

Approche adaptative de l'apprentissage de l'anatomie

Jean Ribot¹, Christian Collet², Nady Hoyek³, Mélanie Gallot⁴

^{1,2,3,4} Université Claude Bernard Lyon 1
jean.ribo@univ-lyon1.fr
christian.collet@univ-lyon1.fr
nady.hoyek@univ-lyon1.fr
melanie.gallot@univ-lyon1.fr

Résumé. Modeli+ est un projet de recherche visant à développer un logiciel d'apprentissage de l'anatomie adapté aux étudiants. Ce projet repose sur une collaboration entre experts en didactique de l'anatomie, machine learning et sciences de l'éducation pour concevoir un outil capable de personnaliser un parcours d'apprentissage à partir de la détermination de plusieurs facteurs individuels clés : capacités visuo-spatiales, charge cognitive, stratégies visuelles et niveau d'expertise en anatomie. Pour cela, des expérimentations combinant données psychométriques, logs informatiques et mesures physiologiques (électrocardiogramme, réponse électrodermale, eye-tracking) seront menées auprès d'étudiants en première année de STAPS. L'objectif est de concevoir un modèle prédictif et explicatif de l'apprentissage en anatomie, permettant d'optimiser la formation des étudiants. À terme, ce modèle pourrait être appliqué à d'autres domaines éducatifs afin d'améliorer l'individualisation des apprentissages.

Mots-clés : adaptabilité, charge cognitive, anatomie, apprentissage, outil 3D

Abstract. Modeli+ is a multidisciplinary research project designed to develop an adaptive learning software for anatomy education. By integrating expertise in anatomy didactics, machine learning, and educational sciences, this project aims to create a tool that personalizes learning pathways based on individual learner profiles. The software will adapt its recommendations according to key cognitive and perceptual factors, including visuospatial abilities, cognitive load, visual strategies, and level of anatomical expertise. To refine this approach, controlled experiments will be conducted, incorporating psychometric assessments, computer interaction logs, and physiological measures such as electrocardiography, electrodermal response, and eye tracking. These data will inform the development of a predictive and explanatory model of anatomy learning, with the goal of optimizing student training. Beyond anatomy education, this framework holds the potential to be extended to other disciplines, fostering more individualized and effective learning experiences.

Keywords: adaptability, cognitive load, anatomy, learning, 3D tool

1 Introduction

Modeli+ est un projet de recherche visant à améliorer les performances en anatomie des étudiants grâce à un outil numérique 3D innovant. Avec 60 heures de cours en première année universitaire de Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS, Lyon 1), l'anatomie joue un rôle clé dans la réussite universitaire bien que son apprentissage soit souvent perçu comme complexe. Les principales difficultés rencontrées concernent la mémorisation des structures anatomiques [1] ainsi que leurs relations spatiales [2]. Par ailleurs, les différences cognitives interindividuelles sont rarement prises en compte dans la conception des outils d'apprentissage [3]. Malgré les innovations pédagogiques développées à Lyon 1 (vidéo Anatomie 3D Lyon, ICAP) et dans notre laboratoire [4] l'inclusivité reste un paramètre peu exploité dans les dispositifs numériques.

Le Laboratoire Interuniversitaire de Biologie de la Motricité (LIBM) a déjà mis en évidence l'importance de certains facteurs individuels dans la réussite en anatomie, notamment la capacité de rotation mentale, soit la faculté de manipuler mentalement des objets en 3D [5]. D'autres travaux ont montré qu'un entraînement à cette capacité était corrélé à une amélioration des performances en anatomie [6]. Cette fonction cognitive peut donc être renforcée pour faciliter l'acquisition des connaissances.

Parallèlement, le développement des outils numériques en sciences médicales a fait émerger de nombreux logiciels éducatifs. Cependant, pour que de tels outils soient efficaces, il est important de contrôler la charge cognitive engendrée par l'utilisation de l'outil [7] afin de ne pas surcharger la mémoire de travail. Pour ce faire, il est vital de prendre en compte une multitude de paramètres relatifs au développement des exercices et aux consignes employées [8]. Par ailleurs, même si l'emploi d'un outil 3D reste majoritairement perçu comme étant innovant et motivant dans un contexte d'apprentissage [9] tous les apprenants ne sont pas forcément réceptifs à ces logiciels et actuellement ceux qui bénéficient le mieux de ces outils 3D sont ceux qui possèdent de bonnes capacités visuo-spatiales initiales et donc déjà des facilités en anatomie [4].

Modeli+ adopte une approche inclusive pour compenser cette inégalité, en proposant des modules adaptables aux capacités individuelles de chacun. Cela pourra se traduire par un affichage allégé dans le but de limiter la mémoire de travail, l'usage de schémas 2D pour les étudiants en difficulté visuo-spatiales, ou encore un guidage visuel inspiré des séquences d'exploration (scanpaths) d'experts. Les exercices, dont le design et les consignes sont fondés sur la théorie de la charge cognitive [10], prendront des formes variées : repères visuels distincts, outils de navigation et d'interaction différenciés entre autres. Bien que les parcours diffèrent selon le profil d'apprentissage, le processus d'évaluation restera standardisé, respectant les critères universitaires employés actuellement.

2 Evaluation multimodale des profils d'apprentissage

Ce projet de recherche vise une cohorte de 60 étudiants de première année inscrits en STAPS. Cette population constitue un échantillon pertinent pour l'exploration de l'acquisition des connaissances en anatomie dans la mesure où les participants n'ont pas reçu de formation antérieure avant leur entrée à l'université. Cependant, l'ensemble des participants a déjà suivi les premières séances d'anatomie, garantissant ainsi une familiarisation minimale avec la terminologie de base (plans de l'espace, nomenclature élémentaire) de façon à pouvoir utiliser pleinement l'outil numérique développé.

Afin de caractériser des profils cognitifs associés à l'apprentissage, une batterie de tests (Figure 1) a été administré, ciblant différentes composantes des capacités visuo-spatiales, générales ou spécifiques à l'anatomie. Cette batterie comprend : i) un test de rotation mentale d'éléments non-anatomiques (Mental Rotation Test (MRT) ; [11]), ii) une évaluation de la mémoire de travail visuo-spatiale (blocs de Corsi ; [12]), iii) un test de rotation mentale d'éléments anatomiques (reconnaissance de la latéralité d'un os), iv) un questionnaire évaluant les connaissances de base en anatomie et v) une tâche d'orientation spatiale dans un environnement virtuel par le biais d'un squelette en 3D. Tandis que le MRT et les blocs de Corsi sont des outils psychométriques validés et largement utilisés, les tâches d'orientation d'un squelette virtuel et de latéralisation d'un os sont actuellement en cours de validation dans un projet de recherche connexe. Le questionnaire a été développé en accord avec la taxonomie de Bloom [13].

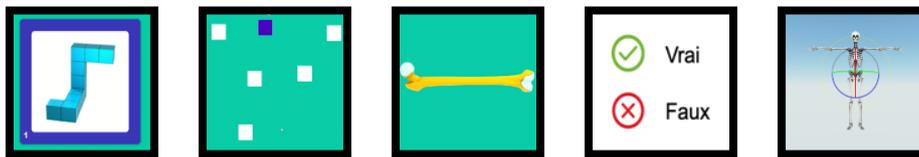


Figure 1 : Représentation visuelle de la batterie de test : i) MRT, ii) blocs de Corsi, iii) latéralité os, iv) QCM, v) positionnement squelette

Le format des données de ces passations expérimentales peut être distingué en trois catégories : données physiologiques, données psychométriques et logs informatiques. Les logs informatiques permettent d'analyser le comportement des utilisateurs sur l'application. Ces données prennent en compte différents éléments comme le temps de réponse, la précision des mouvements faits à la souris, les stratégies de résolution utilisées ainsi que les erreurs fréquentes. En parallèle, les tests psychométriques vont apporter davantage d'informations sur le profil de l'apprenant avec i) questionnaire socio-démographique ii) mesure de la charge cognitive (NASA-TLX ; [14]), iii) évaluation de l'auto-efficacité (SEP [15]), iv) expérience de flow (EduFlow2 ; [16]), v) expérience utilisateur (AttrakDiff ; [17]). Enfin, des capteurs physiologiques (Figure 2) enregistreront en temps réel l'activité cardiaque (ECG), électrodermale (EDA) et oculomotrice (eye-tracker). L'ECG et l'EDA constituent des indicateurs fiables de l'activité du système nerveux autonome, permettant de recueillir les variations d'activations physiologiques au cours des différents tests.

Ces multiples traces informatiques feront l'objet d'un prétraitement systématique avant toute analyse par machine learning. Cette étape consiste à extraire, à partir des données brutes (clics, temps de réponse, coordonnées des mouvements oculaires, conductance, rythme cardiaque, ...), des indicateurs de plus haut niveau, révélateurs du comportement humain. Par exemple, les mouvements oculaires pourront nous renseigner sur la stratégie visuelle mise en place par l'apprenant et la combinaison de certaines métriques propres à l'électrocardiogramme et à la réponse électrodermale devraient nous permettre d'établir l'intensité de la charge cognitive au cours du temps. Ces indicateurs de haut niveau sélectionnés seront par la suite analysés et les profils d'apprentissages seront identifiés à l'aide de méthodes non-supervisées (clusterings).

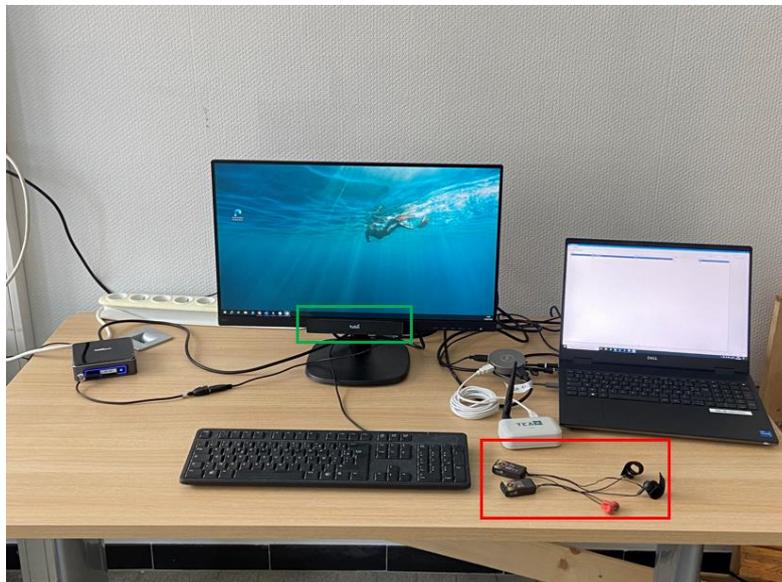


Figure 2 : Dispositif expérimental (vert : eye-tracker ; rouge : EDA, ECG)

3 Conclusion et recherches futures

Une fois ces profils définis, nous testerons l'efficacité de ces parcours personnalisés en évaluant l'apprentissage des étudiants en laboratoire sur un module d'anatomie de la hanche personnalisé. Cette phase expérimentale permettra de mesurer l'impact de l'individualisation sur la performance et l'engagement des apprenants. Les résultats permettront d'ajuster l'outil 3D en fonction des retours utilisateurs, mais également d'affiner les profils utilisateurs mis en avant précédemment avec un plus grand jeu de données. Par la suite, le logiciel sera testé en situation écologique lors de travaux dirigés d'anatomie à destination des L1 STAPS puis progressivement étendu à plus grande

échelle allant d'une promotion entière à plusieurs promotions affiliées à différentes universités. A plus long terme, les résultats obtenus pourraient être adaptés à d'autres parties du corps humain et à d'autres disciplines nécessitant des compétences visuo-spatiales avancées. À travers ce projet, nous souhaitons établir un modèle généralisable d'adaptation des apprentissages dans la formation en sciences de la santé et, plus largement, dans divers domaines éducatifs.

Références

1. Smith, C.F., Martinez-Alvarez, C., McHanwell, S.: The context of learning anatomy: Does it make a difference? *J. Anat.* 224, 270–278 (2014)
2. Dutton, J.J.: *Atlas of Clinical and Surgical Orbital Anatomy*, 2nd edn. Elsevier Inc./Saunders, Philadelphia (2011)
3. Nkomo, L., et al.: Synthesis of student engagement with digital technologies. *Int. J. Educ. Technol. High. Educ.* 18(1) (2021)
4. Gallot, M., Di Rienzo, F., Binay, M., Collet, C., Hoyek, N.: Learning functional human anatomy with a new interactive three-dimensional digital tool. *Anat. Sci. Educ.* 17(3), 660–673 (2024)
5. Guillot, A., Champely, S., Batier, C., Thiriet, P., Collet, C.: Relationship between spatial abilities, mental rotation and functional anatomy learning. *Adv. Health Sci. Educ.* 12 (2007)
6. Hoyek, N., Collet, C., Rastello, O., Fargier, P., Thiriet, P., Guillot, A.: Enhancement of mental rotation abilities and its effect on anatomy learning. *Teach. Learn. Med.* 21(3), 201–206 (2009).
7. Wilson, T.D.: Role of image and cognitive load in anatomical multimedia. In: Chan, L., Pawlina, W. (eds.) *Teaching Anatomy*. Springer, Cham, 301–311 (2015).
8. Khalil, M.K., Paas, F., Johnson, T.E., Payer, A.F.: Design of interactive and dynamic anatomical visualizations: The implication of cognitive load theory. *Anat. Rec.* 286B, 15–20 (2005)
9. Hackett, M., Proctor, M.: Three-dimensional display technologies for anatomical education: A literature review. *J. Sci. Educ. Technol.* 25, 641–654 (2016).
10. Sweller, J.: Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science.* 12(2), 257–285 (1988)
11. Shepard, R.N., Metzler, J.: Mental rotation of three-dimensional objects. *Science* 171(3972), 701–703 (1971)
12. Corsi, P.: *Memory and the Medial Temporal Region of the Brain* (Doctoral dissertation). McGill University, Montreal (1972)
13. Bloom, B.S.: Taxonomy of educational objectives. In: *Handbook I: The Cognitive Domain*, David McKay, New York, (1956)
14. Hart, S.G., Staveland, L.E.: Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In: Hancock, P.A., Meshkati, N. (eds.) *Advances in Psychology*, vol. 52, pp. 139–183. Elsevier (1988)
15. Bandura, A.: Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychol. Rev.* 84(2), 191–215 (1977)
16. Heutte, J., Fenouillet, F., Martin-Krumm, C., Boniwell, I., Csikszentmihalyi, M.: Proposal for a conceptual evolution of the flow in education (EduFlow) model. In: *8th European Conference on Positive Psychology (ECP 2016)*, Angers, France (2016)
17. Hassenzahl, M.: The Thing and I: Understanding the relationship between user and product. In: Blythe, M.A., Overbeeke, K., Monk, A.F., Wright, P.C. (eds.) *Funology*. Human-Computer Interaction Series, 3, 31–42. Springer, Dordrecht (2003)