



HAL
open science

Exploring the physicalization of motivational data in the acquisition of good sleep behaviors for adolescents

Elise Lavoué, Emma Guttierrez, Audrey Serna

► To cite this version:

Elise Lavoué, Emma Guttierrez, Audrey Serna. Exploring the physicalization of motivational data in the acquisition of good sleep behaviors for adolescents. 32ème conférence internationale francophone sur l'interaction homme-machine, Apr 2021, Metz, France. hal-03218789

HAL Id: hal-03218789

<https://hal.science/hal-03218789v1>

Submitted on 5 May 2021

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

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

Exploration de la physicalisation de données motivationnelles dans l'acquisition de bons comportements liés au sommeil pour les adolescents

ÉLISE LAVOUÉ*

University of Lyon, University Jean Moulin Lyon 3, iaelyon school of Management, CNRS, LIRIS UMR5205 F-69621

EMMA GUTTIERREZ

Pôle supérieur de design, Villefontaine

AUDREY SERNA

INSA DE LYON - CNRS, LIRIS UMR5205 F-69621

De nouvelles approches, telles que la ludification, se développent ces dernières années afin de maintenir la motivation des élèves en apprentissage sur des environnements numériques. Cependant, ces approches ne s'appliquent que dans l'espace numérique et ne peuvent assurer la continuité de la motivation des élèves dans les espaces physiques et/ou en dehors de la classe, limitation forte dans le contexte d'apprentissages hybrides. Dans cet article, nous explorons différentes pistes de physicalisation de données motivationnelles dans le cadre du projet LUDISOM, dédié à l'acquisition de bons comportements de sommeil par des adolescents (élèves de 4ème). Ces travaux préliminaires apportent une réflexion sur l'approche de physicalisation de données appliquée à la motivation dans un contexte scolaire.

CCS CONCEPTS • H.5.m. Information Interfaces and Presentation (e.g. HCI): Miscellaneous

Mots-clés additionnels : Motivation, Apprentissages scolaires, Apprentissages Hybrides, Physicalisation de données, ludification

New approaches, such as gamification, have been developed in recent years to keep students motivated while learning in digital environments. However, these approaches only apply in the digital space and cannot ensure the continuity of student motivation in physical spaces and/or outside the classroom, a strong limitation in the context of hybrid learning. In this article, we explore different approaches to the physicalization of motivational data within the framework of the LUDISOM project, dedicated to the acquisition of good sleep behaviors by teenagers (4th grade students). This preliminary work provides a reflection on the approach of data physicalization applied to motivation in a school context.

Additional Keywords and Phrases: Motivation, School-based learning, Hybrid Learning, Data physicalization, gamification

ACM Reference Format:

É., Lavoué, and E., Guttierrez, A., Serna. 2021. Exploration de la physicalisation de données motivationnelles dans l'acquisition de bons comportements liés au sommeil pour les adolescents : ACM Conference Proceedings Manuscript Submission Template: This

* elise.lavoue@liris.cnrs.fr

is the subtitle of the paper, this document both explains and embodies the submission format for authors using Word. In Woodstock '18: ACM Symposium on Neural Gaze Detection, June 03–05, 2018, Woodstock, NY. ACM, New York, NY, USA, 10 pages. NOTE: This block will be automatically generated when manuscripts are processed after acceptance.

1 INTRODUCTION

Dans le domaine de l'éducation, la ludification des environnements numériques d'apprentissage est une approche largement utilisée ces dernières années pour renforcer la motivation et l'engagement des apprenants lors de la réalisation d'activités pédagogiques [1, 2]. Les éléments de jeu peuvent montrer aux apprenants leur progression dans les activités d'apprentissage, les récompenser par des points ou des badges lorsque des objectifs sont atteints ou encore leur montrer une représentation d'eux-mêmes dans l'environnement via un avatar. Cependant, dans la plupart des travaux existants, les apprenants ne peuvent consulter ces éléments motivationnels que lorsqu'ils sont connectés à la plateforme ludifiée, dans un contexte précis (par exemple en classe). L'accès discontinu à ces éléments motivationnels peut être un frein à la motivation suscitée, notamment dans le contexte récent de l'hybridation des apprentissages [3].

Dans le projet LUDISOM, nous nous intéressons à l'accompagnement des adolescents dans l'acquisition de bons comportements liés au sommeil. Pour qu'ils soient efficaces, ces comportements doivent être réguliers et s'ancrer dans la durée. Dans ce contexte, nous pensons que la physicalisation de données motivationnelles est une piste intéressante pour assurer une continuité de la motivation suscitée par la ludification d'un environnement numérique d'apprentissage entre les espaces numériques et physiques, entre le temps de classe et la maison. Nous présentons dans cet article le contexte des recherches (le projet LUDISOM), l'apport de l'approche de physicalisation pour les données motivationnelles, ainsi que des propositions de prototypes encore en phase d'exploration. Nous concluons par les perspectives ouvertes par ces recherches

2 CONTEXTE : EDUCATION AU SOMMEIL

Plus d'un français sur trois présente des difficultés de sommeil alors même que le manque de sommeil augmente le risque de mortalité et favorise, entre autres, l'obésité, le diabète de type 2 et les maladies cardiovasculaires [4, 5]. Si la sensibilisation et les programmes d'éducation au sommeil en maternelle et primaire commencent à se développer en France [6], il n'existe actuellement pas d'intervention sur le sommeil ciblée sur les élèves du collège. Or l'adolescence représente une période critique dans l'établissement de bonnes ou mauvaises habitudes vis-à-vis du sommeil. Le projet LUDISOM vise à proposer un environnement numérique d'apprentissage pour des adolescents âgés de 12 à 15 ans dans le but d'induire des comportements favorables au sommeil grâce à une technique de ludification. Ce projet a pour objectifs globaux 1/ d'identifier les leviers motivationnels pouvant induire des changements de comportements de sommeil 2/ d'évaluer l'impact de l'éducation aux bonnes pratiques du sommeil sur les changements de comportements et l'impact de ces changements sur les fonctions cognitives, les performances académiques, les comportements alimentaires et l'activité physique 3/ d'analyser les facteurs influençant l'impact de l'environnement d'apprentissage ludifié.

Des focus-groups avec des élèves de collège ont été réalisés en amont par les chercheurs en neurosciences impliqués dans le projet pour choisir la forme du challenge (composé de plusieurs défis à relever pendant 3 semaines) et les comportements à adopter. Le projet en est dans la phase de développement de l'environnement d'apprentissage ludifié. Pour réaliser cet objectif, nous avons travaillé en collaboration avec un graphiste pour le design des éléments motivationnels, ainsi qu'un développeur pour la réalisation et l'intégration à la fois des

contenus pédagogiques et des éléments motivationnels. Nous avons également travaillé avec un groupe d'enseignants pour la création de contenus pédagogiques intégrés à la plateforme, ainsi que la scénarisation des leçons sur le sommeil au collège en parallèle de l'usage de la plateforme ludifiée. La plateforme a été conçue de manière à pouvoir être utilisée de manière autonome par des adolescents, sans encadrement par un enseignant. Cela nécessite d'avoir des contenus pédagogiques auto-suffisants (ressources complémentaires pour apprendre les bons comportements de sommeil) et des ressorts motivationnels adaptés pour susciter et maintenir la motivation des adolescents.

La Figure 1 ci-après illustre le fonctionnement de la plateforme ludifiée :

- 6 défis seront proposés progressivement aux élèves via l'environnement (e.g. réduire l'usage des écrans avant de se coucher, adopter des rythmes de sommeil réguliers, modifier son pattern de prise alimentaire).
- Défis : 6 défis seront proposés progressivement aux adolescents via la plateforme (e.g. pas d'écrans après 21h, éteindre son téléphone avant la mise au lit ou encore pas de grignotages entre les repas).
- Quizz : 4 quizz seront proposés aux élèves, afin de tester les connaissances acquises sur le sommeil, pour chaque notion.
- Agenda de sommeil : les élèves doivent rapporter chaque jour les informations comportementales liées à leur sommeil (durée de sommeil, activité physique, prise de repas, usage du filtre écran).
- Tableau de bord des éléments motivationnels : les élèves peuvent visualiser le détail de leurs éléments motivationnels.

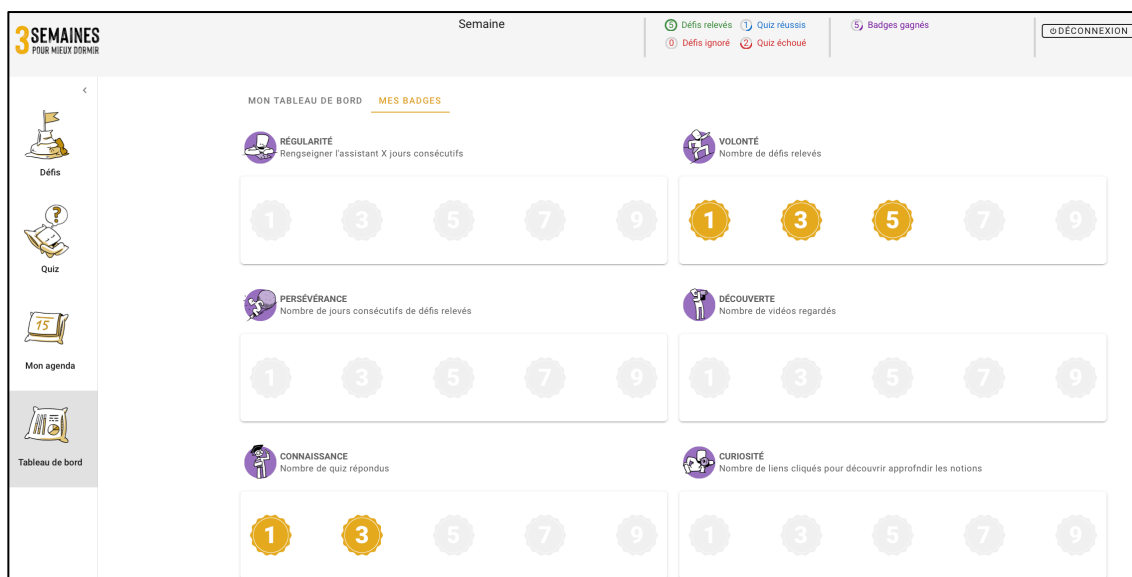


Figure 1 : Différentes formes de récompenses (badges) dans la plateforme « 3 semaines pour mieux dormir ». La partie gauche représente le menu depuis lequel les élèves peuvent accéder aux différentes fonctionnalités de la plateforme (défis, quizz, agenda et tableau de bord).

Concernant la ludification, 6 éléments motivationnels ont été conçus dans la plateforme : une ligne de temps qui permet de visualiser s'ils ont rempli leur agenda de sommeil, des objectifs précis pour chaque semaine du challenge (lecture de certains contenus pédagogiques, réponse à un quizz, etc.), une jauge individuelle pour voir leur

progression dans les défis, des statistiques liées aux données de sommeil auto-rapportées dans l'agenda, une jauge collective pour visualiser le nombre de personnes relevant chaque défi et enfin un ensemble de badges (cf. Figure 1) qui les récompensent pour leur régularité, leur volonté à relever les défis, leur persévérance (le nombre de jours consécutifs durant lesquels ils relèvent les défis), la découverte des contenus pédagogiques, leur niveau de connaissances et leur curiosité, autant de compétences à développer pour réussir le challenge.

Cependant l'usage de cette plateforme numérique se confronte à des enjeux importants. Premièrement, les adolescents ne peuvent consulter les éléments motivationnels que lorsqu'ils sont connectés à la plateforme, alors qu'ils doivent ancrer leur changement de comportements dans leur quotidien, en dehors des périodes de connexion à la plateforme. L'accès discontinu aux éléments motivationnels peut être un frein à la motivation suscitée. Deuxièmement, les mécaniques motivationnelles nécessitent de s'appuyer sur l'utilisation d'une plateforme numérique alors que l'un des objectifs du projet est de leur apprendre à réduire l'usage des écrans.

Dans ce contexte spécifique, nous explorons la physicalisation de données motivationnelles comme un moyen d'assurer une continuité entre les mondes numériques et physiques afin de maintenir la motivation et l'engagement des élèves à changer leurs comportements liés au sommeil. Nous nous concentrons plus particulièrement sur les éléments motivationnels liés à la progression dans le challenge et aux récompenses liées à la persévérance qui nous semblent être les dynamiques motivationnelles les plus fortes dans notre contexte.

3 LES APPORTS DE LA PHYSICALISATION POUR LES DONNEES MOTIVATIONNELLES

La physicalisation des données est un domaine de recherche émergent, en lien avec les domaines de la visualisation de données et des interfaces utilisateur tangibles. Ce domaine explore le potentiel des artefacts physiques dont la géométrie ou les propriétés matérielles encodent les données afin de faciliter leur exploration, leur donner du sens et les communiquer [7]. En rendant concrets et palpables les objets, la physicalisation exploite nos capacités de perception active [8]. La physicalisation s'appuie sur les théories de la cognition incarnée [9], [10], potentiellement bénéfique sur l'apprentissage mais aussi vecteur d'un engagement plus fort des utilisateurs [7], propriétés partagées avec les interfaces tangibles [11]. Dans le domaine de l'éducation, il a été démontré que les artefacts physiques facilitent l'apprentissage [12] et l'auto-réflexion [13], [14], les physicalisations pouvant aider les élèves à comprendre les données provenant de sujets tels que la météorologie, l'histoire, ou la chimie [15]. Cependant, encore peu de travaux visent à comprendre comment de telles physicalisations peuvent être conçues pour soutenir au mieux la motivation des apprenants.

Appliquée au projet LUDISOM, cette approche peut permettre d'encoder dans des artefacts physiques les données des éléments motivationnels intégrés à l'environnement numérique d'apprentissage afin d'assurer une continuité motivationnelle dans le monde physique. Cette approche a de nombreux avantages. Tout d'abord, comme le soulignent Jansen et al. [7], la physicalisation permet de ramener les éléments motivationnels dans le monde physique, en se passant de représentation numérique (et donc de consultation d'écran), à l'image du projet Cairn [16]. L'installation proposée permet de collecter et de visualiser des données sur les activités et les pratiques dans les FabLabs, alternative à la forme classique du questionnaire [16]. Ensuite, la manipulation tangible d'artefacts par les apprenants peut susciter une réflexion à la fois sur les récompenses obtenues ou la progression, en lien avec les comportements adoptés. De plus, les données physiques peuvent être modulables : l'apprenant peut faire évoluer l'artefact en même temps que les éléments intégrés à son environnement numérique évoluent, en le démontant, réassemblant ou réarrangeant [17]. Les artefacts physiques peuvent également être un vecteur de socialisation des élèves qui peuvent les partager, les comparer, et les montrer à leur entourage.

4 NOTRE PROPOSITION

Dans le cadre du projet LUDISOM, nous explorons différentes solutions pour représenter physiquement la progression, les comportements et les acquisitions des adolescents tout au long du challenge à travers la réalisation des défis liés aux comportements de sommeil, la lecture des contenus pédagogiques et les réponses aux quiz. En nous inspirant des récents travaux en physicalisation de données, nous avons imaginé différentes pistes de réflexion, illustrées par la Figure 2, mixant les supports, le type de données représentées ou encore leur forme. Pour prendre en compte des questions de coût et de facilité de mise en œuvre dans des collèges, les propositions sortent parfois volontairement du cadre strict de la physicalisation des données (si l'on se réfère à la définition stricte de [7]) pour explorer des solutions utilisant des représentations graphiques plus traditionnelles.

- Piste A : Tablette Vellada étirable avec une zone permettant d'écrire et une zone de stockage de badges rétractables. Cette piste reprend les codes de représentation de données graphiques, ajoutant la possibilité à l'adolescent de prendre des notes sur son sommeil pour remplir l'agenda du sommeil en ligne.
- Piste B : Représentation graphique des badges en utilisant des supports de différentes formes. Le trophée symbolise la récompense et peut être transportée par l'élève, la plaque pliée et le cercle sur un socle permettent une présentation sur une face de l'ensemble des badges acquis dans une visée plus statique.
- Piste C : Sensiblement similaire à la piste précédente, il s'agit de représenter graphiquement les badges mais de façon à ce que les faces de l'objet aient une signification particulière. Chacune fait référence aux différents comportements et acquisitions à inciter et récompenser : régularité, volonté à relever les défis, persévérance (le nombre de jours consécutifs qu'ils relèvent les défis), découverte des contenus pédagogiques, niveau de connaissances et curiosité. L'appréhension du volume de l'objet invite à la manipulation et l'exploration active des différentes données représentées sur chaque face (voir Figure 3 pour exemple).
- Piste D : Représentation de la progression au niveau de la classe pour chacun de ces comportements, en utilisant soit la graduation d'une éprouvette (chaque élève ajoute une petite bille quand pertinent, une éprouvette correspondant à un comportement), soit avec un système de galets empilés sur une tige en métal, chaque galet représentant un élève en particulier (une tige correspondant à un comportement). Cette piste explore les objets partagés au sein d'une classe pour développer la composante sociale de la motivation.
- Piste E : Système de représentation à la fois tactile et visuelle des acquisitions sous la forme de fils, différentes couleurs représentant les comportements à acquérir. Les fils, au départ attachés au support sous forme de nœuds, peuvent être déroulés de manière graduée à différentes hauteurs de manière à représenter le niveau de progression de l'élève pour chaque type de comportement.

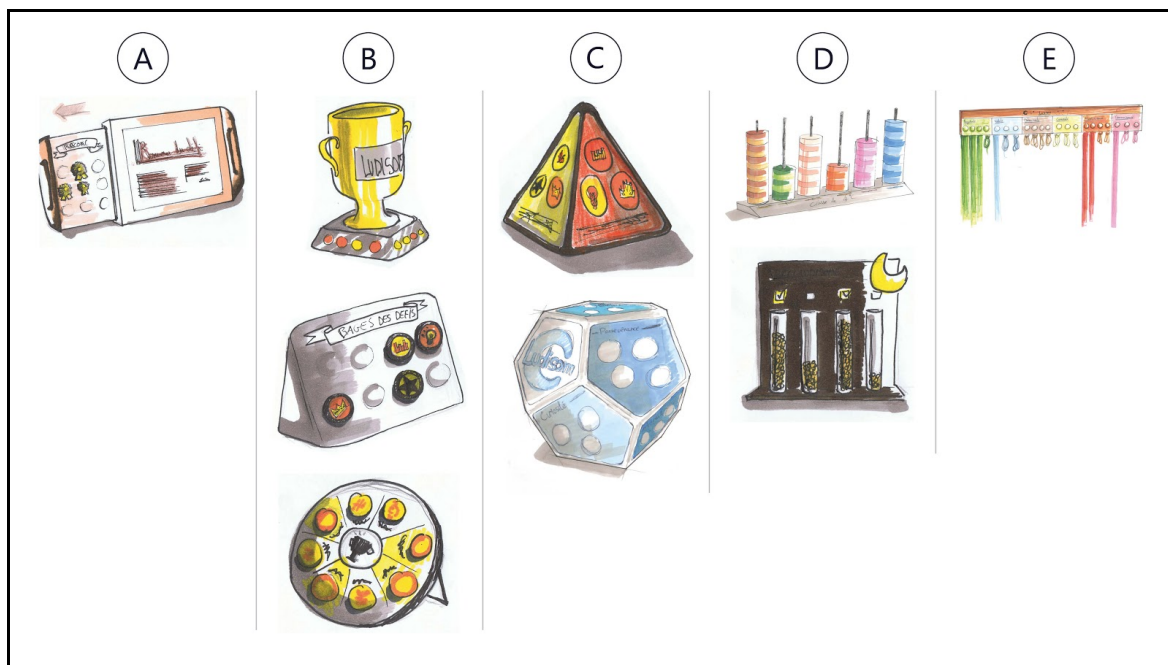


Figure 2 : Différents objets physique représentant la progression de l'élève

5 PERSPECTIVES ET CONCLUSION

Ces premières pistes explorent différentes représentations des données motivationnelles déjà encodées dans la plateforme numérique sous forme de badges, au moyen de divers objets physiques support. Ces propositions vont des plus simples selon une représentation binaire de comportements “validés” ou non, proche de la représentation sous forme de badge (A, B et C), à une proposition plus abstraite et graduée sous forme de fils noués à différentes hauteurs (E), ou encore une vue agrégée et collective pour la classe (D). Cette première exploration servira de base pour lancer une phase de conception participative avec des adolescents sur les questions de la continuité de la motivation entre les situations en classe / en dehors de la classe et entre plateforme numérique / “sans écran”. Nous prévoyons dans les prochains mois (lorsque la situation sanitaire le permettra), d’organiser des séances de conception participatives avec des adolescents pour approfondir les pistes de physicalisation de ces données motivationnelles.

La réflexion sera tout d’abord menée autour des badges, qui sont des objets et représentations qu’ils connaissent bien et avec lesquelles ils peuvent assez facilement faire le lien entre l’objet numérique et l’objet physique. Les adolescents pourront dans un premier temps réagir à nos propositions pour s’approprier le sujet d’étude : ont-elles du sens pour eux ? Les élèves font-ils bien le lien entre les données représentées dans l’environnement numérique (via les badges) et celles encodées dans les artefacts physiques ? Des représentations plus abstraites sont-elles compréhensibles / motivantes ? Nous pourrions pour cela nous appuyer sur de premières maquettes 3D en format papier, telles que celle présentée en Figure 3, qui pourront être directement manipulées par les élèves.

Dans un deuxième temps, nous élargirons la réflexion à d’autres données (que celles représentées par les badges) et nous mènerons des ateliers dans lesquels les adolescents pourront proposer eux-mêmes des représentations physiques des données en adoptant une approche “low-tech” accessible quel que soit le niveau

d'expertise comme le proposent Beignon et al. [18] dans leur guide de physicalisation). Nous pouvons également imaginer que l'objet puisse se connecter aux autres élèves ou du moins être réuni dans la classe dans un même endroit. Nous pourrions ainsi visualiser la « barre » de progression collective de la classe. Les enjeux les motivations seraient doublés dépassant le domaine individuel à celui de la classe.



Figure 3 : Objet directement manipulable par les élèves pour explorer la piste C présentée en partie 3

L'objectif de ces séances participatives sera de réfléchir à la conception de physicalisation de données de plus bas niveaux, non encore encodées et non catégorisées par comportement. En s'éloignant de représentations graphiques agrégées déjà existantes sur l'environnement numérique, telles que les badges. L'enjeu sera alors d'identifier les données dont la représentation physique serait susceptible de motiver les adolescents (représentation physique par exemple de leurs données de sommeil) en dehors de l'usage de la plateforme numérique.

Au-delà de la question des données à physicaliser, les aspects dynamiques et interactifs de la physicalisation restent encore un challenge [7]. Il faudra notamment explorer comment connecter la physicalisation avec la plateforme numérique pour que les deux puissent s'alimenter l'un et l'autre, de manière à assurer une cohésion entre l'objet physique motivationnel qui incite l'élève à progresser, et l'activité d'apprentissage en ligne qu'il peut juger intrinsèquement peu motivante. Dans le contexte écologique de la classe, nous ne pouvons raisonnablement pas envisager des physicalisations complexes et coûteuses. La première piste envisagée serait d'intégrer à la plateforme un système d'alerte qui indique à l'élève lorsqu'il a atteint un certain seuil de progression dans les compétences attendues, afin qu'il mette à jour lui-même son objet physique (par un système de gommettes ou autre). Cet objet physique pourrait être conçu à partir d'une imprimante 3D présente dans l'établissement scolaire (dans le temps de la classe), ses propriétés géométriques encodant les compétences finales à acquérir dans le programme d'enseignement, et qui seront ainsi également visibles à l'élève en dehors du temps de classe.

Au-delà de l'aspect individuel de cette approche de la physicalisation, le temps de la classe pourrait également être dédié à renforcer l'aspect social de la motivation. Les élèves pourront dans un temps dédié construire ensemble leur propre physicalisation individuelle, les partager, éventuellement les discuter avec l'enseignant. Ils pourront dans un autre temps construire une représentation collective de la progression de la classe (comme explorée en piste E) à partir de données agrégées, leur permettant ainsi de se situer et de co-construire de manière active un objet commun qui reste dans la classe. Nous aurions ainsi un temps de la classe dédié au collectif, couplé au temps "hors classe" plus ancré dans la motivation individuelle.

REMERCIEMENTS

Ce projet a obtenu le soutien financier du CNRS à travers les programmes interdisciplinaires de la MITI.

REFERENCES

- [1] E. Lavoué, B. Monerrat, M. Desmarais, et S. George, 2018. *Adaptive gamification for learning environments*, IEEE Transactions on Learning Technologies., vol. 12, no 1, p. 16-28.
- [2] S. Hallifax, E. Lavoué, et A. Serna, 2020. *To tailor or not to tailor gamification? An analysis of the impact of tailored game elements on learners' behaviours and motivation*, in Artificial intelligence in education, Cham, p. 216-227.
- [3] G. Molinari et E. Schneider, 2020. *Soutenir les stratégies volitionnelles et améliorer l'expérience des étudiants en formation à distance. Quels potentiels pour le design tangible?*, Distances Médiations Savoirs Distance Mediat. Knowl., no 32.
- [4] K. Spiegel, E. Tasali, R. Leproult, et E. Van Cauter, 2009. *Effects of poor and short sleep on glucose metabolism and obesity risk*, Nat. Rev. Endocrinol., vol. 5, no 5, p. 253-261, doi: 10.1038/nrendo.2009.23.
- [5] B. P. Lucey, T. J. Hicks, J. S. McLeland, C. D. Toedebusch, J. Boyd, D.L. Elbert, B. W. Patterson, J. Baty, J. C. Morris, V. Ovod, K. G. Mawuenyega, R. J. Bateman, 2018. *Effect of sleep on overnight cerebrospinal fluid amyloid β kinetics: Disrupted Sleep and Amyloid β* , Ann. Neurol., vol. 83, no 1, p. 197-204, doi: 10.1002/ana.25117.
- [6] A. E. Rey, A. Guignard-Perret, F. Immler-Weber, L. Garcia-Larrea, et S. Mazza, 2020. *Improving sleep, cognitive functioning and academic performance with sleep education at school in children*, Learning and Instruction, vol. 65, p. 101270, doi: 10.1016/j.learninstruc.2019.101270.
- [7] Y. Jansen, P. Dragicevic, P. Isenberg, J. Alexander, A. Karnik, J. Kildal, S. Subramanian, K. Hornbæk, 2015. *Opportunities and Challenges for Data Physicalization*, in Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15, Seoul, Republic of Korea, p. 3227-3236, doi: 10.1145/2702123.2702180.
- [8] J. J. Gibson, *The Ecological Approach to Visual Perception*, 1986. Psychology Press Classic Editions, 1979. Reprint.
- [9] P. Dourish, *Where the action is: the foundations of embodied interaction*, 2004. 1. MIT Press paperback ed. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- [10] P. Marshall et E. Hornecker, 2013. *Theories of Embodiment in HCI*, in The SAGE Handbook of Digital Technology Research, 1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1SP United Kingdom: SAGE Publications Ltd, p. 144-158.
- [11] E. Hornecker et J. Buur, 2006. *Getting a grip on tangible interaction: a framework on physical space and social interaction*, in *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems - CHI '06*, Montréal, Québec, Canada, p. 437, doi: 10.1145/1124772.1124838.
- [12] C. O'Malley et D. S. Fraser, 2004. *Literature review in learning with tangible technologies*, NESTA Futur. Rep., vol. 12.
- [13] A. Thudt, U. Hinrichs, S. Huron, et S. Carpendale, 2018. *Self-Reflection and Personal Physicalization Construction*, in *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '18*, Montréal QC, Canada, p. 1-13, doi: 10.1145/3173574.3173728.
- [14] S. Stusak, A. Tabard, F. Sauka, R. A. Khot, et A. Butz, 2014. *Activity Sculptures: Exploring the Impact of Physical Visualizations on Running Activity*, IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., vol. 20, no 12, p. 2201-2210, doi: 10.1109/TVCG.2014.2352953.
- [15] H. Wu et P. Shah, 2004. *Exploring visuospatial thinking in chemistry learning*, Sci. Educ., vol. 88, no 3, p. 465-492.
- [16] P. Gourlet et T. Dassé, Cairn: A Tangible Apparatus for Situated Data Collection, Visualization and Analysis, in *Proceedings of the 2017 Conference on Designing Interactive Systems*, Edinburgh United Kingdom, juin 2017, p. 247-258, doi: 10.1145/3064663.3064794.
- [17] S. Stusak, A. Tabard, et A. Butz, 2013. *Can physical visualizations support analytical tasks*. Poster of *IEEE InfoVis*.
- [18] A. Beignon, A. Tabard, R. Vuillemot, P. Rivière, et C. Gremillet, 2020. *Guide physicalisation spatio-temporelle*, LIRIS. Disponible sur: <https://projet.liris.cnrs.fr/mi2/physicalization/>.