dialogue continu qui façonne le processus de création de sens, en accord avec la théorie de la *cognition distribuée* (Hutchins, 1995). Selon cette théorie, la cognition émerge de l'interaction entre les individus et leur environnement, se développant au fil du temps par la perception et l'action (Liu *et al.*, 2008). Ainsi, les utilisateurs et les TBA forment un système interactif où la coordination et l'influence causale se manifestent à travers l'échange de représentations, offrant une perspective intéressante sur les processus cognitifs mobilisés.

En envisageant les TBA comme des outils cognitifs, nous proposons un modèle de création de sens qui s'appuie sur les TBA, comme illustré à la Figure 2. Dans ce modèle, les

TBA jouent le rôle d'instruments cognitifs qui aident les utilisateurs à détecter visuellement des motifs, des tendances et des anomalies dans les données, les orientant ainsi vers des décisions informées et pertinentes. La création de sens est perçue comme un processus cognitif qui fournit à la fois un moyen d'interpréter les données environnementales et un catalyseur pour agir en conséquence. L'utilisateur interagit avec le tableau de bord pour recueillir des informations et effectuer des actions basées sur les données, déclenchant ainsi un processus actif de création de sens. Ce processus peut être décomposé en deux tâches imbriquées :

1. *Interaction* : durant cette phase, l'utilisateur interagit avec le TBA pour rechercher, filtrer, lire et extraire des informations des représentations affichées. Cette interaction initie des processus en arrière-plan qui recalculent la mise en page graphique du TBA pour ajuster son affichage.
2. *Cadrage (framing)* : l'utilisateur intègre les données collectées lors des interactions à ses connaissances internes pour construire, modifier ou consolider un cadre mental. La construction du cadre, un processus itératif, évolue en fonction des données obtenues, conduisant potentiellement à de nouvelles interactions avec le TBA.

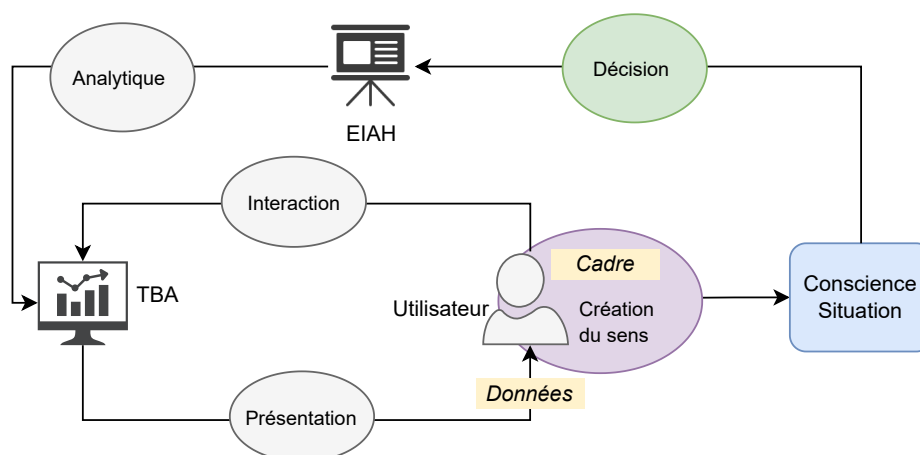


Figure 2 : Modèle d'interaction pour la création de sens pris en charge par les TBA

Pour décrire la construction de cadres mentaux (*framing*), nous nous appuyons sur les activités de création de sens identifiées par la théorie D/F. Ces activités incluent l'intégration de nouvelles données pour enrichir la compréhension existante, l'examen critique des informations en désaccord avec le cadre mental préétabli, le maintien d'une interprétation cohérente malgré les contradictions, la considération de diverses interprétations possibles pour déterminer la plus convaincante, l'ajustement ou la révision du cadre mental pour intégrer des informations contradictoires, et le développement d'une compréhension renouvelée pour résoudre les tensions entre les différentes données. Ces processus cognitifs reflètent la nature dynamique et itérative de la création de sens, se déroulant à travers une interaction continue entre l'utilisateur et le TBA. Ils soulignent également l'importance de l'adaptabilité cognitive, essentielle pour ajuster les cadrages mentaux en réponse aux nouvelles informations et aux défis analytiques posés par les données. Cette flexibilité se révèle indispensable pour naviguer dans l'environnement complexe et souvent ambigu des données analytiques.

2.4. CADRE DE CONCEPTION DE TBA

Cette section présente DEFLAD (Gilliot et Sadallah, 2024), un cadre de conception visant à clarifier les dimensions de conception des TBA, tout en intégrant des capacités de

création de sens et en mettant en lumière celles liées aux processus décisionnels. Le modèle d'interaction intégré active la création de sens, renforçant ainsi le processus décisionnel inhérent aux TBA, les considérant comme des outils cognitifs essentiels. Établi à travers un examen approfondi des dimensions de conception des TBA, ce cadre permet de définir un espace de conception complet qui servira de base aux outils proposés.

2.4.1. Espace de conception de TBA

Le concept d'espace de conception trouve ses racines dans la *Théorie du Traitement de l'Information* développée par Newell et Simon (1972). Selon cette théorie, la résolution d'un problème est envisagée comme une exploration dans un espace d'états clairement défini associé à ce problème. Dans le contexte de la conception, cette exploration devient une démarche essentielle. Pour un problème de conception donné, l'espace de conception englobe toutes les solutions envisageables pour l'artefact à concevoir, y compris les différentes alternatives possibles pour chaque solution (Shaw, 2012).

Une approche courante pour définir un espace de conception consiste à extraire des principes de conception communs des techniques existantes dans le domaine ciblé (Schulz *et al.*, 2011). En matière de conception de tableaux de bord, de nombreux chercheurs ont entrepris de caractériser cet espace. Par exemple, dans le domaine de la visualisation des données, Schulz *et al.* (2011) ont élaboré un modèle d'espace de conception en décrivant comment les concepteurs peuvent raisonner sur les tâches à travers six dimensions d'analyse des tâches : le « Pourquoi » (objectif de la tâche), le « Comment » (moyens de la tâche), le « Quoi » (caractéristiques des données), le « Où » (la cible et la cardinalité des entités de données dans cette cible), le « Quand » (ordre des tâches) et le « Qui » (l'utilisateur ou le type d'utilisateur). Ces dimensions sont également abordées dans les travaux de Sarikaya *et al.* (2019), qui introduisent également la littératie en matière de visualisation des utilisateurs et proposent une analyse approfondie des interactions. L'espace de conception défini par ces auteurs comprend quatre dimensions de conception liées à différents aspects d'un tableau de bord : l'objectif (décisions stratégiques, tactiques et opérationnelles, et apprentissage), le public (circulation, littératie en matière de visualisation requise et expertise requise dans le domaine), les fonctionnalités visuelles (construction et composition, pages multiples, interface interactive, mise en évidence et annotation, modification de l'état des données ou du monde) et la sémantique des données (alertes et notifications, points de repère, mise à jour).

Certains auteurs suggèrent d'adopter une approche basée sur les questions des 5 W – Who (*Qui*)?, When (*Quand*)?, Why (*Pourquoi*)?, What (*Quoi*)?, hoW (*Comment*)? – pour explorer l'espace de conception (Chatti *et al.*, 2020). Cette approche se concentre sur l'objet d'intérêt, allant de la visualisation aux tableaux de bord et à l'analyse des processus d'apprentissage. Dans DEFLAD, nous formulons les 5 W de la manière suivante :

1. *Qui* ? englobe le public cible et les interactions entre différents utilisateurs ;
2. *Quand* ? permet de déterminer si l'utilisation se fait en temps réel ou est différée ;
3. *Pourquoi* ? correspond à l'objectif spécifique du TBA ;
4. *Quoi* ? détaille le contexte d'utilisation du TBA ainsi que les données pertinentes ;
5. *Comment* ? se concentre sur la visualisation, étant étroitement lié à la création de sens à travers l'utilisation du TBA.

DEFLAD offre une approche intégrée pour la conception de TBA qui soutient efficacement les tâches de création de sens. Il permet également de définir clairement l'espace de conception, assurant ainsi une approche structurée et exhaustive pour la conception de TBA. Comme illustré sur la Figure 3, DEFLAD établit un espace de conception en deux parties

distinctes. La première partie, qui comprend les trois premières questions, se concentre sur la définition du contexte d'utilisation de TBA. La seconde partie, qui englobe les deux dernières questions, traite des aspects de visualisation et d'interaction. Le Tableau 1 synthétise les propriétés que nous avons identifiées pour chacune des dimensions de conception. Les paragraphes qui suivent procèdent à une analyse approfondie et à une discussion détaillée de chaque dimension.

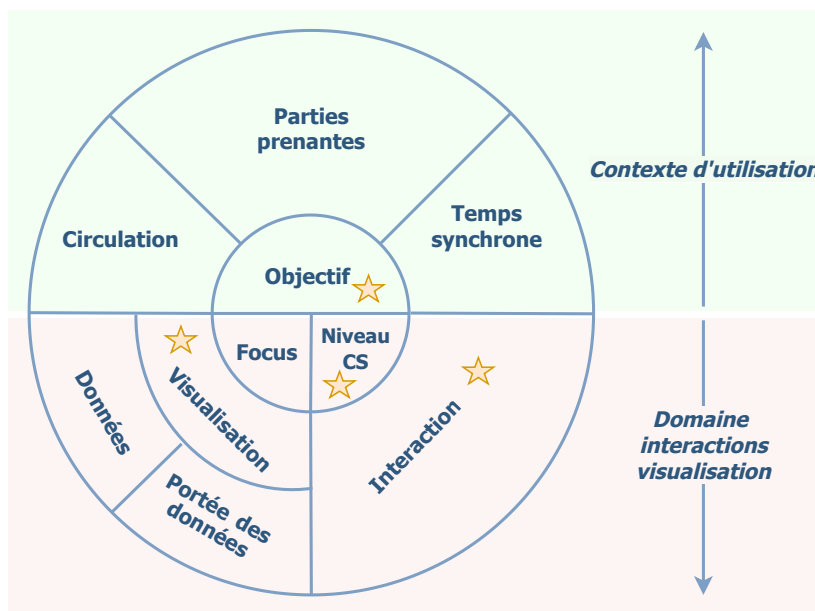


Figure 3 : Cadre de conception de tableaux de bord d'apprentissage DEFLAD. Les étoiles représentent les options de soutien à la création du sens

2.4.2. Qui ? Identification du public

Deux dimensions sont liées au public : (1) l'identification des utilisateurs de TBA, qui est classique en analyse de l'apprentissage ; et (2) la circulation des TBA, qui reconnaît leur potentiel en tant qu'outils de communication.

UTILISATEURS. Les TBA peuvent cibler divers acteurs, tels que les administrateurs, les instructeurs, les apprenants, voire tous ces groupes. Des études antérieures ont défini quatre catégories d'acteurs liées aux TBA : le niveau méga (gouvernance), le niveau macro (institutionnel), le niveau méso (curriculum et enseignant/tuteur) et le niveau micro (apprenant) (Ifenthaler et Widanapathirana, 2014 ; Sedrakyan *et al.*, 2019). En reconnaissant que les TBA peuvent servir d'outil de communication entre ces différents acteurs, le concept de *public cible* élargit la notion traditionnelle d'utilisateur (Sarikaya *et al.*, 2019).

CIRCULATION. En relation avec le concept de « public », la circulation interpersonnelle d'un tableau de bord peut être subdivisée en quatre catégories : *Public*, *Organisationnel*, *Collectif*, et *Individuel*. Chaque catégorie devient plus spécifique et nécessite un contexte supplémentaire, qui peut ne pas être inclus dans le tableau de bord lui-même (2019). Un tableau de bord *Public* est destiné à une présentation générale et peut présenter des données d'importance sociétale. Les tableaux de bord de type *Organisationnel* sont pertinents dans le cadre d'une structure organisationnelle pour des personnes ayant un objectif commun (par exemple, la validation des diplômes). La catégorie *Collectif* englobe les contextes où

un individu limite l'accès au tableau de bord aux personnes de son choix, identifiant des scénarios de données ou d'analyses sensibles. Enfin, la catégorie *Individuel* comprend les tableaux de bord qui quantifient l'individu et ne sont généralement pas partagés, sauf avec des personnes de confiance, comme un enseignant dans le cas d'un apprenant.

Tableau 1 : Dimensions de l'espace de conception des TBA

Dimension	Éléments	Valeurs
Qui ?	Utilisateur	Gouvernance, Institution, Curriculum, Enseignant/tuteur, Apprenant
	Circulation	Public, Organisationnel, Collectif, Individuel
Quand ?	Temps réel	O/N
Pourquoi ?	Focus	Processus d'apprentissage (cognitif, axé sur les résultats, axé sur le processus, comportemental, méta-cognitif, social, émotionnel) Gestion (personnes, ressources, activités, expérience)
	Niveau de SA	Perception (ou surveillance, prise de conscience, soutien), Compréhension (ou analyse, réflexion), Action (ou projection, décision, intervention, rétroaction, évaluation)
Quoi ?	Données	Liste des données pertinentes
	Portée des données	Apprenant, Enseignant, Salle de classe, Institution
	Source de données	Salle de classe, Systèmes de gestion de l'apprentissage, Curriculum, Profil, Autre
	Durée des données	Une session, Un semestre, Une année, Scolarité complète, Tout au long de la vie
Comment ?	Visualisation	Type de diagramme
	Interaction	Zoom, Filtrer, Détails à la demande, Relier, Historique, Extraire

2.4.3. Quand ?

Cet aspect de l'espace de conception fait référence au moment d'utilisation du tableau de bord. En lien avec le public cible, il s'agit du point de rencontre entre les utilisateurs et les données. On peut déterminer si la communication est basée sur le traitement des données en temps réel, c'est-à-dire si elle se concentre sur les événements actuels, ou si elle repose sur des données historiques.

2.4.4. Pourquoi ? Raffinement des objectifs des TBA

Cette dimension est intrinsèquement liée à l'objectif du TBA. Bien que cet aspect soit central dans les TBA et fournisse la justification de leur conception, il demeure ambigu dans

la littérature existante. Certains auteurs parlent de *finalité*, d'autres d'*objectifs*, voire de *but*. Nous choisissons de conserver le terme « objectif ».

Nous soutenons que les objectifs des TBA se réfèrent à deux dimensions de l'espace de conception : le *Focus* et le *Niveau de conscience de la situation* (SA). Ces deux dimensions permettent d'intégrer toutes les options existantes et d'envisager de nouvelles. Concrètement, elles (i) ouvrent de nouvelles opportunités de conception et (ii) encouragent les concepteurs à aller au-delà d'options simples comme la *surveillance*, et à explorer des niveaux plus élevés de conscience de la situation.

FOCUS. En termes d'objectifs des TBA, la plupart des travaux se limitent à fournir des listes d'exemples, généralement dérivés des travaux de Park et Jo (2015). Sedrakyan *et al.* (2019) ont analysé les objectifs des étudiants sous l'angle de l'intervention visée (ou de la rétroaction) et ont proposé les points de focus suivants en lien avec le processus d'apprentissage : (i) cognitif, (ii) orienté vers les résultats (par exemple, le niveau de réussite), (iii) orienté vers le processus, (iv) comportemental, (v) méta-cognitif. Comme la présence sociale est un élément clé de l'expérience éducative (Garrison *et al.*, 2003), nous proposons d'ajouter à cette liste (vi) l'aspect social, qui concerne le travail de groupe ou les relations entre apprenants (par exemple, dans les forums). Les interventions sur (vii) les émotions (Ez-Zaouia *et al.*, 2020) devraient compléter cette liste. Cette extension de la liste des objectifs des TBA vise à mieux prendre en compte les aspects sociaux et émotionnels de l'expérience d'apprentissage des étudiants, contribuant ainsi à une conception plus holistique et centrée sur l'utilisateur de ces outils.

Les objectifs des enseignants incluent des interventions liées au processus d'apprentissage des étudiants ; cette même liste de points de focus s'applique également aux étudiants. Ils sont également préoccupés par la gestion des cours, et leurs objectifs peuvent se concentrer sur (i) les personnes (par exemple, les étudiants à risque), (ii) les ressources (gestion ou amélioration), (iii) les activités (y compris l'évaluation), (iv) l'expérience d'apprentissage vécue. D'autres parties prenantes au niveau méga- ou macro-niveau peuvent s'intéresser à des objets de focus supplémentaires, mais cette liste reste à proposer.

NIVEAU DE CONSCIENCE DE LA SITUATION. Généralement, un objectif peut être exprimé sous la forme d'un verbe suivi d'un objet. Lors de l'examen des listes d'objectifs, l'expression peut être liée à un niveau de conscience de la situation ou d'état (Endsley, 1995), qui peut prendre différents noms en fonction du contexte : (1) *sensibilisation* ou surveillance, (2) *analyse* ou réflexion, et (3) *action*, ou projection, décision, intervention, impact, rétroaction, évaluation.

Le Tableau 2 présente la liste des objectifs élaborés par Park et Jo (2015) en fonction de leur *Focus* et du *Niveau de conscience de la situation* visé. Il couvre la plupart des options de processus d'apprentissage, mais pas les niveaux de conscience de la situation correspondants. Les utilisateurs devraient être incités à explorer d'autres niveaux de conscience de la situation, en tenant compte de la rétroaction. En ce qui concerne les options de gestion, il existe encore de nombreuses possibilités à étudier.

2.4.5. Quoi ? Spécification des données

Selon l'objectif défini et le public ciblé, un ensemble de données sera nécessaire pour soutenir le processus de compréhension (c'est-à-dire la création de sens) des utilisateurs visés. La portée des données doit être précisée, car elle est indépendante du public. Elle peut concerner un apprenant, la classe (ou une cohorte entière) ou même l'institution, mais elle

peut aussi concerner l'enseignant. L'inclusion de l'enseignant dans cette dimension favorise l'investigation de l'analyse des enseignants (Bienkowski *et al.*, 2012), où l'objectif est d'améliorer le processus d'apprentissage lui-même.

Tableau 2 : Objectifs exprimés liés au focus et au niveau de SA

Objectif	Focus	Niveau de SA
Améliorer la rétention et les résultats	Processus cognitif	Sensibilisation
Fournir une visualisation des performances d'apprentissage avec une comparaison de l'ensemble de la classe	Performance du processus d'apprentissage	Compréhension
Fournir des commentaires sur les activités et les performances d'apprentissage des étudiants	Performance du processus d'apprentissage	Action
Suivre les interactions des apprenants dans les systèmes d'apprentissage en ligne	Comportement d'apprentissage	Compréhension
Favoriser la réflexion et la prise de conscience de leur activité	Processus méta-cognitif	Sensibilisation
Permettre aux étudiants l'autorégulation de leurs apprentissages	Processus méta-cognitif	Compréhension
Visualiser l'évolution des relations entre les participants dans les forums de discussion, pour aider les étudiants à voir comment ils contribuent au groupe	Aspect social du processus d'apprentissage social	Sensibilisation
Identifier et prendre en charge les étudiants à risque	Gestion des personnes	Sensibilisation → Action

La source et la portée des données sont également des caractéristiques importantes de la conception. Les données peuvent être collectées en classe (analyse de classe), à partir de systèmes de gestion de l'apprentissage classiques, de l'institution (transcriptions du curriculum, profils des apprenants, ...) ou d'autres sources (analyse multimodale). La durée peut être aussi courte qu'une session ou aussi longue qu'une vie. La liste des différentes données nécessaires doit également être établie pour définir le tableau de bord. Dans cette dimension, les données peuvent provenir des environnements d'apprentissage eux-mêmes ou de transformations, telles que des agrégations ou des calculs d'indicateurs de haut niveau. Ces transformations sont cruciales pour convertir les données brutes en informations significatives et utiles pour les utilisateurs finaux.

2.4.6. Comment ? Visualisation et création de sens dans les TBA

La question du « Comment ? » est cruciale pour les tableaux de bord, car des visualisations adéquates sont nécessaires pour obtenir des aperçus significatifs (Chatti *et al.*, 2020 ; Sarikaya *et al.*, 2019). Comme identifié dans la section « Pourquoi », le tableau de bord peut soutenir un processus de création de sens, où l'utilisateur(s) peut naviguer à travers différents

niveaux de conscience de la situation et peut avoir besoin d'analyser des données. Les visualisations jouent un rôle clé dans la création de sens dans les tableaux de bord, en permettant aux utilisateurs de naviguer à travers différents niveaux de conscience et d'analyser des données. Elles peuvent prendre la forme de graphiques, de diagrammes ou de cartes et peuvent être interactives, permettant aux utilisateurs de manipuler les données et de découvrir des aperçus significatifs.

En matière d'interactions, Shneiderman (2003) propose une taxonomie concise pour guider les interactions avec des informations graphiques. La taxonomie de recherche d'informations, connue sous le nom de « Mantra de recherche d'information visuelle » (*Visual Information-Seeking Mantra*), englobe des tâches telles que fournir une vision globale des données, examiner une partie spécifique avec sélection et interaction, réduire la quantité de données, obtenir des détails précis, visualiser des relations, conserver un historique d'actions, et extraire une sous-collection ciblée.

2.4.7. Cadre de conception

L'ensemble des dimensions identifiées constitue un cadre exhaustif destiné à guider le processus de conception participative. Ce cadre se structure en deux parties distinctes (Figure 3). La première s'attache à détailler le contexte d'utilisation, englobant les trois premières questions. La seconde concerne la spécification des données et de leurs visualisations, en lien avec le focus, ou objet central du TBA. Par ailleurs, elle analyse les interactions nécessaires pour interagir avec le TBA afin de faciliter la création de sens. Les dimensions spécifiquement liées à la création de sens en vue de la prise de décision sont mises en évidence par l'ajout d'une étoile. En résumé, ce cadre offre une vision détaillée des éléments à spécifier dans un processus de conception des TBA, en intégrant de manière intrinsèque les aspects cruciaux liés à la création de sens.

3. OUTILLAGE DE LA CONCEPTION PARTICIPATIVE

Dans cette section, nous introduisons les outils que nous avons élaborés pour soutenir la méthodologie de conception participative et générative, en accord avec le cadre théorique DEFLAD. Notre approche repose sur une collaboration active avec les parties prenantes et s'appuie sur les dimensions de conception définies par DEFLAD. Pour instrumenter et renforcer cette démarche, nous avons conçu deux outils complémentaires qui facilitent l'exploration et la concrétisation des idées issues des différentes dimensions de conception : un outil d'idéation collaborative centré sur l'utilisateur et un outil de prototypage rapide destiné aux développeurs travaillant en collaboration avec les utilisateurs. En les intégrant dans le processus global de conception, notre objectif est de créer une synergie étroite entre les utilisateurs et les développeurs, facilitant ainsi la création de TBA mieux adaptés aux exigences du terrain, et intégrant le savoir-faire métier des développeurs. Ces outils sont spécifiquement conçus pour répondre aux étapes de *Create* et *Deliver* du modèle de co-design en analytique de l'apprentissage (Prieto-Alvarez *et al.*, 2018) (voir Figure 1).

3.1. OUTILLAGE DE LA PHASE D'IDÉATION

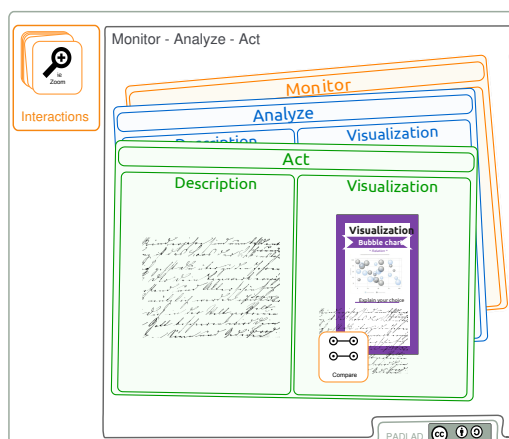
La phase d'idéation est une étape collaborative essentielle qui mobilise activement les parties prenantes, chacune contribuant avec ses perspectives uniques et ses connaissances spécialisées. Cette étape est cruciale dans le processus de conception, car elle permet de définir les objectifs de la conception de manière précise et exhaustive dès le début du processus. Pour soutenir efficacement cette phase, nous avons développé PaDLAD (Sadallah *et*

al., 2022), une boîte à outils d'idéation spécialement conçue pour cela. Cet ensemble d'outils, qui comprend des personas, des cartes d'exploration, des panneaux et des supports de sketching, vise à stimuler la créativité et à clarifier les différentes dimensions de l'espace de conception.



(a) Panneau d'identification

(b) Panneau DataViz



(c) Panneau de sketching

Figure 4 : Différents panneaux composant la boîte à outils PaDLAD

Destinée aux différents acteurs éducatifs, PaDLAD permet la création de tableaux de bord qui suivent non seulement les indicateurs associés aux objectifs, mais détectent également des situations potentiellement indésirables, identifient les preuves de ces situations, et rassemblent les informations nécessaires pour planifier des actions correctives. L'activité de conception avec cet outil est définie comme un processus en trois phases essentielles : (1) *Identification* de l'objectif du TBA ; (2) Définition des *données* et des *visualisations* appropriées ; et (3) *Sketching* en réalisant des croquis du TBA visé. Ces phases sont concrétisées par trois panneaux dédiés (Figure 4). Chaque panneau est conçu pour accueillir des artefacts spécifiques (cartes et formulaires) fournissant des informations liées à l'étape spécifique du processus de conception.

PANNEAU D'IDENTIFICATION. Ce panneau (Figure 4a) est dédié à la description du contexte d'utilisation spécifique du tableau de bord. Il comporte trois sections réservées pour accueillir une *formulaire de persona*, une *fiche d'objectif*, et un ensemble de *cartes de contexte*.

Le *formulaire de persona* est conçu pour personnifier les parties prenantes et collecter des informations pertinentes, telles que l'expertise, la culture visuelle, ou la motivation. Il offre ainsi une clarification sur l'utilisateur et le contexte du TBA.

Étant donné que l'objectif joue un rôle central dans le processus d'idéation, une *fiche d'objectif* est réservée pour soutenir son expression. Cette fiche permet d'énoncer le problème que le tableau de bord cherche à résoudre et la manière dont cette résolution doit être atteinte. L'objectif est défini en fonction du niveau souhaité de conscience de la situation et peut être adapté aux profils des participants, exprimant leurs besoins de manière différenciée, qu'ils soient apprenants, enseignants, ou autres.

Quatre *cartes de contexte* supplémentaires sont proposées pour fournir des informations relatives à l'utilisation anticipée du tableau de bord. Les *Cartes de Public* aident à définir le champ d'analyse, notamment les utilisateurs et la circulation de l'information entre eux. Les *Cartes de Données* précisent la source de données visée ainsi que le moment de la collecte des données (temps d'observation).

PANNEAU DATAVIZ (DONNÉES & VISUALISATIONS). Ce panneau (Figure 4b), axé sur la question *Quoi ?*, offre un espace spécifique pour les tuples composés de cartes de données et de visualisation. Les cartes *Données* (ou *Mesures*) identifient les données et indicateurs pertinents pour atteindre les objectifs du TBA. Les cartes *Visualisations* forment un ensemble de cartes technologiques proposant des représentations visuelles classiques.

L'interaction entre les cartes *Données* et *Visualisations* est cruciale. Les tuples sont construits de manière à définir les données et à les associer aux visualisations appropriées, assurant ainsi une représentation significative des informations contenues dans les cartes de données. Par exemple, un tuple pourrait associer une *Carte de Données* décrivant les taux de réussite des apprenants avec une *Carte de Visualisations* sous forme de diagramme à barres pour représenter ces taux. Un autre tuple pourrait lier les *Données* concernant l'engagement des utilisateurs avec la *Visualisation* d'un graphique en secteurs, offrant ainsi une vue rapide des activités prédominantes. Ainsi, ce panneau vise à créer une relation cohérente entre les données sélectionnées et les moyens visuels utilisés pour les présenter, favorisant une visualisation claire et pertinente dans le TBA.

LE PANNEAU SKETCHING. Ce panneau (Figure 4c) vise principalement à faciliter la création de vues et de représentations graphiques au cours du processus de conception. Les participants utilisent des esquisses pour donner forme au TBA, en combinant divers tuples de données/visualisations et en définissant des options d'interaction. Cette étape, à la fois pratique et visuelle, enrichit significativement le processus de conception.

Nous envisageons un TBA comme une interface interactive dynamique qui évolue en fonction des interactions de l'utilisateur. Dans cette optique, les vues générées ne sont pas statiques, mais sont plutôt façonnées et modifiées par les actions des utilisateurs. Trois catégories de vues sont distinguées, correspondant aux niveaux de conscience de situation que les utilisateurs cherchent à associer au TBA : (1) les vues *Perception*, qui sont orientées vers la surveillance de l'environnement et fournissent une vue globale des données pertinentes ; (2) les vues *Compréhension*, qui intègrent des représentations visuelles pour éclairer l'analyse et la compréhension de situations spécifique ; et (3) les vues *Projection*, qui préparent l'utilisateur à agir sur les situations découvertes et analysées dans les niveaux précédents. Ces vues sont matérialisées par des fiches contenant des tuples de données/visualisation placées sur le panneau. Il convient de souligner que toutes ces vues ne sont pas nécessairement présentes dans un TBA, et qu'un TBA peut inclure plusieurs vues du même type. Cette flexibilité assure une conception qui répond aux besoins spécifiques des utilisateurs. Ainsi, le TBA peut

être personnalisé et adapté pour fournir les informations les plus pertinentes et utiles pour chaque utilisateur ou situation.

L'interaction joue un rôle central dans la transition entre les différentes vues, permettant une progression graduelle de la *Perception* à l'analyse, puis à la *Compréhension*, et enfin à la *Projection*. Pour façonner ces interactions, nous nous sommes inspirés du *Mantra de la recherche d'information visuelle* de Shneiderman (2003), que nous avons intégré à l'espace de conception. Nous avons ainsi identifié six types d'interaction : (1) *Vue d'ensemble* permet à l'utilisateur d'avoir une vue globale des données disponibles ; (2) *Zoom* peut être exécuté pour examiner une partie des données en permettant de sélectionner cette partie ; (3) *Filtre-Recherche* réduit la quantité de données et/ou d'objets visuels affichés, et aide l'utilisateur à trouver et à se concentrer sur des éléments d'intérêt spécifiques ; (4) *Détails* peut être utilisé pour obtenir plus de précision sur les données ou une partie des données afin d'obtenir un meilleur aperçu ; (5) *Relation-Association-Comparaison* permet aux utilisateurs de visualiser les relations entre les points de données ; et (6) *Changement de vue* peut être utilisé pour changer le point d'intérêt de l'utilisateur.

Ce panneau de sketching guide les participants de trois manières distinctes dans la définition d'options visant à soutenir la création de sens par l'utilisateur du TBA. En premier lieu, les fiches associées aux différents niveaux de conscience de la situation sont différenciées par des couleurs spécifiques (*rouge* pour la surveillance, *bleu* pour l'analyse et la compréhension, et *vert* pour la projection et l'action). Ensuite, le panneau intègre des cartes technologiques pour aider les participants à exprimer toutes les options d'interaction avec le TBA et ses différentes vues. Enfin, chaque fiche est couplée à un formulaire encourageant les participants à décrire leur vision du processus de création de sens. Cette approche complète offre une diversité d'outils visuels et conceptuels, facilitant une exploration approfondie du potentiel du TBA tout en permettant la mise en place d'options pour renforcer la création de sens par l'utilisateur.

3.2. OUTILLAGE DE LA PHASE DE PROTOTYPAGE ET DE SUPPORT

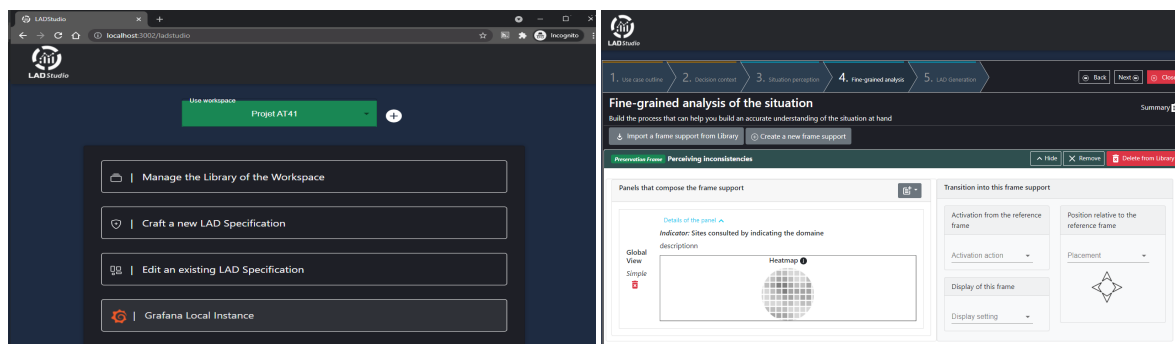
Pour soutenir la phase de prototypage, nous avons créé LADStudio (Sadallah et Gilliot, 2023), un outil qui permet de générer des prototypes de TBA via une spécification déclarative résultant de la phase d'idéation. La conception générative implique que les utilisateurs décrivent leurs besoins et intentions, explorent l'espace de conception, génèrent des solutions cibles, puis sélectionnent et affinent la solution la plus appropriée. Cette approche guide la conception progressive du TBA, impliquant les utilisateurs et les concepteurs à différentes étapes. Les utilisateurs participent à la description des besoins, à l'évaluation du résultat, tandis que les concepteurs dirigent la génération, explorent des options et évaluent les résultats avec les utilisateurs.

LADStudio est conçu selon une architecture à trois niveaux dans laquelle la présentation, le traitement des applications et la gestion sont des processus logiquement séparés. Nous l'avons implémenté en utilisant des technologies modernes. Le rendu du tableau de bord est testé avec une instance de Grafana¹, un outil open source d'analyse et de visualisation interactive. L'interface principal de LADStudio ainsi que ses composants essentiels sont illustrés sur la Figure 5 et seront examinés en détail dans les paragraphes suivants.

MODÈLE À BASE DE COMPOSANTS. Nous avons adopté une approche basée sur les composants pour modéliser la structure des tableaux de bord. De cette manière, la structure (et la vue logique) d'un tableau de bord est élaborée en utilisant une hiérarchie de composants

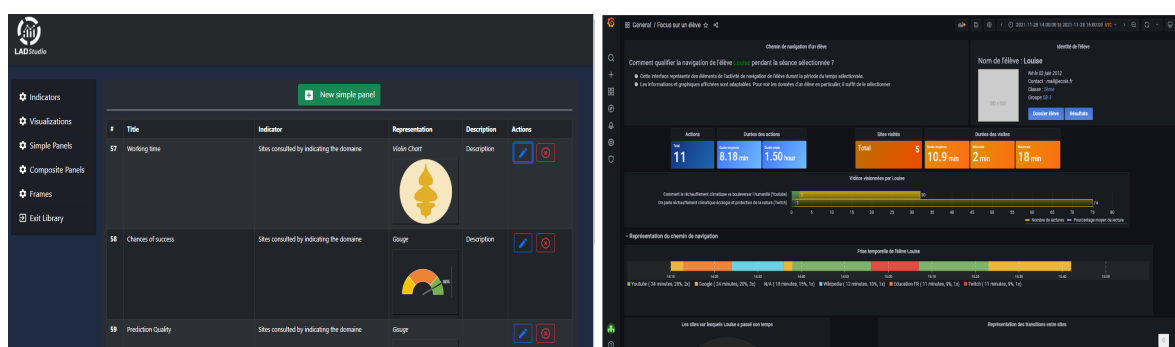
1. <https://grafana.com/grafana/>

imbriqués. Cette méthode facilite la conception des TBA en offrant des composants communs, partageables et réutilisables. De nouveaux composants peuvent être créés en adaptant des composants existants ou en utilisant des composants de niveau inférieur.



(a) Accueil et modules LADStudio

(b) Spécification d'un TBA



(c) Librairie de panneaux

(d) Prototype d'un TBA généré

Figure 5 : Principaux composants de LADStudio

Les composants d'un TBA se déclinent en plusieurs catégories (Figure 6) :

- *Indicateurs* : ces éléments de données représentent des mesures d'intérêt stratégique. Chaque indicateur est défini par un nom, une description qui en précise la signification et l'importance, ainsi qu'une formule de calcul qui en détaille la méthode de détermination.
- *Visualisations* : ces composants graphiques transforment les données en une représentation visuelle intuitive, facilitant ainsi l'analyse et l'interprétation par l'utilisateur. Elles peuvent prendre diverses formes, telles que des graphiques, des tableaux ou des cartes, et sont conçues pour mettre en évidence des tendances ou des modèles spécifiques dans les données.
- *Panels* : éléments structurants du tableau de bord, ils servent de conteneurs pour les visualisations et établissent des relations structurantes entre les composants. On distingue deux types de panels :
 1. les *panels de base*, qui associent les indicateurs aux visualisations correspondantes, permettant ainsi une interprétation directe et simplifiée des mesures clés ;
 2. les *panels composites*, qui combinent plusieurs panels de base pour créer des structures plus complexes, offrant une vue d'ensemble et une analyse comparative des différents indicateurs.
- *Vues* : ce sont des composants de haut niveau conçus pour soutenir les différents niveaux de conscience de la situation. Ils fournissent les éléments structurels et dé-

finissent l’interactivité nécessaire pour développer une compréhension approfondie de l’environnement. Trois types de vues sont identifiés, chacun correspondant à un niveau différent de conscience de la situation :

1. les vues *Perception*, qui permettent à l’utilisateur de surveiller son environnement à travers des indicateurs et des visualisations immédiatement perceptibles ;
2. les vues *Compréhension*, qui offrent des représentations aidant l’utilisateur à analyser et à comprendre une situation spécifique grâce à des visualisations interactives et des panels de base ;
3. les vues *Projection*, qui préparent l’utilisateur à intervenir sur les situations identifiées et analysées dans les niveaux précédents, en utilisant des panels composites pour anticiper les tendances futures et planifier des actions.

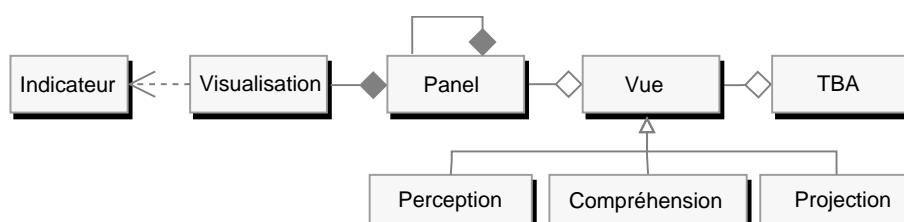


Figure 6 : Structure à composants des tableaux de bord

MODÈLE D’INTERACTION. Afin de définir les types d’interaction qui favorisent la création de sens, nous avons intégré six catégories d’interaction, explicitement détaillées dans DEFLAD, décrites dans PaDLAD, et inspirées du *Mantra de la recherche d’information visuelle* de Shneiderman (2003). L’interaction de l’utilisateur avec le composant cible (panneau ou vue) déclenche des processus en arrière-plan qui mettent à jour le TBA. Cela peut entraîner l’affichage de nouvelles données que l’utilisateur peut intégrer à ses connaissances internes en construisant un cadre mental (*framing*) ou en modifiant son cadre actuel, voire en consolidant ce dernier.

BIBLIOTHÈQUE DES COMPOSANTS DU TBA. Dans l’objectif de favoriser la réutilisation et la collaboration, la *Bibliothèque des Composants* offre une plateforme permettant de définir, de stocker et de partager divers éléments cruciaux pour la composition de tableaux de bord (voir Figure 5c). Cette bibliothèque regroupe cinq catégories de composants inhérents au modèle TBA (voir Figure 6) : (1) les *Modèles d’indicateurs*, définissant les critères de suivi ; (2) les *Visualisations*, proposant des représentations graphiques des données ; (3) les *Panels Simples*, constitués d’éléments autonomes ; (4) les *Panels Composites*, regroupant plusieurs panels simples pour une vue consolidée ; et (5) les *Vues*, déterminant les différentes perspectives du TBA.

L’utilisateur a la possibilité d’enrichir cette bibliothèque en concevant de nouveaux composants à partir de rien ou en utilisant des éléments préexistants. En outre, il a la capacité de modifier les composants existants ou, si nécessaire (par exemple, pour éviter la redondance), de les supprimer. Chaque composant est intrinsèquement lié à des interactions spécifiques, ce qui soutient le processus global de création de sens. Cette méthode favorise non seulement la flexibilité dans la conception des TBA, mais aussi la formation d’une communauté collaborative qui partage des ressources essentielles pour une conception optimale.

ASSISTANT DE SPÉCIFICATION DE TBA. Ce composant de l'outil permet de spécifier un tableau de bord étape par étape (Figure 5b). Le scénario de spécification se compose de cinq écrans séquentiels : (1) description du contexte cible et de l'utilisation visée ; (2) définition de l'objectif principal du tableau de bord ; (3) description des vues de suivi permettant de surveiller l'environnement, par rapport à l'objectif défini ; (4) description des vues d'analyse et de compréhension permettant d'atteindre les niveaux de conscience de situation : compréhension et projection, en lien avec l'aspect surveillé ; et (5) génération d'une spécification du tableau de bord.

Le prototype généré peut être visualisé sur une instance Grafana embarquée ou sur une installation distante (voir l'exemple présenté sur la Figure 5d). Une spécification de tableau de bord produite avec LADStudio peut être rééditée, définissant un processus cyclique d'édition et de test. De plus, les composants (indicateurs, visualisations, panneaux et vues) produits sont automatiquement sauvegardés, ce qui simplifie l'alimentation de la bibliothèque de LADStudio pour la réutilisation des composants.

4. EXPÉRIMENTATIONS

4.1. PROBLÉMATIQUE

Dans cette section, nous rapportons les expérimentations que nous avons réalisées pour évaluer les outils proposés comme support à la conception participative de TBA. Nos questions de recherche sont les suivantes :

- Est-ce que les outils proposés sont utilisables par les parties prenantes aussi bien pour la phase d'idéation que de spécification et génération de TBA ? (*QR1*)
- L'outil de conception participative encourage-t-il la collaboration et soutient-il la créativité participative au sein d'un groupe ? (*QR2*)
- L'outil de prototypage assure-t-il une bonne expérience utilisateur ? (*QR3*)

4.2. MÉTHODOLOGIE

Nous avons mené deux études qualitatives distinctes pour évaluer nos outils. Pour l'évaluation de l'outil d'idéation PaDLAD, nous avons sollicité la participation de quinze individus, comprenant des enseignants, des chercheurs et des concepteurs pédagogiques sans expertise spécifique en EIAH. D'autre part, pour l'évaluation de l'outil de prototypage LADStudio, nous avons impliqué un autre groupe de treize participants. Ces derniers étaient également des enseignants, des chercheurs et des concepteurs pédagogiques, mais possédaient des connaissances techniques sur les tableaux de bord et le développement d'interfaces liées aux EIAH. Il est important de noter que, bien que LADStudio ait été initialement destiné aux développeurs, des participants avec des compétences techniques ont été recrutés en raison de la difficulté à trouver un nombre suffisant de développeurs de TBA pour participer à l'étude. Les données socio-démographiques des participants sont présentées dans le Tableau 3.

4.3. PROCÉDURE

Pour évaluer PaDLAD, un atelier de conception participative de TBA a été organisé. L'objectif était de construire collectivement des TBA adaptés au contexte du collège, répondant aux besoins des enseignants et des ingénieurs pédagogiques. Les chercheurs ont introduit l'outil lors d'une phase d'introduction, exposant les objectifs de l'atelier et détaillant chaque aspect de la boîte à outils. Ils ont ensuite guidé les discussions en veillant à ce que les instructions et le protocole soient respectés, et en répondant aux questions des participants.

Après avoir exposé le protocole de mise en œuvre de la conception participative, les participants ont été répartis en groupes équilibrés pour favoriser une diversité de perspectives. Chaque groupe a disposé d'environ une heure et demie pour travailler sur sa conception.

Tableau 3 : Données démographiques des participants aux deux évaluations

Variable/Catégorie		PaDLAD (N = 15)	LADStudio (N = 13)
Genre	Masculin	07	08
	Féminin	08	05
Âge	30–45	11	07
	46–60	04	03
Profession	Enseignant	06	04
	Concepteur pédagogique	07	03
	Chercheur	02	06

Pour l'évaluation de LADStudio, la procédure a été similaire. Après une session de présentation et de démonstration de l'outil, les participants ont été invités à expérimenter l'outil individuellement pendant une courte période, puis à participer à un atelier de conception participative similaire à celui de PaDLAD. Le chercheur a continué de jouer un rôle de facilitateur dans chaque étape, guidant les discussions, expliquant les outils et les méthodes, veillant à ce que les instructions soient suivies, et répondant aux questions des participants. L'étude a duré environ deux heures.

À la fin de chaque étude, les participants ont été invités à remplir individuellement un questionnaire évaluant divers aspects de l'outil, y compris l'utilisabilité, la qualité de la participation et l'expérience utilisateur.

4.4. INSTRUMENTS

Nous avons suivi une approche qualitative, utilisant des questionnaires et recueillant les réactions des participants. Ces questionnaires sont fondés sur des instruments validés que nous avons modifiés pour les adapter au contexte français. Pour garantir leur pertinence et leur compréhension, nous avons soumis ces questionnaires à l'arbitrage de collègues chercheurs et de deux concepteurs pédagogiques expérimentés. Nous avons ensuite révisé les questionnaires en fonction des recommandations reçues.

UTILISABILITÉ. La facilité d'utilisation de PaDLAD et celle de LADStudio ont été évaluées avec les participants à la fin de chaque étude en remplissant des questionnaires SUS (System Usability Scale) (Brooke *et al.*, 1996) dédiés. Nous avons décidé d'utiliser le SUS, qui est un test d'utilisabilité standardisé, pour trois raisons principales (1996 ; Tullis et Stetson, 2004) : (1) il couvre une variété d'aspects de la convivialité, tels que le besoin d'assistance, la facilité d'apprentissage et la complexité ; (2) il peut être utilisé sur un petit échantillon tout en fournissant des résultats fiables ; et (3) il s'est avéré être un instrument valide pour évaluer efficacement la convivialité des systèmes. Sur la base du modèle général du SUS (Brooke *et al.*, 1996) et de sa version française (F-SUS) (Gronier et Baudet, 2021), nous avons conçu deux questionnaires, contenant chacun les dix énoncés SUS. Chaque affirmation impaire était formulée sur un ton positif, tandis que les affirmations paires étaient formulées sur un ton négatif. Le niveau d'accord était mesuré sur une échelle de Likert, allant de *Tout à fait en désaccord* (noté 1) à *Tout à fait en accord* (noté 5).

QUALITÉ DE LA PARTICIPATION. Pour évaluer le degré d'implication des participants lors des ateliers de conception, nous avons utilisé la *Self-Report Level of Participation Survey* (SRLPS) proposé par Hyett *et al.* (2020), instrument adapté d'un outil de mesure de la participation, le *spidergram* (Draper *et al.*, 2010). Le SRLPS se concentre sur cinq activités de codesign, que nous définissons dans notre contexte comme suit :

- *Planification et organisation* : cette activité implique la détermination des aspects du TBA à aborder à chaque étape de la conception. Cela peut inclure la définition des objectifs, l'établissement d'un calendrier et la répartition des tâches.
- *Processus de conception créative* : il s'agit d'un ensemble d'activités qui favorisent l'émergence d'idées et de constructions de conception innovantes pour le TBA. Cela peut inclure le brainstorming, le dessin de croquis, la modélisation, etc.
- *Définition des priorités* : cette activité consiste à identifier les priorités pour les tâches de conception du TBA et à déterminer les éléments de la conception à mettre en avant ou à atténuer. Cela peut impliquer des discussions de groupe, des votes, etc.
- *Négociation* : il s'agit d'une discussion visant à explorer différentes options de conception du TBA dans le but de parvenir à un accord. Cela peut impliquer des compromis, des discussions ouvertes, etc.
- *Réflexion et évaluation* : cette activité consiste en une session de brainstorming avec le groupe pour évaluer la pertinence de chaque choix de conception du TBA par rapport à l'objectif fixé. Cela peut inclure des discussions de groupe, des retours d'information, etc.

Nous avons invité les participants à évaluer individuellement leur niveau de participation pour chaque activité. Les notes attribuées étaient les suivantes : 1 = *passif* (participation de faible niveau), 2 = *partage d'informations*, 3 = *engagement et mobilisation*, 4 = *collaboration*, et 5 = *autonomisation* (participation de haut niveau). L'objectif était d'atteindre pour chaque activité une médiane de 4 (collaboration).

EXPÉRIENCE UTILISATEURS. L'évaluation de l'expérience utilisateur (UX) donne un aperçu du niveau de confort d'une personne par rapport à la satisfaction d'un système, et détermine les domaines à améliorer. Nous avons utilisé le questionnaire sur l'expérience de l'utilisateur UEQ (User Experience Questionnaire), un outil valide qui sert à évaluer de manière exhaustive l'expérience utilisateur des produits interactifs (Laugwitz *et al.*, 2008), applicable à de petits groupes (Schrepp *et al.*, 2014). Le questionnaire regroupe un total de 26 items répartis en six échelles (Santoso *et al.*, 2016) :

- *Attraction* décrit l'impression générale que les utilisateurs avaient de l'outil ;
- *Efficacité* qualifie la possibilité d'utiliser l'outil rapidement et efficacement ;
- *Compréhensibilité* décrit la facilité avec laquelle il est possible de comprendre comment utiliser l'outil et de s'y familiariser ;
- *Fiabilité* qualifie le sentiment de l'utilisateur d'avoir le contrôle de son interaction et d'être en confiance avec l'outil ;
- *Stimulation* décrit si l'utilisation de l'outil est excitante et motivante ; *Originalité* décrit dans quelle mesure la conception de l'outil est innovante et créative, et attire l'attention de l'utilisateur.

4.5. RÉSULTATS

4.5.1. Évaluation de l'utilisabilité des outils

Afin d'analyser les résultats de l'étude d'utilisabilité, nous avons calculé les scores SUS en suivant la procédure proposée par Brooke *et al.* (1996). Ces scores sont calculés en utili-

sant l'équation présentée dans la Formule 1, où n est le nombre de participants, $m = 10$ est le nombre de questions, q_{ij} est le score individuel par question et par participant, et $norm = 2.5$ est un facteur de normalisation.

$$\overline{SUS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n norm. \sum_{j=1}^m \begin{cases} q_{ij} - 1, & \text{si } q_{ij} \bmod 2 > 0 \\ 5 - q_{ij}, & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Le score SUS est une échelle qui s'étend de 0 à 100. Un score de 0 signifie que l'utilisateur considère le système comme totalement inutile, tandis qu'un score de 100 signifie que l'utilisateur considère le système comme extrêmement utile. Tout score dépassant 68 est considéré comme étant au-dessus de la moyenne. Dans Bangor *et al.* (2009), les scores SUS sont mis en correspondance avec une échelle d'adjectifs afin d'attacher une signification plus descriptive au score SUS attribué à un système. Selon Brooke *et al.* (1996), le SUS devrait être considéré comme une mesure unidimensionnelle de l'utilisabilité. Par conséquent, dans l'analyse de nos résultats, nous nous concentrerons sur le score global SUS plutôt que sur les scores individuels des questions.

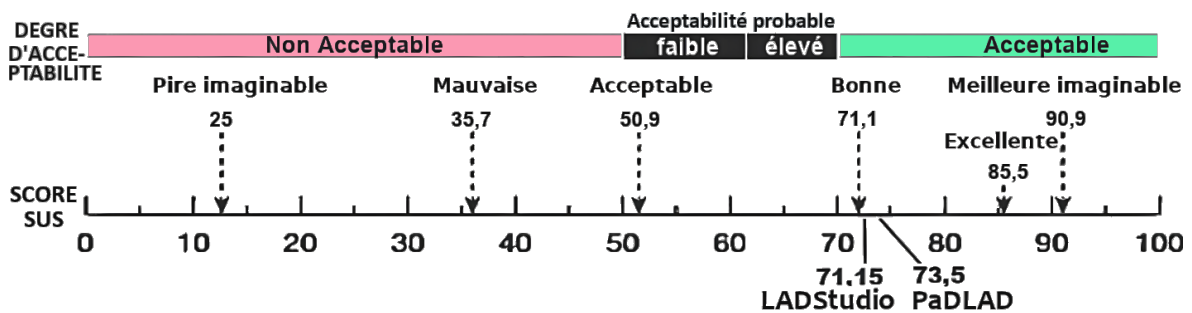


Figure 7 : Résultats de l'étude d'utilisabilité de PaDLAD et de LADStudio

Les résultats de l'évaluation des participants pour les deux outils sont présentés sur la Figure 7. La valeur totale du score SUS obtenu pour PaDLAD était de 1102,5, avec une valeur moyenne de 73,5, un écart-type de 9,34 et une médiane de 72,5. En utilisant le classement par grade, et comme le montre Figure 7, le score SUS de 73,5 attribué à la boîte à outils signifie que le niveau de l'utilisateur *Plage d'acceptabilité* est élevé, que le niveau de l'échelle des grades est *catégorie C* et que le niveau de l'évaluation des adjectifs de l'utilisateur est *Catégorie bonne*. Cela indique un niveau satisfaisant et acceptable d'utilisabilité de PaDLAD par les participants.

L'évaluation de LADStudio a donné un score SUS total de 925 avec une valeur moyenne de 71,15, un écart-type de 6,15 et une médiane de 72,5. En utilisant ce classement par grade proposé par Bangor *et al.* (2009) (voir Figure 7), le score SUS de l'outil de 71,15 signifie que le niveau de l'utilisateur *Plage d'acceptabilité* est *Acceptable*, le niveau de l'échelle d'adjectifs *catégorie C*, et le niveau de l'utilisateur *Catégorie adjective* est *Bon*. Cela suggère que les participants ont trouvé l'outil suffisamment utilisable et acceptable.

4.5.2. Qualité de participation de PaDLAD

Pour analyser les données recueillies à l'aide du questionnaire SRLPS, tel que préconisé par ses auteurs (Hyett *et al.*, 2020), nous avons converti les niveaux de participation en valeurs numériques. Dans cette échelle, 1 correspond à une participation passive (niveau bas), 2 au partage d'informations, 3 à l'engagement et la mobilisation, 4 à la collaboration, et 5 à l'autonomisation (niveau élevé). Le Tableau 4 présente la médiane et l'intervalle des scores pour chaque activité clé mesurée par l'enquête.

Tableau 4 : Résultats de l'étude de la qualité de participation de PaDLAD

Tâche principale	Moyenne (écart-type)	Médiane (min-max)
Planification et organisation	3.46 (0.64)	4 (2-4)
Processus de conception créative	3.66 (0.62)	4 (2-4)
Définition des priorités	3.20 (0.94)	4 (2-4)
Négociation	3.60 (0.82)	4 (2-5)
Réflexion et évaluation	3.40 (0.74)	4 (2-4)

Échelles : 1 = passif, 2 = partage d'informations, 3 = engagement et mobilisation, 4 = collaboration et 5 = autonomisation.

Bien qu'il y ait une certaine variabilité dans les scores entre les participants individuels, la note cible de collaboration (médiane de 4) a été atteinte pour toutes les activités. Les activités liées à la négociation des choix de conception et au processus de conception créative ont reçu le plus haut niveau de participation autodéclarée. Cela démontre l'efficacité de la boîte à outils pour créer un environnement propice à la communication, à l'échange et à la créativité lors des ateliers de conception participative. Cependant, malgré un score plutôt satisfaisant, l'activité associée à la définition des priorités a enregistré le niveau de participation moyen le plus bas. Cela pourrait indiquer un besoin d'orienter davantage les participants et de simplifier l'outil proposé et le protocole associé. Enfin, il est intéressant de noter que bien qu'aucun des participants n'ait qualifié sa participation de passive, aucun d'entre eux n'a non plus indiqué le plus haut niveau de participation pour aucune des activités. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'expérience de co-design est nouvelle pour eux, et qu'ils peuvent se sentir dépourvus en termes de parcours et d'expérience pour être préparés à concevoir par eux-mêmes des outils qu'ils n'ont utilisés jusqu'à présent que de manière accessoire.

Ces résultats mettent en avant le potentiel de PaDLAD pour stimuler une participation élevée. Cependant, ils soulignent également la nécessité d'un accompagnement constant des participants durant tout le processus de conception, en particulier pour la définition des priorités. De plus, ils illustrent l'importance d'approfondir l'étude des facteurs susceptibles de limiter la participation des participants à son niveau le plus élevé.

4.5.3. Expérience utilisateur de LADStudio

Nous avons calculé les résultats de l'UEQ en utilisant les outils proposés par Laugwitz *et al.* (2008) après avoir échelonné les réponses des participants de -3 (extrême négatif) à +3 (extrême positif) sur une échelle de Likert. Les scores allant de -0,8 à 0,8 reflètent une évaluation neutre de la dimension correspondante, tandis que les scores supérieurs à 0,8 indiquent une évaluation positive et ceux inférieurs à 0,8 impliquent une évaluation négative.

Comme le montre la représentation graphique des résultats présentée sur la Figure 8, la note globale est suffisamment élevée. Le score moyen le plus élevé est celui de *Originalité*, avec une moyenne de 2,48 (écart-type = 0,17), suivi par *Efficacité* (moyenne = 2,27, écart-type = 0,90) et *Stimulation* (moyenne = 2,25, SD = 0,18). Ces scores sont d'un excellent niveau. La fiabilité a un bon score (moyenne = 1,64, écart-type = 0,17). Le résultat le moins positif concerne la dimension *Compréhensibilité* (moyenne = 1,13, écart-type = 0,73), ce qui signifie que les participants ont éprouvé quelques difficultés à comprendre l'utilisation de l'outil. Les scores *Originalité*, *Efficacité* et *Stimulation* sont à un excellent niveau, ce qui signifie que les participants ont considéré LADStudio comme très créatif, efficace et stimulant. Les résultats ont également montré que *Compréhensibilité* avait un résultat mitigé. Cela

peut s'expliquer par le temps relativement court que les participants passent sur l'outil par rapport à la quantité d'informations dont ils disposent. Nous sommes également conscients que l'adoption d'un tel outil nécessite un certain effort de diffusion et de formation auprès des concepteurs et de tous ses utilisateurs potentiels. LADStudio est un prototype et nécessite quelques itérations supplémentaires pour améliorer l'intuitivité de ses fonctionnalités.

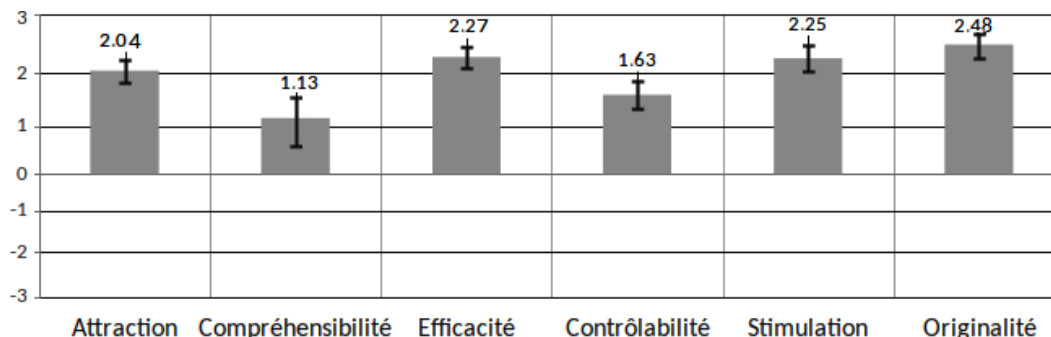


Figure 8 : Résultats de l'évaluation de l'expérience utilisateur de LADStudio

4.5.4. Commentaires des participants

Les commentaires des participants ont été recueillis à deux moments clés du processus : d'abord après les ateliers de conception participative avec PaDLAD, puis après des sessions de prototypage avec LADStudio. Ces séances ont permis aux participants de donner leurs impressions sur chaque outil et de partager leurs expériences tout au long du processus de conception. Les commentaires ont été consignés par écrit lors de séances de débriefing qui ont suivi ces activités, permettant ainsi une documentation précise des retours des participants et une compréhension approfondie de leurs expériences.

RETOURS ET COMMENTAIRES SUR PADLAD. Les participants ont apprécié la démarche globale de conception participative de PaDLAD, soulignant son rôle stimulant dans la création d'un débat passionné et la génération d'idées originales pour améliorer l'apprentissage en classe. Un participant a exprimé : « *L'approche participative de PaDLAD a vraiment encouragé un échange d'idées dynamique, ce qui a été crucial pour explorer des solutions innovantes aux défis éducatifs* ». L'outil PaDLAD, utilisé lors de la phase d'idéation, a été apprécié pour sa capacité à susciter des idées de conception originales, favorisées par la dynamique d'échange et de partage. Un autre participant a partagé : « *Les sessions d'idéation avec PaDLAD ont été particulièrement enrichissantes. L'emploi de cet outil a considérablement facilité la collaboration, nous permettant ainsi de générer des idées créatives de manière efficace* ».

Un défi majeur rencontré pendant l'idéation a été le processus de négociation nécessaire pour établir un persona, mettant en lumière les divers traits de personnalité, défis et aspirations des participants. Certains ont soulevé des interrogations sur le niveau de détail nécessaire dans la description du persona. Un participant a partagé son point de vue : « *La création du persona a été un défi, surtout pour déterminer le niveau de détail. Plus d'exemples pratiques auraient été utiles* ».

Une fois le persona établi, les groupes ont défini des objectifs, parfois déviés de ceux initialement préconçus, soulignant ainsi la nécessité d'une flexibilité dans la conception des tableaux de bord. Un participant a noté : « *La flexibilité dans la définition des objectifs a été*

bénéfique. Cela nous a permis d'explorer des idées différentes et de trouver des solutions adaptées à nos besoins spécifiques ».

Bien que la spécification claire du tableau d'identification ait facilité la construction de l'image cible, les débats sur les représentations visuelles appropriées ont souligné le besoin de soutien à ce stade, notamment en raison des différents niveaux de littératie visuelle. Plusieurs participants ont exprimé leur besoin d'orientations plus claires sur le choix des représentations visuelles en fonction des données. Un participant a mentionné : *« Le choix des visualisations peut être délicat. Des conseils sur la correspondance entre les données et les représentations visuelles seraient utiles ».*

En résumé, il apparaît que renforcer la littératie en données et en visualisation est crucial pour une adoption plus efficace de PaDLAD. Néanmoins, cet outil s'est avéré utile pour surmonter la difficulté de concevoir des TBA malgré une culture limitée dans ces domaines. La construction des vues en fonction des niveaux de conscience a été particulièrement appréciée pour sa capacité à refléter les étapes du raisonnement et à permettre une projection dans des scénarios d'utilisation réels. Un participant a souligné : *« Ce qui est intéressant, c'est l'accent mis sur l'histoire que vous voulez raconter à travers les cartes, ce qui est une perspective très intéressante, voire innovante ».*

Cependant, un autre participant a soulevé des défis liés à la construction des panneaux associés aux niveaux de conscience de la situation : *« La possibilité de projeter le processus de raisonnement dans des représentations visuelles est attrayante, bien qu'elle ajoute de la complexité au fait de devoir déterminer les différentes étapes et de construire les écrans correspondants. De plus, parfois un seul écran suffit pour toutes les étapes ».* Certains participants ont partagé leurs expériences personnelles sur la manière dont ils ont réussi à simplifier ce processus, tandis que d'autres ont évoqué la nécessité d'outils complémentaires pour rendre cette étape plus accessible. Un participant a suggéré : *« Intégrer des modèles préconçus pourrait rendre la construction des panneaux plus simple pour ceux qui débutent ».*

RETOURS ET COMMENTAIRES SUR LADSTUDIO. Les participants ont apprécié la stratégie de LADStudio pour relever les défis associés à la conception de TBA. Certains ont exprimé leur satisfaction quant à la capacité de l'outil à clarifier les attentes et à concrétiser les réponses. Un participant a souligné : *« Un tel outil permet de ne pas rester au niveau des idées et des croquis, mais de passer à des prototypes fonctionnels concrets, ce qui est essentiel pour concrétiser les concepts ».*

L'utilisation de LADStudio a été perçue comme nécessitant une compréhension approfondie du contexte et de l'objectif de l'outil. Un participant a partagé son expérience : *« J'ai réussi à utiliser l'outil correctement après un certain temps de pratique, mais il est essentiel de comprendre comment il s'inscrit dans le processus global de conception. C'est une sorte de transition des idées à des prototypes fonctionnels ».* Les participants ont également souligné l'accent positif mis par LADStudio sur la conception de TBA soutenant le processus de prise de sens de l'utilisateur. Un participant a partagé son point de vue : *« J'apprécie l'effort déployé pour concevoir des TBA qui soutiennent vraiment la manière dont les utilisateurs créent du sens. Cela donne une perspective très intéressante et innovante ».*

Plusieurs participants ont mentionné la facilité d'utilisation du module de spécification progressive de LADStudio pour décrire un TBA. Un participant a noté : *« La possibilité de décrire progressivement un TBA à travers des écrans séquentiels simplifie le processus de spécification, permettant ainsi une meilleure itération et test ».* En ce qui concerne la bibliothèque de composants, les participants ont apprécié son rôle dans la simplification de l'alimentation et la possibilité de capitaliser et réutiliser des composants. Un participant a partagé : *« La bibliothèque de composants est un ajout utile, facilitant la réutilisation et la*

capitalisation des composants créés. Cela rend le processus de conception plus efficace ».

Cependant, certains participants ont signalé des difficultés similaires à celles de PaDLAD, notamment concernant l'utilisation de concepts théoriques liés au processus décisionnel. Selon un des participant : « *L'intégration de ces concepts peut être un peu complexe au début, ce qui pourrait être un obstacle pour certains utilisateurs lors de leurs premières interactions avec l'outil. Il serait bénéfique d'avoir des guides plus spécifiques sur ces concepts* ».

En résumé, bien que LADStudio ait été perçu comme un outil novateur pour résoudre des défis spécifiques, les commentaires des participants soulignent la nécessité d'une meilleure compréhension du contexte, d'une période d'apprentissage initiale, d'une attention particulière à l'intégration de concepts théoriques, ainsi que d'une appréciation positive des fonctionnalités telles que le module de spécification progressive et la bibliothèque de composants. Ces éléments sont cruciaux pour améliorer l'expérience globale des utilisateurs et favoriser une utilisation plus efficace de l'outil dans des contextes de conception de TBA.

4.6. DISCUSSION

Les évaluations révèlent que les participants ont utilisé les outils sans rencontrer de difficultés significatives, ce qui témoigne d'une perception positive de leur attrait et de leur facilité d'utilisation. Ceci répond à notre question de recherche *QR1*. L'étude SRLPS a démontré les capacités de PaDLAD à créer un environnement qui encourage la communication, l'échange et la créativité entre les participants (répondant à *QR2*). Enfin, l'expérience utilisateur offerte de LADStudio est d'un niveau acceptable dans l'ensemble et montre notamment que les participants considèrent l'outil comme très créatif, efficace et stimulant, ce qui nous a permis de répondre positivement à la question *QR3*.

L'évaluation de l'utilisabilité, mesurée par le questionnaire SUS, atteste d'une bonne performance de la boîte à outils PaDLAD, avec un score global de 73,5, situé dans une fourchette d'acceptabilité élevée. De manière similaire, LADStudio affiche une bonne utilisabilité avec un score SUS moyen de 71,15. Les résultats de l'UEQ confirment quant à eux une expérience utilisateur globalement positive, établissant ainsi la qualité des aspects évalués. Parallèlement, l'analyse du niveau de participation des intervenants souligne l'efficacité de la boîte à outils et de sa méthodologie associée pour encourager une collaboration fructueuse. Ces constats sont étayés par les retours positifs des participants, ce qui est de bon augure pour le développement futur de PaDLAD et de LADStudio.

Néanmoins, la discussion se doit d'explorer les limites inhérentes à ces outils. La méthode par carte, bien que novatrice, expose des défis pratiques, avec des utilisateurs éprouvant parfois des difficultés à manipuler certaines composantes de la boîte à outils. Ces entraves ont eu des répercussions sur la compréhension des informations synthétisées sur les différentes cartes. Pour pallier ces obstacles, il est impératif de fournir des instructions détaillées, des directives précises, des exemples illustratifs, et d'instaurer un encadrement attentif avec un soutien personnalisé. Cette nécessité souscrit à l'idée que la documentation exhaustive de la boîte à outils et le rôle du facilitateur doivent être intégrés à la conception (Grudin, 1994). De plus, la méthodologie qualitative employée expose des biais bien identifiés, tels que le biais d'auto-sélection, la pensée de groupe et l'influence des personnalités dominantes (Silverman et Marvasti, 2008). Le biais d'auto-sélection, particulièrement saillant dans notre étude, compromet la généralisation des résultats à une population plus vaste. L'admission franche de ces limitations souligne l'importance d'adopter une approche critique dans l'interprétation des résultats (Bryman, 2016). Pour renforcer la validité externe, l'expansion de la taille de l'échantillon est préconisée (Nielsen, 2000). Bien que des études antérieures confirment la fiabilité du SUS et de l'UEQ avec des groupes restreints (Schrepp *et al.*, 2014; Tullis et Stetson, 2004), élargir la base d'utilisateurs renforcerait la robustesse des conclusions.

Enfin, il est impératif d'étendre la portée de l'évaluation au-delà de la convivialité. L'intégration d'autres aspects de l'expérience utilisateur, au-delà de la facilité d'utilisation, revêt une importance cruciale. La réalisation d'une enquête qualitative complémentaire, conjointement avec l'étude sur le niveau de participation (SRLPS), permettrait d'obtenir une compréhension approfondie de la variabilité des scores individuels. Une étude longitudinale de plus grande envergure permettrait une évaluation plus détaillée de la qualité des tableaux de bord construits, offrant ainsi une perspective sur l'impact de ces outils sur la conception pédagogique des TBA. Cette approche est en accord avec la recommandation d'une évaluation à long terme pour mesurer l'efficacité des technologies éducatives. Comme le soulignent Parry *et al.* (2018), il est important de prendre en compte la complexité, l'évolution dans le temps et l'interaction avec le contexte local lors de l'évaluation des initiatives d'amélioration. Ces principes peuvent être directement appliqués à l'évaluation des technologies éducatives.

5. CONCLUSION

L'impératif de placer l'utilisateur au centre du processus de conception se confirme comme une exigence cruciale pour le développement de produits véritablement adaptés à des besoins spécifiques (Vilpola, 2008). Notre contribution vise à renforcer cette approche dans le domaine complexe de la conception des TBA, en mettant un accent particulier sur l'amélioration de leur adoption, souvent entravée. Dans cette optique, nous avons élaboré le cadre DEFLAD, une proposition spécifique qui guide la création des TBA en intégrant des capacités de création de sens dans le processus décisionnel. En cohérence avec DEFLAD, notre espace de conception des TBA intègre des éléments liés à la dimension de la création de sens, facilitant une décomposition précise des objectifs visés avec des niveaux de conscience de la situation. Les résultats des études révèlent l'intérêt de nos propositions destinées à accroître l'adoption des outils d'analyse de l'apprentissage. L'approche participative, soutenue par des outils spécialement conçus, a reçu un accueil favorable de la part des parties prenantes, surmontant avec succès deux obstacles majeurs : le manque d'implication des utilisateurs finaux et la complexité technique inhérente à la création des TBA.

Notre méthodologie de conception engage activement les parties prenantes dans le processus, autorisant les concepteurs à générer rapidement des prototypes conformes aux besoins des utilisateurs finaux. Pour soutenir ce processus participatif, nous avons introduit PaDLAD, une boîte à outils spécifique à la conception des TBA construite autour du cadre DEFLAD et de son espace de conception. Cette boîte à outils, rassemblant divers instruments, facilite la créativité partagée et permet l'expression des besoins des utilisateurs au travers de profils de personas, de cartes d'idéation et de croquis. L'utilisation de cartes structurées accélère le raffinement des idées, offrant une représentation persistante des échanges entre les participants et capturant la dimension cruciale de la création de sens.

Pour la phase de prototypage et de test, nous avons déployé LADStudio, aligné sur l'espace de conception DEFLAD, afin de fournir un appui concret à la prise de conscience et de décision des utilisateurs finaux. LADStudio offre une plateforme où les utilisateurs peuvent concrétiser les concepts générés pendant la phase d'idéation. Cette phase cruciale s'appuie sur la simplification de l'approche et des outils pour favoriser un développement génératif de prototypes fonctionnels. En mettant l'accent sur la convivialité et l'accessibilité, LADStudio permet aux utilisateurs de créer des prototypes interactifs de TBA de manière intuitive.

En conclusion, la collecte de propositions de TBA auprès des parties prenantes, facilitée par l'utilisation combinée de PaDLAD et de LADStudio, permet non seulement de recueillir des besoins supplémentaires, mais également d'identifier de nouveaux usages potentiels pour les TBA. Grâce à la méthodologie participative, les utilisateurs ont la possibilité d'expri-

mer leurs besoins spécifiques et de contribuer activement à la conception, ce qui enrichit la compréhension des scénarios d'utilisation et ouvre des perspectives pour des applications innovantes des TBA dans divers contextes éducatifs.

Les études menées ont confirmé l'innovation de l'approche et des outils développés, démontrant leur capacité à surmonter avec succès les obstacles majeurs à l'adaptation des TBA. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives de recherche, notamment en ce qui concerne la transférabilité des TBA entre différents contextes d'utilisation et les invariants entre propositions issues de groupes d'utilisateurs variés, visant à répondre aux besoins diversifiés de la communauté d'apprentissage. Nous sommes convaincus que la capitalisation des connaissances et l'exploration de l'assistance à la conception participative représentent des axes de développement prometteurs pour l'avenir des TBA. En tirant parti des éléments produits lors du processus de conception et en facilitant la collaboration entre les utilisateurs, nous pouvons optimiser l'efficacité et la pertinence des TBA. De plus, en explorant davantage les possibilités d'assistance à la conception participative, nous pouvons rendre les outils encore plus accessibles et conviviaux, favorisant ainsi leur adoption et leur utilisation dans une variété de contextes éducatifs. Enfin, nous lançons un appel à une collaboration plus étroite avec la communauté pour approfondir la compréhension des dimensions de conception et leur application pratique dans le contexte des outils ayant pour objectif de soutenir l'éducation. En travaillant ensemble, chercheurs et praticiens peuvent continuer à innover et à faire progresser ces outils pour répondre aux besoins évolutifs des apprenants et des enseignants.

RÉFÉRENCES

- Alhadad, S. S. (2018). Visualizing data to support judgement, inference, and decision making in learning analytics : Insights from cognitive psychology and visualization science. *Journal of Learning Analytics*, 5(2), 60-85.
- Alhamadi, M. (2020). Challenges, strategies and adaptations on nteractive dashboards. *Proceedings of the 28th ACM Conference on user modeling, adaptation and personalization*, 368-371.
- Alvarez, C. P., Martinez-Maldonado, R., et Shum, S. B. (2020). LA-DECK : A card-based learning analytics co-design tool. *Proceedings of the tenth international conference on learning analytics & knowledge*, 63-72.
- Bangor, A., Kortum, P., et Miller, J. (2009). Determining what individual SUS scores mean : Adding an adjective rating scale. *Journal of usability studies*, 4(3), 114-123.
- Bienkowski, M., Feng, M., et Means, B. (2012). *Enhancing teaching and learning through educational data mining and learning analytics : An issue brief* (rapp. tech.). Office of Educational Technology, US Department of Education.
- Bodily, R., et Verbert, K. (2017). Review of research on student-facing learning analytics dashboards and educational recommender systems. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 10(4), 405-418.
- Boscardin, C., Fergus, K. B., Hellevig, B., et Hauer, K. E. (2018). Twelve tips to promote successful development of a learner performance dashboard within a medical education program. *Medical Teacher*, 40(8), 855-861.
- Brooke, J., et al. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. *Usability evaluation in industry*, 189(194), 4-7.
- Bryman, A. (2016). *Social research methods*. Oxford University Press.
- Campos, F. C., Ahn, J., DiGiacomo, D. K., Nguyen, H., et Hays, M. (2021). Making sense of sensemaking : Understanding how k-12 teachers and coaches react to visual analytics. *Journal of Learning Analytics*, 1-21.

- Chatti, M. A., Muslim, A., Guliani, M., et Guesmi, M. (2020). The LAVA model : Learning analytics meets visual analytics. Dans *Adoption of data analytics in higher education learning and teaching* (p. 71-93). Springer.
- DiSalvo, B., Yip, J., Bonsignore, E., et DiSalvo, C. (2017). *Participatory design for learning : Perspectives from practice and research*. Taylor & Francis.
- Dollinger, M., Liu, D., Arthars, N., et Lodge, J. M. (2019). Working together in learning analytics towards the co-creation of value. *Journal of Learning Analytics*, 6(2), 10-26.
- Draper, A. K., Hewitt, G., et Rifkin, S. (2010). Chasing the dragon : developing indicators for the assessment of community participation in health programmes. *Social science & medicine*, 71(6), 1102-1109.
- Echeverria, V., Martinez-Maldonado, R., Granda, R., Chiluiza, K., Conati, C., et Shum, S. B. (2018). Driving data storytelling from learning design. *Proceedings of the 8th International Conference on Learning Analytics & Knowledge*, 131-140.
- Endert, A., Hossain, M. S., Ramakrishnan, N., North, C., Fiaux, P., et Andrews, C. (2014). The human is the loop : new directions for visual analytics. *Journal of Intelligent Information Systems*, 43(3), 411-435.
- Endsley, M. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems : Situation awareness. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- Ez-Zaouia, M., Tabard, A., et Lavoué, E. (2020). Emodash : A dashboard supporting retrospective awareness of emotions in online learning. *International Journal of Human-Computer Studies*, 139, 102411.
- Few, S. (2006). *Information dashboard design : The effective visual communication of data*. O'Reilly Media, Inc.
- Garrison, D. R., Anderson, T., et Archer, W. (2003). A theory of critical inquiry in online distance education. *Handbook of Distance Education*, 1(4), 113-127.
- Gašević, D., Dawson, S., et Siemens, G. (2015). Let's not forget : Learning analytics are about learning. *TechTrends*, 59(1), 64-71.
- Gaver, B., Dunne, T., et Pacenti, E. (1999). Design : cultural probes. *Interactions*, 6(1), 21-29.
- Gilliot, J.-M., Iksal, S., Medou, D. M., et Dabbebi, I. (2018). Conception participative de tableaux de bord d'apprentissage. *IHM'18 : 30e Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pp-119.
- Gilliot, J.-M., et Sadallah, M. (2024). A framework for co-designing effective LADs supporting sensemaking and decision making. *International Journal of Learning Technology*, 19(1), 109-130.
- Gronier, G., et Baudet, A. (2021). Psychometric evaluation of the F-SUS : creation and validation of the French version of the system usability scale. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 37(16), 1571-1582.
- Grudin, J. (1994). *Computer-supported cooperative work : History and focus*. Academic Press.
- Holstein, K., McLaren, B. M., et Aleven, V. (2017). Intelligent tutors as teachers' aides : Exploring teacher needs for real-time analytics in blended classrooms. *Proceedings of the 7th International Learning Analytics and Knowledge Conference*, 257-266.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT Press.
- Hyett, N., Bagley, K., Iacono, T., McKinstry, C., Spong, J., et Landry, O. (2020). Evaluation of a codesign method used to support the inclusion of children with disability in mainstream schools. *International Journal of Qualitative Methods*, 19, 1-12.

- Ifenthaler, D., et Widanapathirana, C. (2014). Development and validation of a learning analytics framework : Two case studies using support vector machines. *Technology, Knowledge and Learning*, 19(1), 221-240.
- Jivet, I., Scheffel, M., Drachler, H., et Specht, M. (2017). Awareness is not enough : Pitfalls of learning analytics dashboards in the educational practice. Dans É. Lavoué, H. Drachler, K. Verbert, J. Broisin et M. Pérez-Sanagustín (dir.), *Data Driven Approaches in Digital Education* (p. 82-96). Springer, Cham.
- Klein, G., Moon, B., et Hoffman, R. R. (2006). Making sense of sensemaking 1 : Alternative perspectives. *IEEE Intelligent Systems*, 21(4), 70-73.
- Laugwitz, B., Held, T., et Schrepp, M. (2008). Construction and evaluation of a user experience questionnaire. *Symposium of the Austrian HCI and usability engineering group*, 63-76.
- Liu, Z., Nersessian, N., et Stasko, J. (2008). Distributed cognition as a theoretical framework for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1173-1180.
- Lucero, A., Dalsgaard, P., Halskov, K., et Buur, J. (2016). Designing with Cards. Dans *Collaboration in Creative Design* (p. 75-95). Springer.
- Meyer, J., Thomas, J., Diehl, S., Fisher, B., et Keim, D. A. (2010). From visualization to visually enabled reasoning. *Dagstuhl Follow-Ups*, 1.
- Ndukwe, I. G., et Daniel, B. K. (2020). Teaching analytics, value and tools for teacher data literacy : A systematic and tripartite approach. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 17(1), 1-31.
- Newell, A., et Simon, H. A. (1972). *Human problem solving* (T. 104). Prentice-Hall Englewood Cliffs, NJ.
- Nielsen, J. (2000). Why you only need to test with 5 users.
- Park, Y., et Jo, I.-H. (2015). Development of the learning analytics dashboard to support students' learning performance. *Journal of Universal Computer Science*, 21(1), 110.
- Parry, G., Coly, A., Goldmann, D., Rowe, A. K., Chattu, V., Logiudice, D., Rabrenovic, M., et Nambiar, B. (2018). Practical recommendations for the evaluation of improvement initiatives. *International Journal for Quality in Health Care*, 30(suppl_1), 29-36.
- Pirolli, P., et Card, S. (2005). The sensemaking process and leverage points for analyst technology as identified through cognitive task analysis. *Proceedings of International Conference on Intelligence Analysis*, 5, 2-4.
- Prieto-Alvarez, C. G., Martinez-Maldonado, R., et Anderson, T. D. (2018). Co-designing learning analytics tools with learners. Dans J. Lodge, J. Horvath et L. Corrin (dir.), *Learning Analytics in the Classroom* (p. 93-110). Routledge.
- Robertson, T., et Simonsen, J. (2012). Participatory Design : an introduction. Dans *Routledge international handbook of participatory design* (p. 1-17). Routledge.
- Russell, D. M., Stefik, M. J., Pirolli, P., et Card, S. K. (1993). The cost structure of sensemaking. *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 269-276.
- Sadallah, M., et Gilliot, J.-M. (2023). Generating LADs that make sense. *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Supported Education - Volume 1 : CSEDU 2023*, 35-46.
- Sadallah, M., Gilliot, J.-M., Iksal, S., Quelennec, K., Vermeulen, M., Neyssensas, L., Aubert, O., et Venant, R. (2022). Designing LADs that promote sensemaking : A participatory tool. Dans I. Hilliger, P. J. Muñoz-Merino, T. De Laet, A. Ortega-Arranz et T. Farrell (dir.), *Educating for a New Future : Making Sense of Technology-Enhanced Learning Adoption* (p. 587-593). Springer International Publishing.

- Sanders, E. B.-N., et Stappers, P. J. (2008). Co-creation and the new landscapes of design. *CoDesign*, 4(1), 5-18.
- Santoso, H. B., Schrepp, M., Isal, R., Utomo, A. Y., et Priyogi, B. (2016). Measuring user experience of the student-centered e-learning environment. *Journal of Educators Online*, 13(1), 58-79.
- Sarikaya, A., Correll, M., Bartram, L., Tory, M., et Fisher, D. (2019). What do we talk about when we talk about dashboards? *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25(1), 682-692.
- Sarmiento, J. P., et Wise, A. F. (2022). Participatory and co-design of learning analytics : An initial review of the literature. *Proceedings of the 12th International Learning Analytics and Knowledge Conference*, 535-541.
- Schrepp, M., Hinderks, A., et Thomaschewski, J. (2014). Applying the user experience questionnaire (UEQ) in different evaluation scenarios. *International Conference of Design, User Experience, and Usability*, 383-392.
- Schuler, D., et Namioka, A. (1993). *Participatory design : Principles and practices*. CRC Press.
- Schulz, H.-J., Hadlak, S., et Schumann, H. (2011). The design space of implicit hierarchy visualization : A survey. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17(4), 393-411.
- Schwendimann, B. A., Rodríguez-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.
- Sedrakyan, G., Mannens, E., et Verbert, K. (2019). Guiding the choice of learning dashboard visualizations : Linking dashboard design and data visualization concepts. *Journal of Computer Languages*, 50, 19-38.
- Shaw, M. (2012). The role of design spaces. *IEEE software*, 29(1), 46-50.
- Shneiderman, B. (2003). The eyes have it : A task by data type taxonomy for information visualizations, 364-371.
- Silverman, D., et Marvasti, A. (2008). *Doing qualitative research : A comprehensive guide*. Sage.
- Taffe, S. (2015). The hybrid designer/end-user : Revealing paradoxes in co-design. *Design Studies*, 40, 39-59.
- Tullis, T. S., et Stetson, J. N. (2004). A comparison of questionnaires for assessing website usability. *Usability Professionals Association (UPA) 2004 Conference*.
- Verbert, K., Ochoa, X., De Croon, R., Dourado, R. A., et De Laet, T. (2020). Learning analytics dashboards : the past, the present and the future. Dans *Proceedings of the 10th International Conference on Learning Analytics & Knowledge* (p. 35-40).
- Vilpolo, I. H. (2008). A method for improving ERP implementation success by the principles and process of user-centred design. *Enterprise Information Systems*, 2(1), 47-76.
- Visser, F. S., Stappers, P. J., van der Lugt, R., et Sanders, E. B.-N. (2005). Contextmapping : experiences from practice. *CoDesign*, 1(2), 119-149.
- Wang, F., et Hannafin, M. J. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 53(4), 5-23.
- Wise, A. F., et Jung, Y. (2019). Teaching with analytics : Towards a situated model of instructional decision-making. *Journal of Learning Analytics*, 6(2), 53-69.
- Khakaj, F., Aleven, V., et McLaren, B. M. (2016). How teachers use data to help students learn : Contextual inquiry for the design of a dashboard. *European Conference on Technology Enhanced Learning EC-TEL 2016*, 340-354.

Yoo, Y., Lee, H., Jo, I.-H., et Park, Y. (2015). Educational dashboards for smart learning : Review of case studies. Dans G. Chen, V. Kumar, S. Kinshuk, R. Huang et S. C. Kong (dir.), *Emerging Issues in Smart Learning. Lecture Notes in Educational Technology* (p. 145-155). Springer Berlin Heidelberg.