

Mathématiques et sciences de la nature

Apprentissage adaptatif

Quelles plus-values pour
les élèves ?

Mise en place de dispositifs au niveau
secondaire 2 et analyse de leur impact en
termes d'apprentissage et de bien-être chez
les élèves

2019-2023

Rapport scientifique final

Monnerat Paul et Blandenier Gilles, novembre 2023

Résumé

Nos investigations qui ont duré de 2019 à 2023 ont été menées dans le cadre de l'enseignement de la biologie à l'aide des outils numériques dans un Lycée de l'espace BEJUNE. Trois dispositifs d'apprentissage originaux ont été créés. Le premier est une application web permettant d'apprendre à reconnaître la faune, le deuxième est un dispositif en ligne d'apprentissage de la division cellulaire décliné en trois formes différentes (contenus identiques en version audio, vidéo et texte) et le troisième est un dispositif en ligne d'apprentissage de la génétique décliné en différents parcours personnalisables.

Dans chaque cas, les interactions de l'élève avec les dispositifs numériques permettent de proposer automatiquement des contenus personnalisés par l'utilisation d'algorithmes. Il s'agit donc de formes d'apprentissage adaptatif.

L'analyse des apprentissages des élèves avec ces dispositifs montre qu'ils sont généralement plus efficaces (temps passé à apprendre et résultats aux évaluations finales) lorsque les parcours sont individualisés. Les élèves apprécient généralement ces types de dispositifs. Les possibilités de choix et le changement qu'ils amènent contribuent à leur bien-être.

Résumé court

Nous avons créé trois dispositifs d'apprentissage utilisant les outils numériques dans le cadre de l'enseignement de la biologie au secondaire 2. Ceux-ci utilisent des algorithmes et possèdent tous une partie permettant de personnaliser les apprentissages (apprentissage adaptatif). Ils ont été testés en classe et nous avons pu mettre en évidence leurs plus-values et limites, ainsi qu'apprécier certains aspects liés au bien-être des élèves lors de leur utilisation.

Recommandations

À l'issue de cette recherche, nous formulons les recommandations générales suivantes :

- Les compétences des enseignant·e·s dans l'usage des outils numériques doivent continuer à être développées et valorisées, car, en particulier dans le domaine de la personnalisation et de la flexibilisation des apprentissages, le potentiel est très important ;
- La création de dispositifs d'apprentissage à l'aide des outils numériques prend beaucoup de temps. Il faut en laisser suffisamment aux enseignant·e·s pour faire cela et les encourager, par tous les moyens, à partager leurs ressources et productions ;
- Il est important que les enseignant·e·s puissent garder à tout moment la main sur les traces laissées par les apprenant·e·s lors de l'utilisation de leurs dispositifs d'apprentissage. Il faut donc, tant que faire se peut, favoriser les systèmes développés localement sans la dépendance d'autres éléments (applications tierces par ex.) ;
- Il est important que l'apprenant·e puisse bénéficier d'un retour sur les informations qu'il·elle laisse lors de l'utilisation des dispositifs d'apprentissage en ligne, ceci dans une perspective d'amélioration à long terme de ses apprentissages ;
- Les dispositifs recueillant des traces d'apprentissage doivent le faire dans le respect de la sphère privée et des législations en vigueur ;
- L'utilisation des outils numériques d'apprentissage doit être réalisée dans un souci de bien-être des apprenant·e·s. Ils doivent être accessibles à toutes et tous.

Mots-clés

- Apprentissage adaptatif
- Biologie
- Secondaire 2
- Apprentissage personnalisé
- Outils numériques

Remerciements

Nous tenons à remercier sincèrement la direction du Lycée qui nous a permis de réaliser notre étude dans son établissement ainsi que les élèves qui ont utilisé les dispositifs testés. Giuseppe Melfi du CeSPRe de la HEP-BEJUNE nous a grandement aidés pour les aspects techniques liés aux analyses statistiques.

Table des matières

Résumé	2
Résumé court	2
Recommandations	2
Mots-clés	3
Remerciements	3
1. Introduction	5
2. Contexte de la recherche	6
3. Problématique	6
4. Méthodologie	7
4.1. Utilisation d'une application web. Faunistique	8
4.2. Adaptation de la forme. Mitose	9
4.3. Adaptation du fond. Génétique	10
5. Résultats et analyse	11
5.1. Utilisation d'une application web. Faunistique	11
5.2. Adaptation de la forme. Mitose	15
5.3. Adaptation du fond. Génétique	22
6. Discussion	28
7. Conclusions	30
8. Productions	30
8.1. Communications scientifiques	30
8.2. Communications dans d'autres contextes	31
8.3. Interventions en formation initiale	31
8.4. Perspectives	31
9. Bibliographie	31
10. Annexes	34
10.1. Application web de faunistique. Captures d'écran	35
10.2. Adaptation de la forme. Mitose. Conception du cours. Capture d'écran	35
10.3. Adaptation de la forme. Mitose. Suggestion de la forme. Capture d'écran	36
10.4. Adaptation de la forme. Mitose. Evaluation. Capture d'écran	36
10.5. Questionnaire en lien avec le bien-être des apprenant·e·s (tiré de Gomes, 2022)	37
10.6. Variables utilisées dans les analyses liées au dispositif d'adaptation de la forme. Mitose	43
10.7. Adaptation du fond. Génétique. Structure du cours. Capture d'écran	45
10.8. Adaptation du fond. Génétique. Structure des remédiations. Capture d'écran	46
10.9. Adaptation du fond. Génétique. Evaluation de fin de séquence. Capture d'écran	46
10.10. Variables utilisées dans les analyses liées au dispositif adaptation du fond. Génétique	47

1. Introduction

Selon Wikipédia, l'apprentissage adaptatif se définit comme « une méthode éducative qui utilise les ordinateurs comme des outils d'enseignement en charge d'organiser les ressources humaines et les supports d'apprentissage en fonction des besoins uniques de chaque apprenant. L'ordinateur adapte la présentation du contenu d'apprentissage en fonction des besoins pédagogiques de l'apprenant, ainsi que son niveau de compréhension du sujet traité, et sa façon d'apprendre. Ceci peut se comprendre grâce aux traces laissées sur le système lorsque l'apprenant répond à des questions, réalise des tâches ou des expériences. Cette technologie regroupe plusieurs champs d'études parmi lesquels : l'informatique, l'éducation, la psychologie et les sciences cognitives ».

Ce concept s'est principalement développé aux États-Unis depuis le développement du World Wide Web (Brusilovsky, 1996 ; Brusilovsky & Peyo, 2003). Il est principalement mis en œuvre dans le cadre de la formation tertiaire et continue.

Des sociétés commerciales comme Domoscio, Educlever ou Knewton proposent des outils plus ou moins évolués.

Les étapes d'élaboration d'une séquence d'apprentissage adaptatif sont les suivantes :

- 1° Définition des objectifs et finalités de la séquence ;
- 2° Établissement des prérequis des apprenants ;
- 3° Mise à disposition de divers contenus d'apprentissage (éléments de théorie écrits, capsules vidéo, exercices...). En parallèle, analyse des données récoltées lors de la réalisation des tâches d'apprentissage afin de proposer des éléments plus personnalisés à la personne qui apprend. Ceci peut se faire grâce à l'utilisation d'algorithmes ;
- 4° Feed-back donné à la personne sur sa manière d'apprendre.

Selon Paramythis et Loidl-Reisinger (2004), les particularités de l'apprentissage adaptatif résident dans les points 3 et 4 indiqués ci-dessus.

Bien souvent aussi, des dispositifs faisant référence à l'apprentissage adaptatif offrent uniquement différentes déclinaisons de contenus sans donner de la pertinence aux choix effectués par la personne qui apprend.

Le contexte plus large dans lequel nous nous inscrivons est celui de l'intégration des outils numériques dans l'enseignement (voir par ex. Tricot, 2020) et en particulier de la personnalisation de l'apprentissage (Youssef & Audran, 2019).

Un élément central dans les dispositifs d'apprentissage adaptatif est la personnalisation des apprentissages ainsi que l'analyse et la prise en compte des traces d'apprentissage (learning analytics, Brown, 2011 et Perraya, 2021) que l'apprenant·e laisse lors de l'utilisation des dispositifs numériques d'apprentissage : choix et ordre des éléments visionnés, temps passé sur les différents éléments..., à l'instar de celles que nous laissons toujours dans notre utilisation quotidienne des outils numériques.

À notre connaissance, il n'existe que peu d'études empiriques sur l'impact de ces types de dispositifs sur les élèves, mais l'intérêt de l'apprentissage adaptatif pour l'enseignement a fait l'objet de récentes réflexions (Paigneau, 2022) mettant en évidence ses apports et ses limites.

Dans des contextes différents du nôtre, on peut citer l'étude de Martin et Carro (2009) qui met bien en évidence le potentiel d'un dispositif d'apprentissage adaptatif mobile (utilisant des ordinateurs portables, tablettes ou smartphones) dans un contexte de formation tertiaire en Espagne ainsi que la synthèse de Fournier et al. (2019) qui relève les apports des environnements adaptatifs d'apprentissage (adaptive e-learning environments) pour les connaissances et les compétences des professionnel·l·e·s ainsi que des étudiant·e·s du domaine de la santé.

Nous nous sommes placés dans la perspective de l'enseignant·e (du secondaire 2 dans ce cas) qui cherche à mettre en place des formes d'optimisation de son enseignement. Les dispositifs d'apprentissage adaptatifs entrent donc dans ce cadre-là.

Ceux-ci sont, pour l'instant et à notre connaissance, peu développés dans notre pays. Il y a donc un fort intérêt à créer des dispositifs de ce type, à les mettre en œuvre en classe et à évaluer leur impact en termes d'apprentissage.

Un autre aspect qui nous intéresse est la question du bien-être des élèves lors de l'utilisation des dispositifs d'apprentissage adaptatif. Cette notion est complexe et se base sur des critères psychologiques, cognitifs, sociaux et physiques. Pour l'analyse, nous avons utilisé certains indicateurs tirés d'un document de l'OCDE (OCDE, 2018).

2. Contexte de la recherche

Cette recherche s'est déroulée dans le cadre de l'enseignement de la biologie au secondaire 2 dans un Lycée de l'espace BEJUNE.

M. Paul Monnerat y développe depuis plusieurs années des éléments visant à un apprentissage adaptatif dans le cadre de son enseignement. Il a été engagé comme enseignant chargé de recherche pour analyser ce qu'il a pu mettre en place durant ces dernières années et développer son travail sur cette question par le biais du projet dont les résultats sont présentés ici et qui a été développé avec Gilles Blandenier, professeur responsable du domaine de recherche mathématiques et sciences de la nature.

3. Problématique

La question de l'utilisation des outils numériques pour l'apprentissage personnalisé en biologie s'est posée depuis longtemps à Paul Monnerat. Ce dernier a pu développer des dispositifs dans le cadre de son enseignement grâce à ses compétences en informatique. Le souci était de fournir aux élèves des outils techniques permettant de gagner en efficacité dans les tâches d'apprentissage et qui soient également utilisables sur smartphone ou ordinateur en dehors du temps scolaire. C'est assez naturellement que nous nous sommes ensuite intéressés à la question de l'apprentissage adaptatif, qui justement vise à personnaliser les apprentissages à l'aide d'outils numériques (Brusilovsky, 1996 ; Brusilovsky & Peyo, 2003 ; Paramythis et Loidl-Reisinger, 2004).

La question de l'efficacité des dispositifs d'apprentissage créés s'est posée dans la foulée. Même si les intérêts généraux des dispositifs d'apprentissage adaptatif ont été mis en évidence dans différents contextes de formation (Martin et Carro, 2009 ; Fournier et al. 2019) et que la réflexion sur ses avantages et limites a fait l'objet d'une récente publication (Paigneau, 2022), il nous a paru que le fait de mener une étude empirique dans notre contexte scolaire local faisait sens. Nous avons également l'opportunité de pouvoir partir de la base, soit depuis la conception de nouveaux dispositifs d'apprentissage en ayant une maîtrise la plus complète possible sur les outils techniques utilisés, depuis leur programmation jusqu'à l'exploitation des traces laissées par les élèves durant leurs activités. Tout cela nous a conduits à formuler une première question de recherche ainsi qu'une première hypothèse :

Question 1 : En quoi l'apprentissage adaptatif permet-il à l'élève d'améliorer son efficacité dans ses tâches d'apprentissage ?

Hypothèse 1 : l'apprentissage adaptatif amène des informations qui permettent à l'élève d'améliorer son efficacité dans ses tâches d'apprentissage.

Ensuite de quoi, nous nous sommes intéressés au point de vue des élèves sur les dispositifs créés. Il s'est agi de savoir dans quelle mesure nos élèves pouvaient trouver une plus-value dans nos dispositifs et si celle-ci pouvait, d'une manière ou d'une autre, être en lien avec leur bien-être. Cette vaste notion a rapidement dû être mieux circonscrite. Pour ce faire, nous

avons utilisé certains critères issus d'un document de l'OCDE (OCDE, 2018). Il nous a paru dès le début assez clair que la mise en place de nos dispositifs d'apprentissage personnalisés devait permettre à l'élève d'agir, dans une certaine mesure, sur la contrôlabilité de la tâche, ce qui est source de motivation (Viau, 2009) de même que d'approfondir sa démarche réflexive sur ses apprentissages comme décrits dans les plans d'études cadre : PER (CIIP, 2010) et PEC maturité (CDIP, 1994). Nous sommes partis du principe, à l'instar d'autres auteurs (voir par exemple : Haag, 2017), que si l'élève est motivé cela agit sur son bien-être. Nous avons donc formulé une deuxième question de recherche associée à une deuxième hypothèse :

Question 2 : En quoi l'apprentissage adaptatif peut-il améliorer le bien-être des élèves ?

Hypothèse 2 : l'apprentissage adaptatif améliore le bien-être des élèves.

L'originalité de cette recherche réside dans le fait qu'elle s'est voulue assez globale, depuis la création de dispositifs d'apprentissage, en passant par leur mise en place en classe, pour terminer par l'analyse de leurs effets en termes d'apprentissage et de bien-être. Ce travail nous a menés finalement à établir des recommandations générales pour l'élaboration de dispositifs d'apprentissages de ce type.

4. Méthodologie

Notre recherche s'est déroulée en trois parties :

1. L'analyse de données récoltées lors de l'usage par les élèves d'une application web utilisant un algorithme et dédiée à l'apprentissage de la reconnaissance des animaux du Jura. Cette analyse nous a permis d'investiguer le temps consacré à l'apprentissage, les moments de la journée consacrés à cette tâche ainsi que les apports de l'utilisation d'un algorithme sur les apprentissages ;
2. La conception d'une séquence d'apprentissage originale sur la division cellulaire (mitose) sous trois formes différentes (texte, audio et vidéo), mais avec un fond semblable. S'en est suivie la mise en place du dispositif dans des classes avec l'utilisation d'un algorithme, le recueil et l'analyse des données. À la fin de la mise en place du dispositif en classe, des éléments sur le bien-être des apprenant-e-s et leur intérêt pour ce type d'enseignement ont été investigués sur la base de certains indicateurs dans le cadre d'un travail écrit de recherche de fin de formation (Gomes, 2022) ;
3. La conception d'une séquence de génétique (partie consacrée à la génétique classique ou mendélienne) originale avec adaptation de la forme et personnalisation des parcours d'apprentissage. S'en est suivie la mise en place de ce dispositif dans des classes avec l'utilisation d'un algorithme, le recueil et l'analyse des données.

Cette recherche est ancrée, dans la démarche d'ingénierie didactique développée par Artigue (1990) et Barquero et Bosch (2015). Après avoir réalisé une analyse préalable du contexte et la formulation d'hypothèses, nous sommes passés à une phase de conception des dispositifs d'apprentissage et d'analyse a priori. S'en est suivie la phase d'expérimentation avec la récolte des données, puis l'analyse a posteriori et l'évaluation. Il est à noter que, dans notre cas, l'élaboration des dispositifs d'apprentissages a été faite de manière itérative. Une première version a été produite sur la base de l'analyse préalable du contexte (niveau des élèves, objectifs, place dans le programme, matériel et temps à disposition), puis testée par les chercheurs. Les constatations faites ont ensuite permis de

l'améliorer ce qui a mené à une deuxième version qui elle-même a fait l'objet d'un test avec des élèves, permettant ainsi d'autres adaptations avant la récolte des données en tant que telle.

Nous nous inscrivons également dans une perspective de recherche empiriste hypothético-déductive (Van der Maren, 2003). Nous avons donc émis des hypothèses, recueilli des données puis testé les résultats obtenus pour réfuter ou accepter nos hypothèses.

Dans la plupart des situations, nous avons comparé les résultats obtenus dans deux groupes tests entre lesquels un paramètre varie.

4.1. Utilisation d'une application web. Faunistique

Dans un premier temps, nous nous sommes attelés à l'analyse des données obtenues lors de l'utilisation par les élèves du Lycée d'une application web de faunistique créée en 2014 par Paul Monnerat permettant de travailler la reconnaissance des animaux (oiseaux, mammifères, reptiles, poissons et amphibiens) du canton du Jura à l'aide de photographies et d'aquarelles (voir annexe 10.1). Tous les élèves du Lycée ont accès à cet outil numérique, mais tous et toutes ne l'utilisent pas. L'application est toutefois mise en œuvre en classe pour l'évaluation sommative finale de ces connaissances.

Cette application web a été construite totalement par cet enseignant sans dépendance d'application tierce. La maîtrise sur les données récoltées est ainsi totale. L'anonymat des réponses données est garanti par l'utilisation d'un code attribué à chaque utilisateur-trice. L'élève choisit les pages concernées et l'application tire au hasard un nom d'espèce qui figure sur ces pages du cours, puis une illustration est également tirée au hasard.

Comme il y a cinq noms d'espèce à choix, quatre autres choix plausibles sont affichés dans un ordre aléatoire.

Le temps qui s'écoule entre la présentation de l'espèce et la réponse donnée est enregistré dans une base de données.

L'idée d'optimiser l'apprentissage en proposant moins souvent les espèces qui sont bien reconnues et plus souvent celles dont la reconnaissance pose davantage de problèmes (pour un-e élève donné-e) est venue par la suite.

Un algorithme qui biaise le tirage au sort a ainsi été mis en place, puis les pondérations ont été augmentées afin d'obtenir un meilleur effet. Par exemple, une espèce dont le score est plus petit que -1 a douze fois plus de chance d'apparaître qu'une espèce ayant un score plus grand que 2. Le score étant la somme totale de toutes les réponses concernant cette espèce pour un-e élève donné-e. Une réponse juste donnant un score de +1 et une fausse un score de -1. Cela permet de calculer en temps réel les scores obtenus pour chaque espèce présentée.

Ces données récoltées (près d'un million entre novembre 2014 et juin 2023) nous ont permis d'obtenir des renseignements globaux sur l'utilisation de cet outil numérique. Nos analyses générales ont toutefois porté sur plus de 140 000 données récoltées pendant la durée du projet.

Pour les besoins spécifiques de la présente étude et afin d'étudier l'intérêt de l'application de l'algorithme, 4 classes de 1^{re} année de Lycée. Dans ces classes, l'algorithme a été appliqué aléatoirement à la moitié des élèves, les autres utilisant l'application web standard. Ceci a été réalisé dans une salle d'informatique pendant une leçon de 45 min en 2020, chacun et chacun y disposant d'un ordinateur.

Pour investiguer les différences entre les deux groupes tests, nous avons utilisé des statistiques paramétriques (test du T de Student) et des analyses de variance (ANOVA) réalisées à l'aide du logiciel JASP.

4.2. Adaptation de la forme. Mitose

Dans cette partie de la recherche, nous avons construit trois séquences d'apprentissage en ligne dont le contenu est identique, mais la forme est déclinée soit en vidéo, soit en audio soit en texte.

Le thème de la mitose a été choisi en raison de la bonne documentation vidéo existante. En effet, la constitution de multiples séquences, chacune dans une forme différente, demande une certaine rigueur d'élaboration afin de garantir que le contenu soit identique dans les différentes déclinaisons.

Nous sommes donc partis d'une séquence vidéo présentant la mitose à l'aide de modèles afin d'en extraire les illustrations pour la séquence texte et audio.

Les textes ont été rédigés à partir de la vidéo puis transcrits sous forme audio. De cette manière, le texte est identique à l'audio. Ceci n'est pas idéal sachant qu'un texte qui est destiné à être lu n'est pas construit de la même manière qu'un texte destiné à être écouté. Les chapitres sont scindés en sous-chapitres qui sont appelés ici notion, par exemple la notion de métaphase ([annexe 10.2](#)).

Une notion est en principe composée de plusieurs éléments (phrases, illustrations, vidéos). Les trois formes (texte, audio, vidéo) sont mises à disposition de l'élève qui a vingt minutes à disposition (un compte à rebours individuel est affiché) pour suivre le cours.

À chaque notion, il peut afficher directement la version de son choix et naviguer entre elles comme bon lui semble.

Il a été suggéré à la moitié des élèves une des trois formes aléatoirement ([annexe 10.3](#)).

Au-delà de l'aspect pédagogique de la construction de cette séquence d'apprentissage s'est ajouté le côté technique. Il a en effet fallu élaborer le modèle de données (logique, tables relationnelles) ainsi que l'application web en fonction des différentes règles d'affichage, comme la suggestion ou la forme.

L'application web ayant été confectionnée totalement sans dépendance d'application tierce, nous avons une totale maîtrise du code ainsi que des données récoltées. Ainsi, chaque clic sur un lien de la page par l'utilisateur ou l'utilisatrice a été enregistré avec la date et l'heure (au centième de seconde) en plus des informations de la page en question.

Ceci nous permet donc de déterminer le temps passé sur chaque page ainsi que la forme qui était affichée. L'attribution d'un code à chaque élève garantit l'anonymat des données.

À l'issue de la séquence, chaque élève répond à un questionnaire d'évaluation sur la matière qui est composé de vingt questions ([annexe 10.4](#)). Le temps passé sur chacune d'elles est enregistré ainsi que celui passé sur les réponses, une fois corrigées.

L'investigation a été menée dans 7 classes, 4 de deuxième année et 3 de première année durant les mois de février et mars 2022. Les élèves concerné-e-s ont travaillé individuellement sur les ordinateurs dans une salle d'informatique pendant une leçon de 45 min sur le dispositif d'apprentissage de la division cellulaire (mitose) créé.

Après avoir finalisé leur travail sur le dispositif d'apprentissage, les élèves devaient encore répondre à un questionnaire portant sur des aspects en lien avec le bien-être et comportant 25 questions ([annexe 10.5](#)). Cet outil a été conçu par S. Gomes dans le cadre de son travail écrit de recherche de fin de formation (Gomes, 2022). Il est basé sur certains indicateurs du bien-être développés par l'OCDE (OCDE, 2018).

Nous avons utilisé une des classes (203) pour réaliser un test préalable. Quelques modifications ont été apportées au dispositif après celui-ci. Il s'est agi en particulier de préciser certaines questions posées et d'ajuster quelques fonctionnalités pour l'utilisation du dispositif d'apprentissage en ligne.

Dans une autre classe, il y a eu un problème d'affichage des vidéos. Ceci était dû à un ralentissement du réseau interne, ce qui fait que certains élèves ont abandonné la forme vidéo.

Dans les classes 108 et 109, les élèves ont été informé·e·s que l'évaluation de fin de séquence d'apprentissage ferait l'objet d'une note comptant dans la moyenne annuelle de la discipline.

Parmi les classes, il y avait certain·e·s élèves qui sont germanophones et d'autres bilingues. Cela a permis aussi de faire des comparaisons en fonction de ces paramètres.

Des analyses statistiques ont été menées pour comparer les données obtenues. Nous avons utilisé le t de Student, des corrélations et analyses de variance. Toutes les analyses ont été menées à l'aide du logiciel Jasp.

Les données appelées « EvaSeq » ont été extraites à partir des données de l'évaluation en fin de séquence d'apprentissage.

Plus précisément, chaque question d'évaluation est liée à une séquence d'apprentissage.

Les données ont donc été associées à partir de chacune de ces questions.

Cela signifie que les données des séquences d'apprentissage auxquelles aucune question n'est liée ne figurent pas dans cette statistique. En effet, toutes les séquences d'apprentissage ne font pas l'objet de questions.

Le descriptif des variables utilisées dans ces analyses est donné en [annexe 10.6](#).

4.3. Adaptation du fond. Génétique

Le thème de la génétique classique a été choisi, car il comporte une succession de notions ponctuelles et additives dans un cours bien structuré.

Les multiples activités d'apprentissage créées l'ont été sur la base du cours de génétique qui est dispensé aux élèves de 2^e année du Lycée. Les chapitres abordés sont l'introduction à la génétique, ainsi que les 1^{re} et 2^e lois de Mendel.

Ces chapitres sont scindés en sous-chapitres qui sont appelés ici notion, par exemple la notion de gène ou de génotype ([Annexe 10.7](#)).

Une notion est en principe composée de plusieurs éléments (phrases, illustrations, vidéos).

Les remédiations ont été structurées en trois types de notions : définition, exemple et schéma ([Annexe 10.8](#)).

Au-delà de l'aspect pédagogique de la construction de cette séquence d'apprentissage, s'est ajouté le côté technique. Il a fallu élaborer le modèle de données (logique, tables relationnelles) ainsi que l'application web en fonction des différentes règles de parcours, à l'image de celles des remédiations.

Certains sous-chapitres représentent ce qu'on appelle ici de manière simplifiée une « notion de question » et une « notion de remédiation » se rapportant à une seule notion (connaissance) bien définie, par exemple celle de lignée pure ([Annexe 10.8](#)).

Chaque « notion de question » est testée par le biais d'un quizz intermédiaire constitué de trois questions auxquelles on accède à l'issue du visionnement du contenu correspondant dans le dispositif. Si l'élève répond faux à au moins 2 questions sur 3, il est automatiquement redirigé vers la « notion de remédiation ». Dans le cas inverse, il continue son parcours sans même que la notion de remédiation lui soit affichée.

Le chapitrage du menu de gauche s'affiche au fur et à mesure de l'avancement de l'élève, la navigation en avant étant possible uniquement en cliquant sur le bouton « Suivant ».

L'application web ayant été confectionnée sans dépendance d'application tierce, nous avons une totale maîtrise du code ainsi que des données récoltées. Ainsi, chaque clic sur un lien de la page par l'utilisateur a été enregistré avec la date et l'heure au centième de seconde en plus des informations de la page en question.

Ceci nous permet donc de déterminer le temps passé sur chaque page ainsi que l'ordre d'affichage. L'attribution automatique d'un code à chaque élève garantit l'anonymat des réponses.

Après avoir consulté tout le dispositif d'apprentissage, chaque élève répond à une évaluation composée de huit questions ([Annexe 10.9](#)). Le temps passé sur chacune d'elles est enregistré ainsi que celui passé sur les réponses qui s'affichent au moment de la correction. Le dispositif créé a été utilisé dans 7 classes de 2^e année du Lycée en début d'année 2023 pendant une leçon de 45 min en salle d'informatique. Le système adaptatif décrit ci-dessus a été appliqué aléatoirement à la moitié des élèves, les autres conservant un dispositif d'apprentissage normal donc sans remédiations personnalisées en fonction des résultats obtenus aux quizz intermédiaires.

Nous avons utilisé une classe (206) pour réaliser un test préalable ce qui nous a permis d'ajuster le dispositif.

Dans une des classes (205), il a été annoncé que l'évaluation finale ferait l'objet d'une note comptant dans la moyenne annuelle de la discipline.

Les deux classes ci-dessus (205 et 206) n'ont pas eu accès à l'explication de deux notions, ce qui peut avoir une influence sur les quizz et donc les remédiations. Pour les autres classes, un élément en lien avec ces notions a été ajouté.

Les données correspondant à la notion de lignée pure ont été exclues de la statistique, car celle-ci n'a pas été abordée sous forme de définition.

Une des classes (207) avait également déjà vu l'introduction à la génétique par le biais d'un cours « classique » avant de revoir certaines notions par le biais du dispositif créé.

Des analyses statistiques ont été menées pour comparer les données obtenues. Nous avons utilisé le t de Student, des corrélations et analyses de variance. Toutes les analyses ont été menées à l'aide du logiciel Jasp

Les données appelées « EvaSeq » ont été extraites à partir des données de l'évaluation en fin de séquence d'apprentissage.

Plus précisément, chaque question d'évaluation est liée à une séquence d'apprentissage. Les données ont donc été associées à partir de chacune de ces questions.

Ce qui signifie que les données des séquences d'apprentissage auxquelles aucune question n'est liée ne figurent pas dans cette statistique.

Nos questions étaient donc relativement incomplètes et devraient donc être adaptées à l'avenir pour mieux couvrir l'ensemble des séquences d'apprentissages.

Le descriptif des variables utilisées dans ces analyses est donné en [annexe 10.10](#).

Pour les raisons évoquées ci-dessus, 3 classes (205, 206 et 207) ont été exclues de certaines analyses.

5. Résultats et analyse

5.1. Utilisation d'une application web. Faunistique

5.1.1. Résultats généraux

Sur un échantillonnage de plus de 140 000 données, il ressort les chiffres suivants :

- 74 % des élèves utilisent l'application web ;
- 97 % des réponses sont données en moins de 30 secondes ;
- 8 % d'erreurs en moyenne à l'évaluation ;
- 34 % d'erreurs en moyenne 5 mois après l'évaluation.

On voit donc qu'une majorité des élèves utilisent l'application web de faunistique et que les réponses y sont données très rapidement.

L'évaluation finale est généralement bien réussie avec un faible pourcentage d'erreurs. Par

contre, ce pourcentage augmente beaucoup lorsque l'on fait repasser l'évaluation 5 mois plus tard. La rétention des savoirs ici testés est donc temporaire.

5.1.2. Moments de la journée où l'application web est utilisée

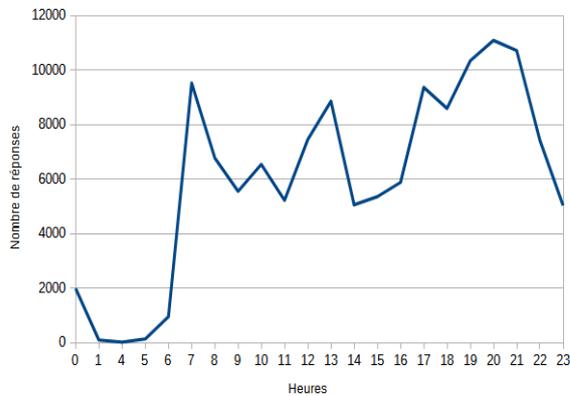


Figure 1. Quand les élèves utilisent-ils-elles l'application web de faunistique ? Nombre de réponses totales données en fonction des heures de la journée. $n=132'028$

L'application web de faunistique est majoritairement utilisée le matin, sur la pause de midi et le soir. Les élèves profitent régulièrement du temps des trajets entre l'école et la maison pour utiliser cet outil.

5.1.3. Utilisation de l'application web avant l'évaluation

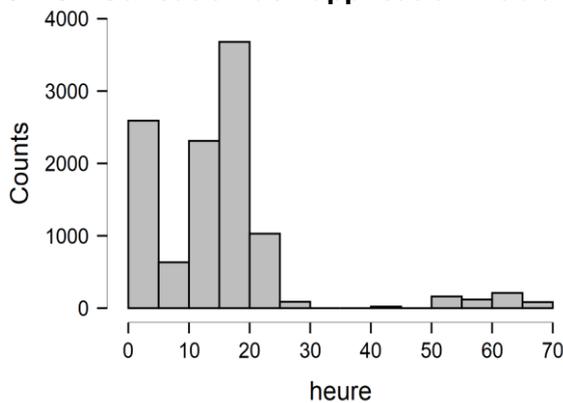
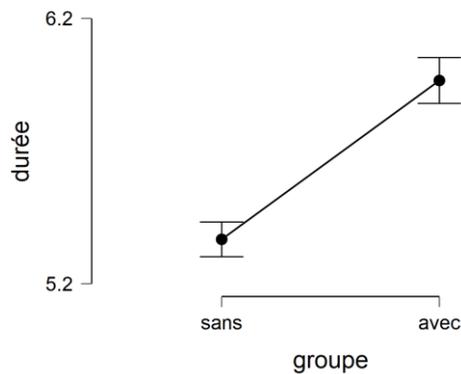


Figure 2. Les élèves utilisent-ils-elles l'application web de faunistique longtemps avant l'évaluation ? Nombre d'heures avant l'évaluation. $n=10924$

On voit ici que la grande majorité des élèves utilisent l'application web de faunistique pour répéter peu avant l'évaluation, principalement le jour qui la précède.

5.1.4. Temps mis pour donner une réponse dans l'application web



Independent Samples T-Test

	t	df	p
durée	-10.956	26454	< .001*

Note. Student's t-test.

* Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the equal variance assumption

Group Descriptives

	Group	N	Mean	SD	SE
durée	sans	16166	5.368	4.247	0.033
	avec	10290	5.966	4.466	0.044

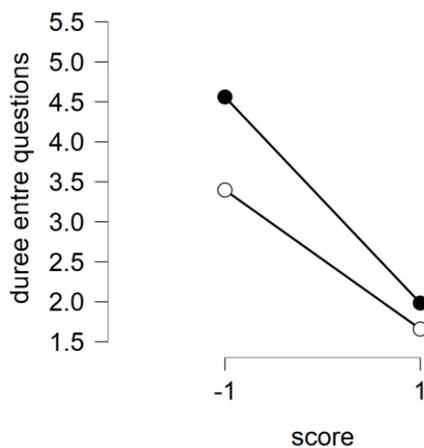
Figure 3. Les élèves prennent-ils-elles, en moyenne, davantage de temps pour répondre aux questions avec algorithmique que sans ? Durée moyenne en secondes. Test T de Student. $n=26756$ (48 étudiants). Différence significative au seuil de 0,01.

Les sujets à qui on applique l'algorithme mettent presque une seconde de plus en moyenne pour répondre à chaque question.

Ceci peut s'expliquer par une difficulté accrue, puisque les questions difficiles et non maîtrisées ont une probabilité plus grande d'apparaître.

5.1.5. Temps passé sur la correction

Après avoir répondu à une question, la réponse correcte s'affiche.



groupe

- sans
- avec

ANOVA - durée entre questions

	Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
score	16007.397	1	16007.397	1710.873	< .001	
groupe	1905.091	1	1905.091	203.616	< .001	
score * groupe	605.097	1	605.097	64.673	< .001	
Residuals	236311.367	25257	9.356			

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives - durée entre questions

score	groupe	Mean	SD	N
-1	avec	4.561	4.251	1748
	sans	3.397	4.288	2576
1	avec	1.984	2.406	7983
	sans	1.660	2.930	12954

Figure 4. Existe-t-il une différence entre les temps de correction en fonction de l'application de l'algorithme ? Durée moyenne en secondes. Test T de Student. -1 : Réponse erronée ; 1 : réponse correcte. $n=65$. Différence significative au seuil de 0,01

Le résultat montre clairement et de manière hautement significative que les élèves ayant l'algorithme prennent plus de temps sur la correction que les autres si la réponse est fausse (-1). Lorsque la réponse est correcte (1), la différence est minime.

5.1.6. Nombre de réponses données

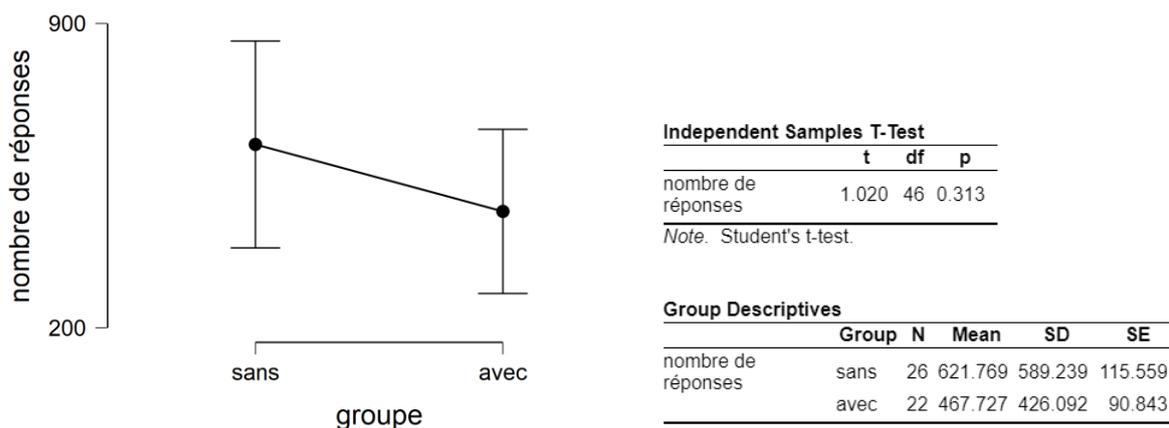


Figure 5. Est-ce que le nombre moyen de réponses données par utilisateur est différent avec et sans algorithme ? Test T de Student. $n=48$. Différence non significative au seuil de 0,05.

Bien que non significatif, le résultat montre tout de même une tendance à une diminution du nombre de réponses quand l'algorithme est appliqué, ce qui peut s'expliquer par le fait que les espèces dont les réponses sont correctes n'apparaissent presque pas.

5.1.7. Résultats à l'évaluation

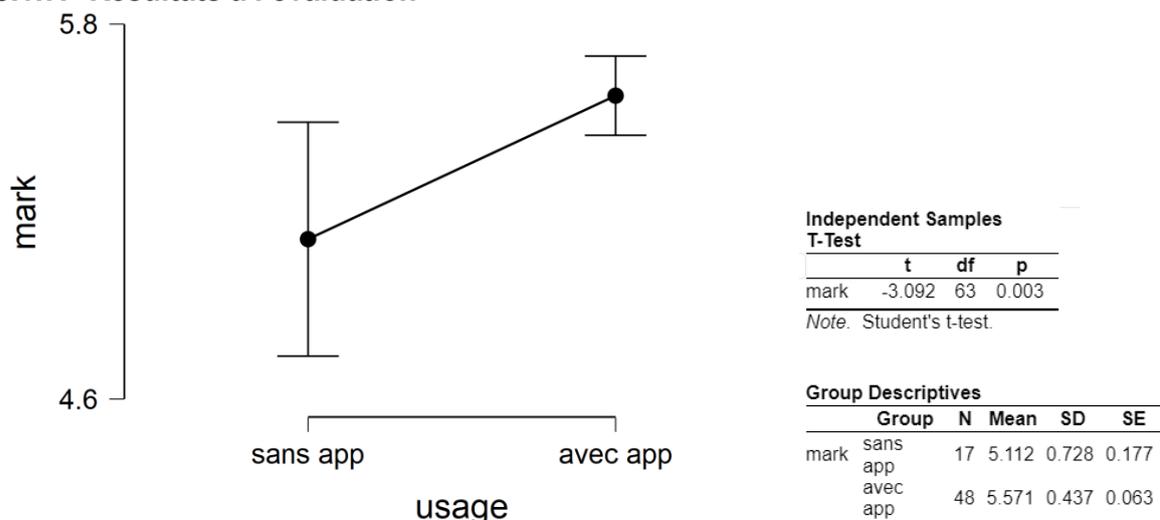


Figure 6. Est-ce que le résultat à l'évaluation est meilleur avec l'utilisation de l'application web de faunistique que sans ? Test T de Student. Mark = note. $n=65$. Différence significative au seuil de 0,05.

Les élèves utilisant l'application obtiennent significativement une meilleure note à l'évaluation. Dans tous les cas, les résultats obtenus sont bons à très bons.

5.1.8. Durée d'utilisation de l'application web

Selon les résultats présentés à la [figure 3](#), nous avons 16 166 réponses données par 26 étudiants. Dans le but de pouvoir comparer, le nombre de réponses a été rapporté à 22 étudiants, ce qui représente 13 678 réponses.

En pondérant la durée moyenne par réponse par le nombre de réponses données standardisé à 22 étudiants, nous obtenons une durée d'utilisation de 47 minutes avec algorithme et 56 minutes sans algorithme. ($13\ 678 \times 5.368 = 20,4$ h, $20,4$ h/22 = 56 minutes).

Ceci nous donne une indication sur la durée totale passée sur l'application web par les élèves, mais n'est pas absolu.

Independent Samples T-Test

Independent Samples T-Test

	t	df	p
durée totale	0.651	46	0.518

Note. Student's t-test.

Descriptives

Group Descriptives

	Group	N	Mean	SD	SE
durée totale	paire	26	3337.365	3291.135	645.445
	impaire	22	2790.565	2353.168	501.697

Descriptives Plots

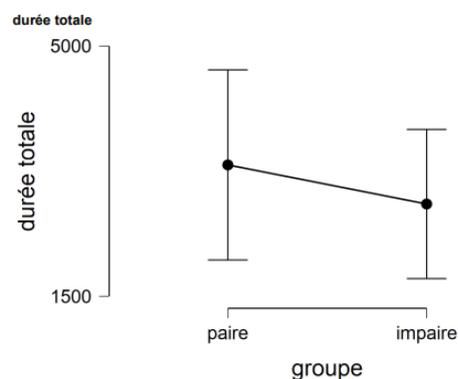


Figure 7. Quelle est l'influence de l'algorithme sur le temps passé sur l'application web de faunistique ?
 Paire=sans algorithme. Impaire=avec algorithme

Globalement, chaque étudiant passe plus de temps à répondre (Figure 3), mais répond à moins de questions (Figure 5). La différence du temps moyen passé n'est pas significative (Figure 7).

5.2. Adaptation de la forme. Mitose

5.2.1. Éléments visionnés

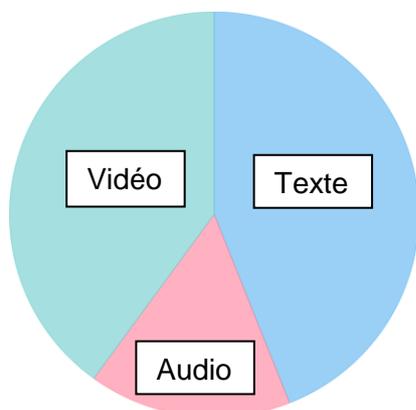


Figure 8. Qu'est-ce que les élèves visionnent le plus durant cette activité d'apprentissage ?

On constate que le texte et la vidéo sont visionnés deux fois plus que l'audio.

5.2.2. Relation entre le temps passé en visionnement et le résultat à l'évaluation

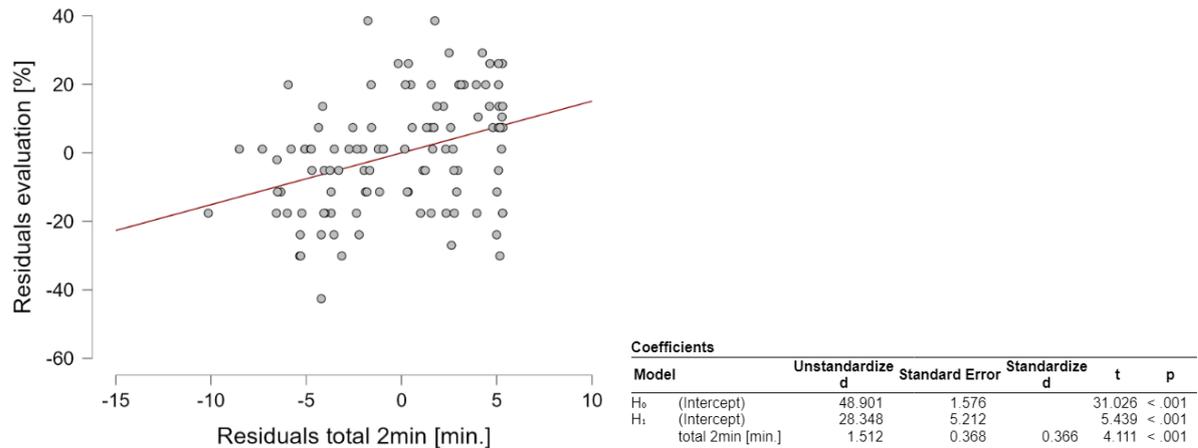


Figure 9. Quel est l'effet de la durée de visionnement (tous contenus confondus) sur le résultat à l'évaluation de fin de chapitre ? n=111. La corrélation est significative au seuil de 0,05.

Il y a une corrélation forte entre la durée de visionnage des contenus et le résultat à l'évaluation finale. Pour chaque minute de visionnage supplémentaire (toutes formes de contenus confondus), le pourcentage de réussite à l'évaluation augmente de 1,5 %.

5.2.3. Relation entre les résultats obtenus à l'évaluation avec ou sans enjeu

Les résultats obtenus dans les deux classes comportant un enjeu pour l'évaluation finale qui a été annoncée comme comptant pour la moyenne de la discipline ont été comparés avec toutes les autres classes.

Un test t pour échantillons indépendants a été effectué en utilisant « enjeux » comme facteur et un test ANOVA afin de déterminer s'il y a une différence entre les classes.

Independent Samples T-Test			
	t	df	p
question durée	-5.912	1098	< .001 ^a
question nbr	-15.121	1098	< .001 ^a
réponse durée	1.862	394	0.063 ^a
réponse nbr	-1.617	394	0.107 ^a
texte 2min	-7.174	1098	< .001 ^a
texte 2min [n]	-9.314	1098	< .001 ^a
audio 2min	1.356	1098	0.175 ^a
audio 2min [n]	0.938	1098	0.349
video 2min	-5.753	1098	< .001 ^a
video 2min [n]	-8.075	1098	< .001 ^a
total 2min [min.]	-9.085	1098	< .001
total 2min [n]	-11.973	1098	< .001 ^a
point	-3.063	1098	0.002 ^a

Note. Student's t-test.

^a Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the equal variance assumption

Group Descriptives					
	Group	N	Mean	SD	SE
question durée	non	776	38.408	31.209	1.120
	oui	324	50.744	32.336	1.796
question nbr	non	776	2.956	1.315	0.047
	oui	324	4.478	1.930	0.107
réponse durée	non	284	14.366	24.041	1.427
	oui	112	10.002	9.629	0.910
réponse nbr	non	284	1.236	0.522	0.031
	oui	112	1.330	0.527	0.050
texte 2min	non	776	44.272	39.900	1.432
	oui	324	64.992	51.582	2.866
texte 2min [n]	non	776	1.555	1.352	0.049
	oui	324	2.534	2.048	0.114

audio 2min	non	776	19.719	31.570	1.133
	oui	324	16.908	30.768	1.709
audio 2min [n]	non	776	0.495	0.727	0.026
	oui	324	0.451	0.677	0.038
video 2min	non	776	41.514	39.343	1.412
	oui	324	57.442	47.364	2.631
video 2min [n]	non	776	0.832	0.713	0.026
	oui	324	1.269	1.022	0.057
total 2min [min.]	non	776	1.759	0.909	0.033
	oui	324	2.323	1.007	0.056
total 2min [n]	non	776	2.883	1.598	0.057
	oui	324	4.253	2.013	0.112
point	non	776	0.394	0.487	0.017
	oui	324	0.494	0.501	0.028

ANOVA - question durée

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
class	67564.074	6	11260.679	11.613	< .001
Residuals	1.060e+6	1093	969.625		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives - question durée

class	Mean	SD	N
101	36.615	25.274	149
103	33.977	22.863	181
108	49.794	32.579	160
109	51.672	32.170	164
203	32.596	26.355	178
211	41.034	33.935	120
212	50.495	43.153	148

Tableau 1. Quel est l'effet d'une évaluation annoncée avec enjeu sur son résultat ? Pour la signification des intitulés : question durée, question nbre... se référer à l'annexe 10.6. n=111.

Presque tous les résultats sont hautement significatifs.

L'enjeu a donc un effet positif important à la fois sur le temps passé à visionner les différents contenus, sur le nombre de contenus visionnés, sur le temps passé sur les questions d'évaluation ainsi que sur les points obtenus à la question.

5.2.4. Résultats à l'évaluation en fonction de la langue maternelle

Les élèves germanophones (n=10) ont été comparés avec les non-germanophones (n=101).

Independent Samples T-Test

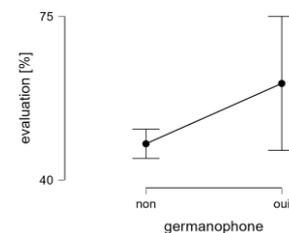
	t	df	p
evaluation [%]	-2.393	109	0.018
evaluation [sec]	-2.503	109	0.014
correction [sec]	-2.540	109	0.013 ^a

Note. Student's t-test.

^a Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the equal variance assumption

Group Descriptives

	Group	N	Mean	SD	SE
evaluation [%]	non	101	47.739	15.876	1.580
	oui	10	60.640	20.035	6.335
evaluation [sec]	non	101	651.871	209.200	20.816
	oui	10	833.135	302.815	95.758
correction [sec]	non	101	54.335	58.741	5.845
	oui	10	107.642	101.038	31.951



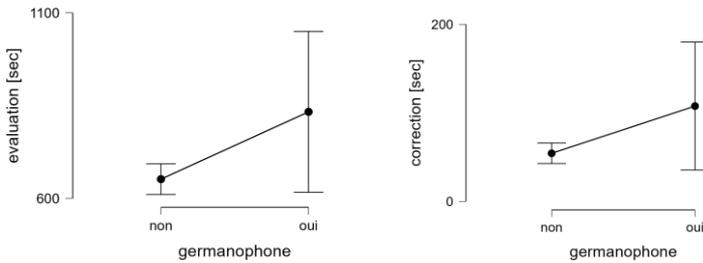


Figure 10. Quel est l'effet de la langue maternelle sur le résultat à l'évaluation ? *évaluation [%] : pourcentage de réussite à l'évaluation ; évaluation [sec] : temps passé sur l'évaluation ; correction [sec] : temps passé sur l'affichage des corrections de l'évaluation. n=111. Différences significatives au seuil de 0,05.*

L'analyse montre clairement de meilleurs résultats chez les élèves germanophones, mais la taille de cet échantillon est très restreinte.

Par contre, au sein des classes bilingues uniquement, il n'y a pas de différence significative entre les germanophones et francophones.

Ceci peut s'expliquer par une sélection limitée aux meilleures élèves pour cette filière.

5.2.5. Effet de la suggestion sur la durée de visionnement

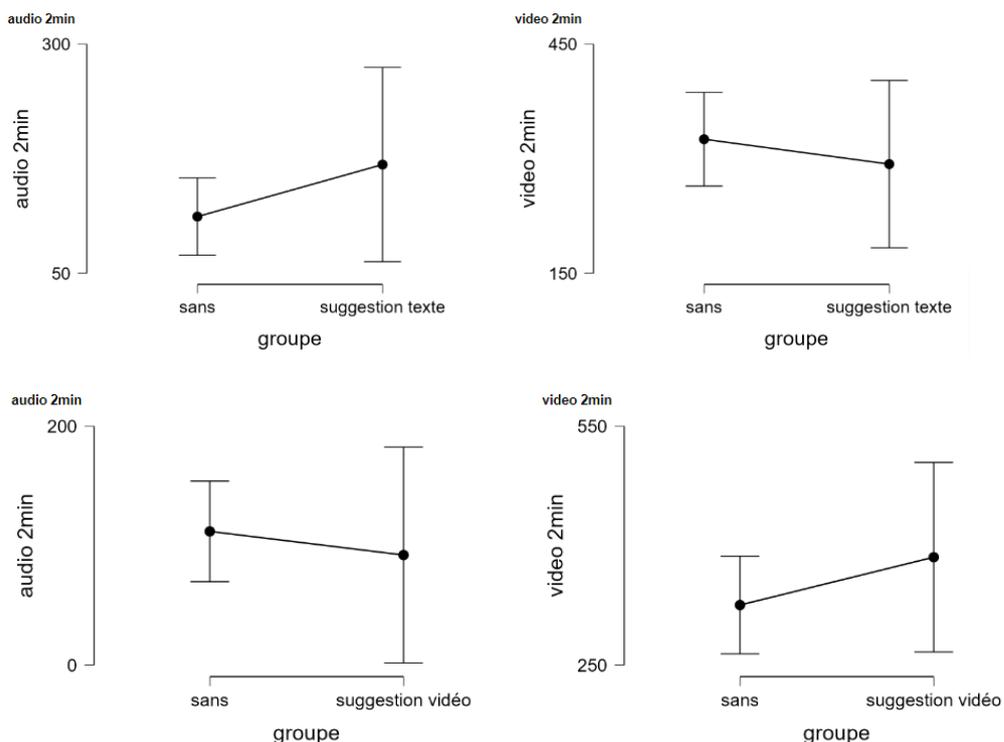


Figure 11. Quel est l'effet d'une suggestion sur la durée de visionnement ? *n=65. Différences non significatives au seuil de 0,05.*

En analysant l'effet du type de suggestion, on constate que suggérer la forme audio permet d'augmenter sa proportion au détriment de la vidéo. Toutefois, les différences ne sont pas statistiquement significatives.

5.2.6. Effets de la suggestion sur les différentes variables

Ci-dessous, un test t pour échantillons indépendants a été effectué en utilisant « suggestion » comme facteur.

Independent Samples T-Test			
	t	df	p
question durée	-1.114	1098	0.265
question nbr	-1.505	1098	0.133 ^a
réponse durée	-0.498	394	0.619
réponse nbr	-0.894	394	0.372
texte 2min	-0.202	1098	0.840
texte 2min [n]	-1.734	1098	0.083
audio 2min	-2.942	1098	0.003 ^a
audio 2min [n]	-3.100	1098	0.002 ^a
video 2min	-0.022	1098	0.983
video 2min [n]	1.127	1098	0.260
total 2min [min.]	-1.742	1098	0.082
total 2min [n]	-2.240	1098	0.025 ^a
point	1.138	1098	0.255

Note. Student's t-test.

^a Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the equal variance assumption

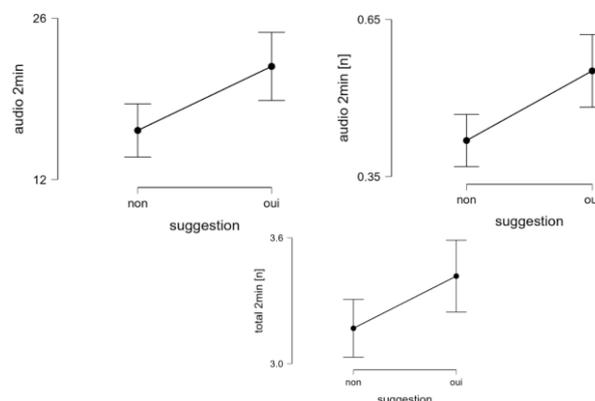


Figure 12. Quel est l'effet d'une suggestion sur les différentes variables ? Seules trois variables sont significatives au seuil de 0,05. Pour la signification des intitulés : question durée, question nbre... se référer à l'annexe 10.6. n=111.

On obtient donc un test significatif pour les variables suivantes :

- audio 2 min $p=0.003$: temps passé sur la séquence audio
- audio 2 min [n] $p=0.002$: nombre d'affichages de séquence audio
- total 2 min [n] : $p=0.025$: nombre d'affichages de séquence

Ceci montre que la suggestion augmente la durée et la fréquence de la séquence audio de manière statistiquement significative. Cela s'explique par le fait que l'audio est à la base la forme la moins visionnée.

La suggestion gommerait ainsi les disparités, mais ne semble pas intéressante pour l'élève, car on constate en même temps que la moyenne des points obtenus à la question de l'évaluation correspondante est plus basse pour les sujets auxquels une suggestion a été proposée (0,406 contre 0,440).

5.2.7. Appréciation des élèves

Les résultats ci-dessous sont extraits du travail écrit de recherche de fin de formation réalisé par S. Gomes (Gomes, 2022). Nous ne reprenons ici que les éléments les plus saillants de ce travail.

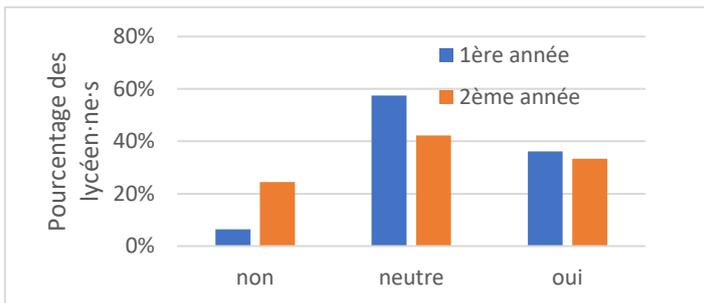


Figure 13. Les élèves ont-ils·elles globalement apprécié ce cours sur la mitose ? n=92. Élèves de première et de deuxième année. Tiré de Gomes (2022) p. 11

La majorité des élèves ont avis neutre ou positif sur ce cours. Celui-ci ne fait pas l'unanimité.

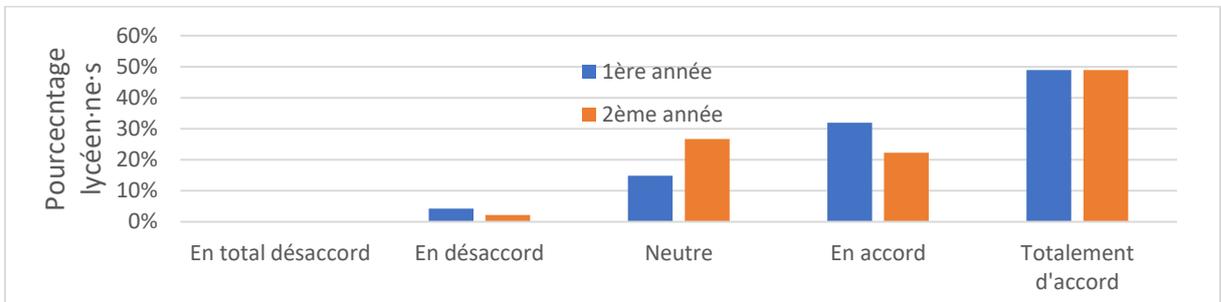


Figure 14. Les élèves ont-ils·elles apprécié le fait de pouvoir choisir, dans cette tâche, leur manière d'apprendre ? n=92. Tiré de Gomes (2022) p. 12

La majorité des élèves ont un avis positif sur le fait de pouvoir choisir la manière d'apprendre.

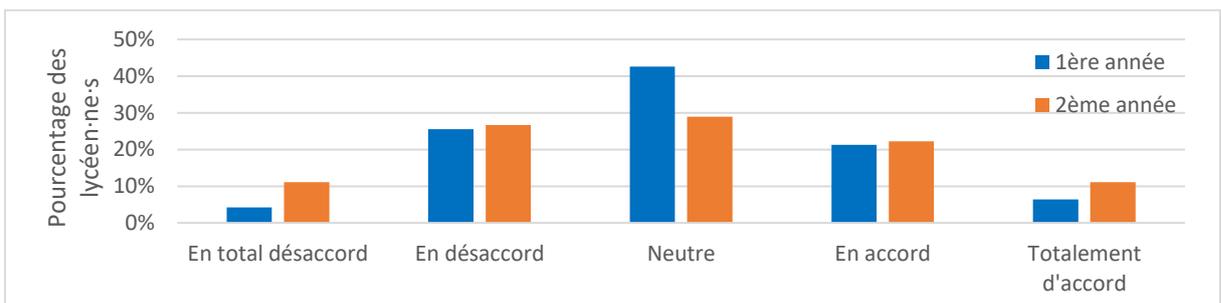


Figure 15. Les élèves se sont-ils·elles senti·e·s capables d'atteindre les objectifs par eux·elles-mêmes ? n=92. Tiré de Gomes (2022) p. 12

Environ un tiers des élèves ne se sentent pas capables d'atteindre les objectifs par eux·elles-mêmes.

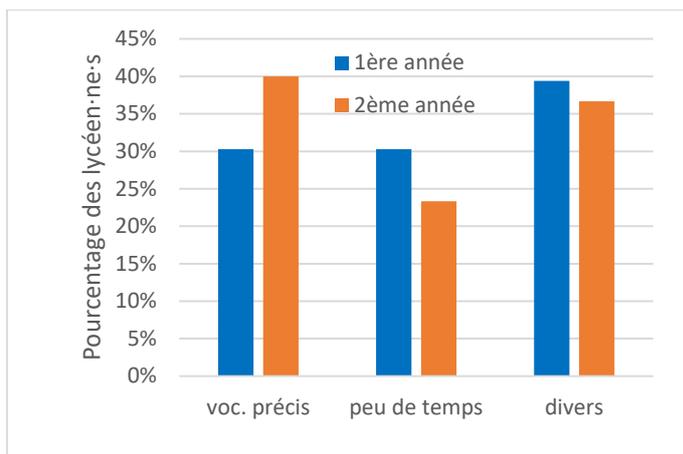


Figure 16. Les élèves ont-ils-elles rencontré des difficultés dans la réalisation de la tâche ? Si oui lesquelles ? n=92. Tiré de Gomes (2022) p. 14

Trois catégories de difficultés sont mentionnées : le vocabulaire précis à apprendre, le peu de temps à disposition et une catégorie « divers ». Cette dernière catégorie regroupe des éléments mentionnés peu de fois, comme, par exemple : la concentration, l'autonomie, l'individualité ou l'inconfort, etc.

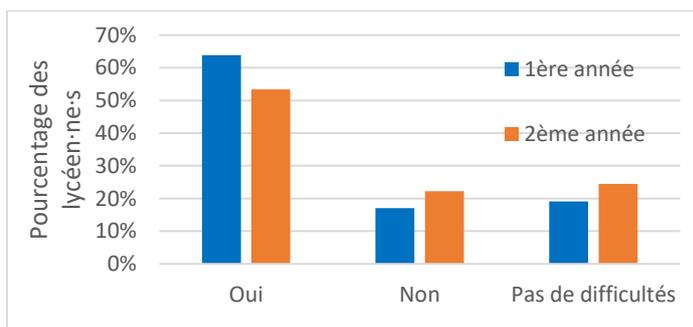


Figure 17. Les élèves ont-ils-elles persévéré s'ils rencontraient des difficultés ? n=92. Tiré de Gomes (2022) p. 13

La majorité des élèves ont fait preuve de persévérance s'ils rencontraient des difficultés.

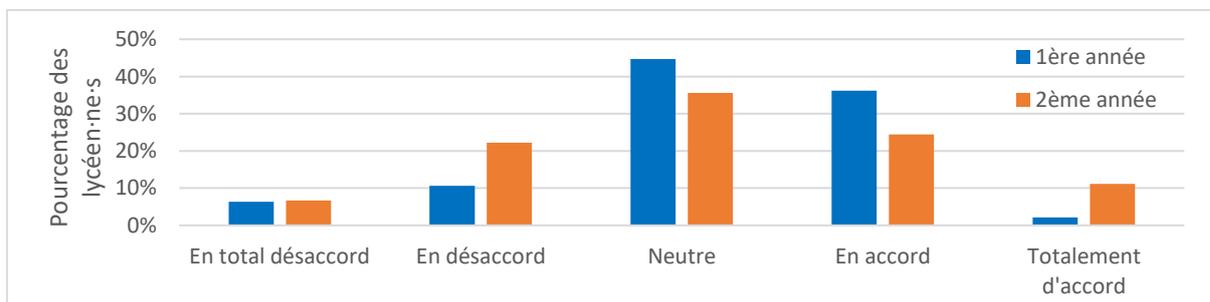


Figure 18. Le travail fait en classe motivait-il davantage les élèves à en apprendre davantage ? n=92. Tiré de Gomes (2022) p. 12

Cette activité ne paraît pas motiver clairement les élèves à en apprendre davantage.

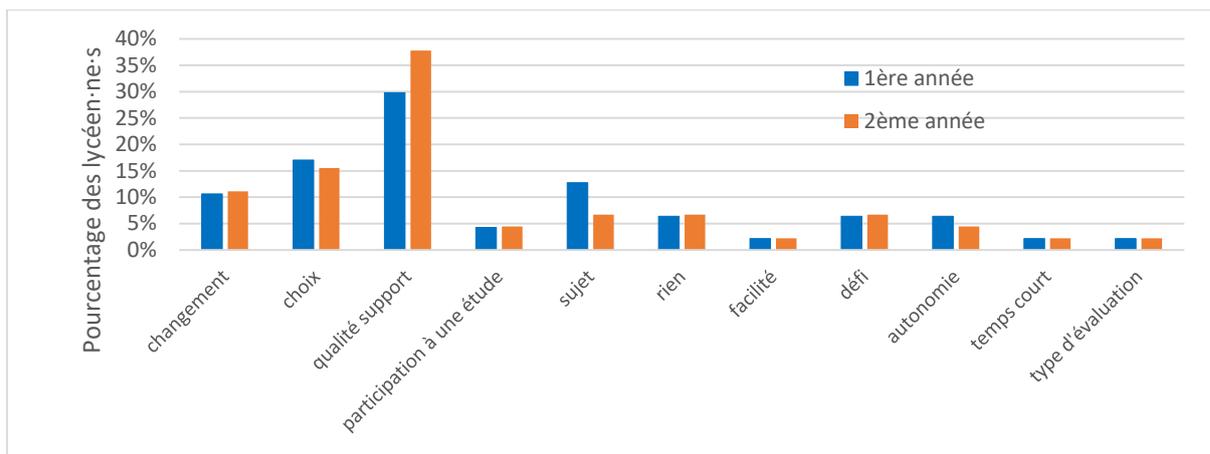


Figure 19. Qu'est-ce qui était le plus motivant dans cette activité ? n=92. Éléments regroupés par thématiques, Tiré de Gomes (2022) p. 13.

Les éléments considérés comme les plus motivants sont la qualité du support, le fait d'avoir le choix et le changement apporté par rapport aux contenus présentés de manière plus habituelle.

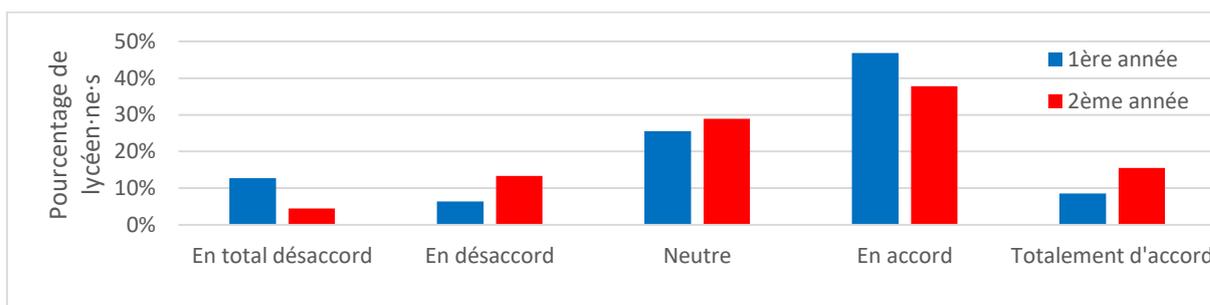


Figure 20. Voudriez-vous d'autres cours qui soient construits de manière similaire ? n=92. Tiré de Gomes (2022) p. 16.

La majorité des élèves semblent préconiser le fait d'avoir d'autres cours construits de cette manière.

5.3. Adaptation du fond. Génétique

5.3.1. Comparaison adaptatif-non adaptatif

Pour éviter certains biais, les données de trois classes (205, 206, 207) ont été exclues de cette analyse (voir méthodologie).

Independent Samples T-Test

	t	df	p
remediation 2min [min.]	-9.320	65	< .001 ^a
remediation 2min [n]	-10.002	65	< .001 ^a
remediation 5min [min.]	-8.825	65	< .001 ^a
remediation 5min [n]	-9.987	65	< .001 ^a
evaluation [%]	-0.086	65	0.932 ^a
evaluation [sec]	1.295	65	0.200
correction [sec]	1.324	65	0.190
total 2min [min.]	-2.862	65	0.006
total 2min [n]	-1.347	65	0.183
total 5min [min.]	-2.504	65	0.015
total 5min [n]	-1.381	65	0.172
total 2min sans rem [min.]	-0.392	65	0.696 ^a
total 2min sans rem [n]	1.539	65	0.129 ^a
total 5min sans rem [min.]	-0.117	65	0.907
total 5min sans rem [n]	1.578	65	0.120 ^a
ratio rem/total 2min [% min.]	-11.284	65	< .001 ^a
ratio rem/total 2min [% n]	-16.775	65	< .001
ratio rem/total 5min [% min.]	-10.337	65	< .001 ^a
ratio rem/total 5min [% n]	-16.776	65	< .001
ratio eva[%]/total 2min[min]	2.056	65	0.044
ratio eva[sec]/total 2min[min]	3.110	65	0.003
ratio eva%/total2minsansrem	0.791	65	0.432

Note. Student's t-test.

^a Levene's test is significant (p < .05), suggesting a violation of the equal variance assumption

Group Descriptives

	Group	N	Mean	SD	SE
remediation 2min [min.]	ad	36	0.268	0.412	0.069
	na	31	3.081	1.758	0.316
remediation 2min [n]	ad	36	1.250	1.461	0.244
	na	31	10.194	5.134	0.922
remediation 5min [min.]	ad	36	0.268	0.412	0.069
	na	31	3.545	2.186	0.393
remediation 5min [n]	ad	36	1.250	1.461	0.244
	na	31	10.355	5.244	0.942
evaluation [%]	ad	36	56.111	13.154	2.192
	na	31	56.452	19.070	3.425
evaluation [sec]	ad	36	314.374	102.961	17.160
	na	31	280.239	112.773	20.255
correction [sec]	ad	36	66.459	54.686	9.114
	na	31	47.821	60.565	10.878
total 2min [min.]	ad	36	17.569	4.755	0.792
	na	31	20.782	4.370	0.785
total 2min [n]	ad	36	50.972	13.917	2.320
	na	31	55.452	13.163	2.364
total 5min [min.]	ad	36	18.915	5.421	0.904
	na	31	22.341	5.769	1.036
total 5min [n]	ad	36	51.500	13.826	2.304
	na	31	56.065	13.084	2.350
total 2min sans rem [min.]	ad	36	17.301	4.677	0.780
	na	31	17.701	3.471	0.623
total 2min sans rem [n]	ad	36	49.722	13.681	2.280
	na	31	45.258	9.227	1.657
total 5min sans rem [min.]	ad	36	18.647	5.306	0.884
	na	31	18.795	5.016	0.901
total 5min sans rem [n]	ad	36	50.250	13.582	2.264
	na	31	45.710	9.148	1.643
ratio rem/total 2min [% min.]	ad	36	1.491	2.030	0.338
	na	31	14.389	6.507	1.169
ratio rem/total 2min [% n]	ad	36	2.414	2.891	0.482
	na	31	17.841	4.558	0.819
ratio rem/total 5min [% min.]	ad	36	1.378	1.780	0.297
	na	31	15.641	8.063	1.448
ratio rem/total 5min [% n]	ad	36	2.385	2.866	0.478
	na	31	17.952	4.636	0.833
ratio eva[%]/total 2min[min]	ad	36	3.538	1.615	0.269
	na	31	2.834	1.092	0.196
ratio eva[sec]/total 2min[min]	ad	36	19.026	7.770	1.295
	na	31	13.861	5.398	0.970
ratio eva%/total2minsansrem	ad	36	3.587	1.621	0.270
	na	31	3.305	1.236	0.222

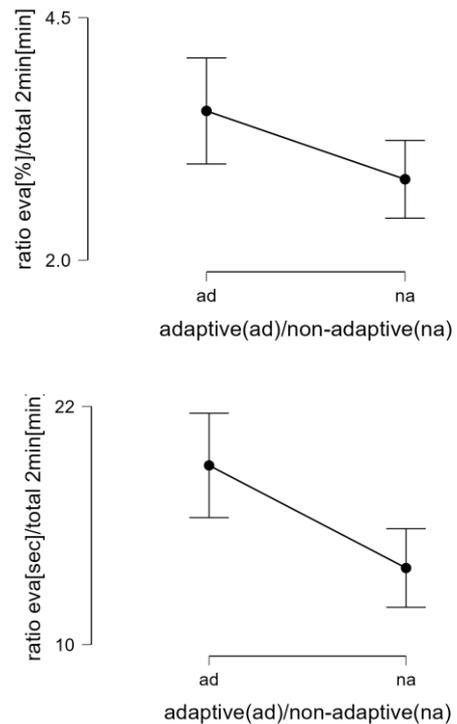


Figure 21. Quelle est la plus-value des parcours personnalisés (adaptatif) ? ad=adaptatif ; na=non adaptatif. n=67. Pour la signification des variables, voir l'annexe 10.10.

Le « ratio evaluation [%]/total 2 min [min] » est significatif ($p=0.044$).

Il semble que les élèves auxquels on a appliqué le système adaptatif ont mieux optimisé leur temps, car ils obtiennent un meilleur résultat à l'évaluation pour un temps passé sur le dispositif qui est assez identique.

Le « ratio evaluation [sec]/total 2 min [min] » est également significatif ($p=0.003$).

Les élèves auxquels on a appliqué le système adaptatif passent plus de temps sur l'évaluation, mais moins de temps dans l'apprentissage.

Pour les élèves en situation normale (non adaptatif), il est évident qu'ils·elles passent davantage de temps sur le dispositif d'apprentissage, car ils·elles ont les remédiations d'office.

Pour une durée d'apprentissage identique, les élèves auxquels on a appliqué le système adaptatif passent plus de temps sur l'évaluation et obtiennent globalement un meilleur résultat.

La corrélation est positive et significative entre le temps passé sur l'évaluation et le résultat obtenu (Figure 22). On pourrait en conclure que le temps passé dans l'évaluation a plus d'influence sur le résultat obtenu à celle-ci que le temps passé durant la phase d'apprentissage. Mais cette comparaison est peu pertinente, car le temps passé sur l'évaluation est bien plus court que celui passé sur le dispositif d'apprentissage.

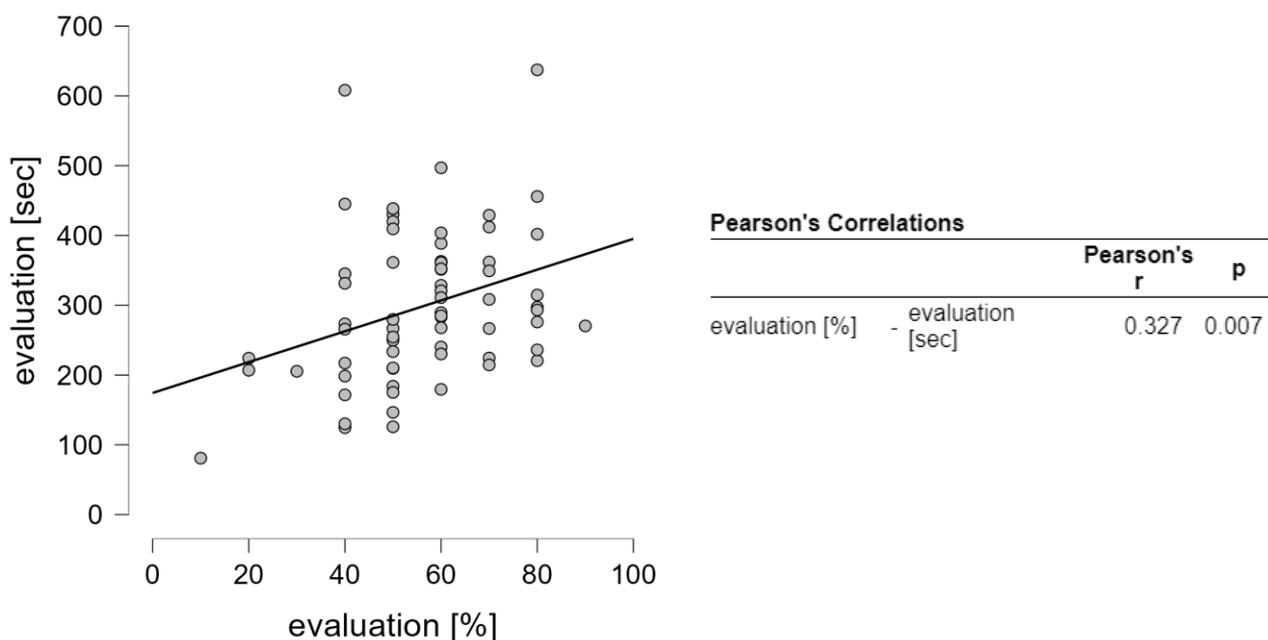


Figure 22. Le temps passé sur l'évaluation est-il corrélé avec la réussite à l'évaluation ? $n=67$. Corrélation significative au seuil de 0,05.

5.3.2. Relation entre le temps passé sur les questions et les réponses

Deux classes (205 et 206) ont été exclues de cette statistique pour éviter certains biais (voir également méthodologie).

Les données ont été regroupées en deux catégories pour les tests statistiques à l'aide du test T de Student : point=0 : réponse erronée au quizz ou point=1 : réponse exacte au quizz.

Independent Samples T-Test

	t	df	p
class	0.037	843	0.971
question durée	2.386	843	0.017 ^a
question nbr	2.958	843	0.003 ^a
réponse durée	3.949	478	< .001 ^a
réponse nbr	1.222	478	0.222
remédiation 2min [min.]	-0.627	167	0.531
remédiation 2min [n]	-0.866	167	0.387
remédiation 5min [min.]	-0.627	167	0.531
remédiation 5min [n]	-0.866	167	0.387
total 2min [min.]	-0.225	836	0.822
total 2min [n]	-0.594	843	0.553
total 5min [min.]	0.745	843	0.456 ^a
total 5min [n]	-0.368	843	0.713
total 2min avec rem [min.]	-2.617	843	0.009 ^a
total 2min avec rem [n]	-3.709	843	< .001 ^a
total 5min avec rem [min.]	-1.555	843	0.120
total 5min avec rem [n]	-3.608	843	< .001 ^a
ratio rem/total avec rem 2min [% min.]	-1.234	167	0.219
ratio rem/total avec rem 2min [% n]	-1.237	167	0.218 ^a
ratio rem/total avec rem 5min [% min.]	-1.015	167	0.312 ^a
ratio rem/total avec rem 5min [% n]	-1.185	167	0.238 ^a

Note. Student's t-test.

^a Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the equal variance assumption

Group Descriptives

	Group	N	Mean	SD	SE
class	0	345	204.893	3.490	0.188
	1	500	204.884	3.336	0.149
question durée	0	345	32.148	27.183	1.463
	1	500	28.282	19.904	0.890
question nbr	0	345	2.545	1.028	0.055
	1	500	2.366	0.730	0.033
réponse durée	0	196	13.946	17.637	1.260
	1	284	8.032	15.000	0.890
réponse nbr	0	196	1.551	0.873	0.062
	1	284	1.458	0.785	0.047
remédiation 2min [min.]	0	39	0.522	0.663	0.106
	1	130	0.591	0.591	0.052
remédiation 2min [n]	0	39	1.923	2.070	0.331
	1	130	2.300	2.467	0.216
remédiation 5min [min.]	0	39	0.522	0.663	0.106
	1	130	0.591	0.591	0.052
remédiation 5min [n]	0	39	1.923	2.070	0.331
	1	130	2.300	2.467	0.216
total 2min [min.]	0	341	0.671	0.438	0.024
	1	497	0.677	0.390	0.018
total 2min [n]	0	345	1.229	0.675	0.036
	1	500	1.258	0.713	0.032
total 5min [min.]	0	345	0.727	0.549	0.030
	1	500	0.702	0.431	0.019
total 5min [n]	0	345	1.252	0.667	0.036
	1	500	1.270	0.709	0.032
total 2min avec rem [min.]	0	345	0.722	0.545	0.029
	1	500	0.827	0.592	0.026
total 2min avec rem [n]	0	345	1.446	1.138	0.061
	1	500	1.856	1.820	0.081
total 5min avec rem [min.]	0	345	0.786	0.630	0.034
	1	500	0.856	0.646	0.029
total 5min avec rem [n]	0	345	1.470	1.128	0.061
	1	500	1.868	1.825	0.082
ratio rem/total avec rem 2min [% min.]	0	39	28.671	29.563	4.734
	1	130	34.864	26.849	2.355
ratio rem/total avec rem 2min [% n]	0	39	40.369	36.601	5.861
	1	130	47.873	32.170	2.821
ratio rem/total avec rem 5min [% min.]	0	39	28.671	29.563	4.734
	1	130	33.526	25.137	2.205
ratio rem/total avec rem 5min [% n]	0	39	40.369	36.601	5.861
	1	130	47.538	32.037	2.810

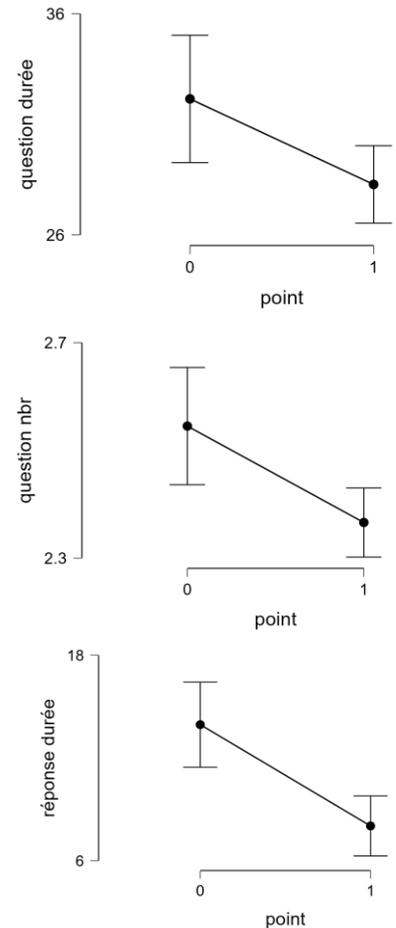


Figure 23. Quelle est la relation entre le temps passé sur une question et sa réponse ? $n=845$. Significatif au seuil de 0.05. point=0 : réponse erronée ou point=1 : réponse exacte. Pour les explications sur les variables, voir annexe 10.10.

On obtient un test significatif pour les variables suivantes :

- question durée $p=0.017$: temps passé pour répondre à la question
- question nbr $p=0.003$: nombre de fois ou la question est affichée
- réponse durée : $p<0.001$: temps passé à visionner la réponse (correction)

On peut en déduire que plus l'élève passe de temps sur la question et plus la réponse est fautive et plus il-elle passe de temps à visionner la correction.

Ceci est positif dans le sens où l'élève montre une certaine volonté d'apprendre de ses erreurs.

Concernant les variables de temps ou de nombre, on obtient des résultats significatifs pour :

- total 2 min avec rem [min.] $p=0.009$
- total 2 min avec rem [n] $p<0,001$
- total 5 min avec rem [min.] $p<0.001$

Ainsi, plus l'élève passe de temps sur le contenu et plus la réponse est correcte. C'est encore plus significatif avec le nombre de fois ou le contenu est visionné (total 2 min avec rem [n] $p<0.001$).

5.3.3. Importance de l'enjeu

Toutes les classes ont été considérées dans cette analyse. Dans une classe, le résultat de l'évaluation finale a été annoncé comme comptant dans la moyenne annuelle de la discipline. Les données obtenues dans cette dernière ont été comparées avec toutes les autres.

À noter que l'on obtient des résultats analogues lorsqu'on exclut les deux classes (205 et 207 : voir méthodologie) de l'analyse.

Un test t pour échantillons indépendants a été effectué en utilisant « enjeu » comme facteur et un test ANOVA afin de déterminer s'il y a une différence entre les classes.

Independent Samples T-Test

	t	df	p
question durée	-11.589	1164	< .001 ^a
question nbr	-9.413	1164	< .001 ^a
réponse durée	-2.212	643	0.027
réponse nbr	-2.664	643	0.008 ^a
remédiation 2min [min.]	-7.167	239	< .001 ^a
remédiation 2min [n]	-5.082	239	< .001 ^a
remédiation 5min [min.]	-7.167	239	< .001 ^a
remédiation 5min [n]	-5.082	239	< .001 ^a
total 2min [min.]	-11.429	1148	< .001 ^a
total 2min [n]	-10.396	1164	< .001 ^a
total 5min [min.]	-13.213	1164	< .001 ^a
total 5min [n]	-11.732	1164	< .001 ^a
total 2min avec rem [min.]	-10.447	1164	< .001 ^a
total 2min avec rem [n]	-7.731	1164	< .001 ^a
total 5min avec rem [min.]	-12.534	1164	< .001 ^a
total 5min avec rem [n]	-8.283	1164	< .001 ^a
ratio rem/total avec rem 2min [% min.]	-2.960	239	0.003
ratio rem/total avec rem 2min [% n]	-1.998	239	0.047
ratio rem/total avec rem 5min [% min.]	-2.270	239	0.024
ratio rem/total avec rem 5min [% n]	-1.796	239	0.074
point	-3.345	1164	< .001 ^a

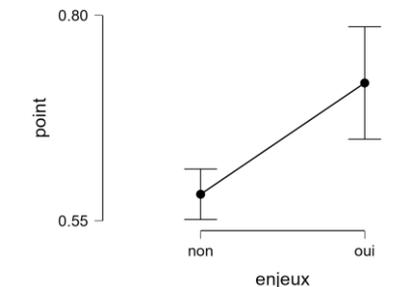
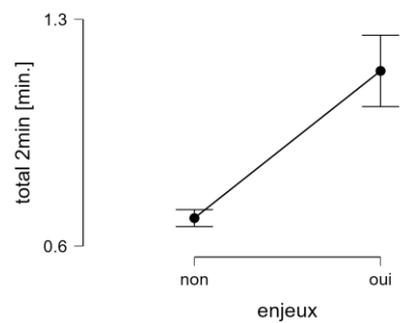
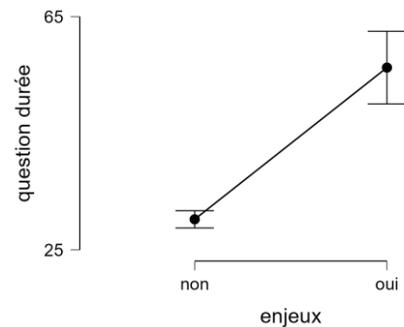
Note. Student's t-test.

Independent Samples T-Test

^a Levene's test is significant ($p < .05$), suggesting a violation of the equal variance assumption

Group Descriptives

	Group	N	Mean	SD	SE
question durée	non	996	30.240	23.851	0.756
	oui	170	56.255	41.119	3.154
question nbr	non	996	2.490	0.923	0.029
	oui	170	3.388	2.024	0.155
réponse durée	non	563	10.931	16.791	0.708
	oui	82	15.353	17.720	1.957
réponse nbr	non	563	1.481	0.799	0.034
	oui	82	1.756	1.272	0.141
remédiation 2min [min.]	non	207	0.560	0.633	0.044
	oui	34	1.535	1.187	0.204
remédiation 2min [n]	non	207	2.208	2.508	0.174
	oui	34	4.794	3.937	0.675
remédiation 5min [min.]	non	207	0.560	0.633	0.044
	oui	34	1.535	1.187	0.204
remédiation 5min [n]	non	207	2.208	2.508	0.174
	oui	34	4.794	3.937	0.675
total 2min [min.]	non	987	0.687	0.417	0.013
	oui	163	1.141	0.713	0.056
total 2min [n]	non	996	1.254	0.691	0.022
	oui	170	1.982	1.449	0.111
total 5min [min.]	non	996	0.721	0.481	0.015
	oui	170	1.359	0.984	0.075
total 5min [n]	non	996	1.270	0.683	0.022
	oui	170	2.088	1.455	0.112
total 2min avec rem [min.]	non	996	0.797	0.585	0.019
	oui	170	1.401	1.152	0.088
total 2min avec rem [n]	non	996	1.713	1.635	0.052
	oui	170	2.941	3.084	0.237
total 5min avec rem [min.]	non	996	0.838	0.650	0.021
	oui	170	1.666	1.371	0.105
total 5min avec rem [n]	non	996	1.729	1.638	0.052
	oui	170	3.047	3.086	0.237
ratio rem/total avec rem 2min [% min.]	non	207	32.161	27.743	1.928
	oui	34	47.645	31.341	5.375
ratio rem/total avec rem 2min [% n]	non	207	44.812	33.907	2.357
	oui	34	57.395	34.759	5.961
ratio rem/total avec rem 5min [% min.]	non	207	31.122	26.278	1.826
	oui	34	42.205	27.051	4.639
ratio rem/total avec rem 5min [% n]	non	207	44.553	33.737	2.345
	oui	34	55.756	33.545	5.753
point	non	996	0.582	0.493	0.016
	oui	170	0.718	0.451	0.035



ANOVA - total 2min [min.]

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
class	30.875	6	5.146	23.378	< .001
Residuals	251.585	1143	0.220		

Note. Type III Sum of Squares

Descriptives - total 2min [min.]

class	Mean	SD	N
201	0.699	0.401	129
202	0.642	0.334	190
204	0.703	0.528	199
205	1.141	0.713	163
206	0.755	0.448	149
207	0.624	0.294	180
211	0.721	0.443	140

Figure 24. quelle est l'influence de l'enjeu sur la réalisation du dispositif d'apprentissage ? Pour la signification des variables, voir l'annexe 10.10. $n=1166$.

On observe que presque tous les résultats sont hautement significatifs.

L'enjeu a donc un effet positif important sur le temps passé sur les contenus, le nombre de contenus visionnés, le temps passé sur les questions d'évaluation et également sur les résultats de l'évaluation.

Malgré le manque de certaines notions dans une classe (205 ; avec enjeu) et le fait qu'une autre possède des connaissances préexistantes (207, voir également dans la partie méthodologie), il y a des différences significatives. L'enjeu l'emporte sur le fait d'avoir des notions préexistantes.

6. Discussion

Notre première question de recherche était « En quoi l'apprentissage adaptatif permet-il à l'élève d'améliorer son efficacité dans ses tâches d'apprentissage ? » et son hypothèse liée la suivante : « l'apprentissage adaptatif amène des informations qui permettent à l'élève d'améliorer son efficacité dans ses tâches d'apprentissage ».

Nos résultats permettent de répondre à cette question et d'affirmer l'hypothèse ci-dessus. En particulier ils montrent que, l'application web de faunistique est beaucoup utilisée. Celle-ci prépare bien à l'évaluation qui est réalisée à l'aide de ce même outil. L'application d'un algorithme qui biaise le tirage en faveur des images sur lesquelles l'élève se trompe davantage permet à ce dernier d'optimiser son temps de travail pour obtenir un bon résultat à l'évaluation finale (Figures 3 à 7). On constate également que l'application web de faunistique dont l'utilisation peut se faire en tout temps est privilégiée « à la dernière minute » avant l'évaluation. Peu nombreux sont les élèves qui anticipent véritablement.

Dans le cas de l'adaptation de la forme, il est certainement favorable de présenter les contenus sous différentes déclinaisons (audio, vidéo et texte) ce qui permet de répondre, dans une certaine mesure, aux besoins différenciés des élèves. On voit en outre que la forme audio a très peu de succès dans ce cadre-là (Figure 8). Par contre, le fait de suggérer un type de forme s'avère ici contre-productif pour l'apprentissage (Figure 12). Cela peut en effet contrarier des habitudes prises en lien avec des manières différentes d'acquérir des contenus. Certains élèves préférant lire, d'autres au contraire regarder des vidéos par exemple. Une suggestion du type de contenu pourrait avoir du sens dans la répétition de l'utilisation de ce type de dispositifs avec les mêmes élèves. Les feedback réguliers donnés en fonction des traces d'apprentissage laissées pourraient permettre de suggérer à plus long terme des formes de contenus à privilégier pour un-e élève donné-e.

Dans le cas de l'adaptation du fond, la personnalisation des parcours d'apprentissage montre de claires plus-values en termes de temps passé et de résultats obtenus (Figure 21). Nos résultats convergent avec les éléments mentionnés par Paigneau (2022) qui parle de « l'amélioration des résultats des apprenants par la méthode adaptative » (p. 18).

On peut noter que nos dispositifs possédaient différents degrés d'adaptativité. L'adaptation du fond pour personnaliser les parcours d'apprentissage (exemple de la génétique ci-dessus) semble la plus prometteuse, mais aussi la plus complexe à créer du point de vue technique.

Il convient de souligner enfin qu'une des limites de nos dispositifs d'apprentissage consiste en le fait qu'ils soient tous centrés sur certaines connaissances ponctuelles du plan d'études-cadres de la maturité (CDIP, 1994) à acquérir. Ils ne permettaient pas véritablement de travailler des savoir-faire, des attitudes (au sens du PEC maturités [CDIP, 1994]), ni des compétences (au sens de Klieme & Hartig, 2007 ou Pellaud & al., 2021). C'est pourquoi une

piste à poursuivre serait de créer des dispositifs permettant de travailler des compétences chez les élèves. En effet, dans d'autres contextes, l'utilisation d'environnements adaptatifs d'apprentissage semble particulièrement indiquée pour développer des compétences (Fournier & al., 2019).

Notre deuxième question de recherche était « en quoi l'apprentissage adaptatif peut-il améliorer le bien-être des élèves ? » et son hypothèse liée la suivante : « l'apprentissage adaptatif améliore le bien-être des élèves ».

C'est dans son travail réalisé en 2022 que Gomes, sur la base du document cité ci-dessus, a choisi certains indicateurs qu'il a investigués.

Nos résultats montrent tout d'abord que l'application web de faunistique qui permet notamment une utilisation souple avec des outils numériques mobiles (Figure 1) est fortement plébiscitée. Elle amène une certaine souplesse dans l'apprentissage et constitue de ce fait un « exerciceur » (voir Tricot, 2020 p. 29) apprécié.

Les réponses au questionnaire (Figure 13 à 20) montrent, quant à eux, que les élèves ont globalement apprécié le dispositif avec adaptation de la forme, mais sans que celui-ci fasse une totale unanimité.

En lien avec certains indicateurs du bien-être, on peut voir que les élèves ont apprécié de pouvoir choisir leur manière d'apprendre, même s'ils ne se sont pas tous et toutes senti·e·s compétent·e·s. Le fait de pouvoir choisir la manière d'apprendre rend l'élève davantage acteur ou actrice de son apprentissage et a donc un effet sur la motivation (Viau, 2009). Dans le dispositif créé, cela lui amenait également une forme d'autonomie qui est mentionnée comme un des avantages de l'apprentissage adaptatif (Paigneau, 2022).

Les élèves ne pouvaient passer qu'un temps déterminé sur notre support, ce qui a pu créer parfois une situation de stress malvenue chez certain·e·s élèves, même si, finalement, l'ensemble d'entre eux·elles terminent la tâche avant le temps imparti (voir Gomes, 2022). Ici, nous avons ajouté une contrainte de temps à cause du cadre de la leçon dans lequel nous avons fait passer le dispositif d'adaptation de la forme. Dans ce cas, nous n'avons donc pas bénéficié d'un autre avantage attribué généralement à l'apprentissage adaptatif qui est précisément sa souplesse relativement à l'hétérogénéité des temps d'apprentissage (Paigneau, 2022).

Les élèves ont également apprécié le fait que ce dispositif présentait du changement par rapport aux autres cours ainsi que la qualité du support. Cela indique la nécessité d'une alternance dans la manière de présenter les contenus ainsi que celle d'en soigner leur présentation.

Il faut noter que ces indicateurs du bien-être sont partiels et qu'ils n'abordent pas tous les aspects liés à cette notion. Notre appréciation du bien-être des élèves dans l'utilisation de nos dispositifs est donc incomplète.

Notre recherche nous a également permis de mettre en évidence des éléments plus généraux sur l'apprentissage qui ne sont pas directement liés à nos questions de départ : Tout d'abord, nos résultats montrent clairement que le temps passé sur les ressources numériques quelles qu'elles soient et la manière de les utiliser (prise de connaissance des corrections) a un impact important sur l'apprentissage (Figures 3, 4, 9, 22, 23). Ces éléments mettent bien en évidence qu'il faut s'engager dans la tâche pour que l'apprentissage ait lieu (voir Dehaene, 2018 : l'engagement actif comme l'un des quatre piliers de l'apprentissage). La prise de connaissance des corrections constitue également une forme de retour sur erreur également nécessaire à l'apprentissage (voir également Dehaene, 2018 : le retour sur erreur comme un pilier de l'apprentissage).

Les dispositifs d'apprentissage à l'aide du numérique, s'ils sont bien conçus, peuvent renforcer l'engagement et donner un retour d'information.

Il est à noter encore qu'une forte motivation intrinsèque (Viau, 2009), telle qu'elle se manifeste chez des élèves qui apprennent une langue étrangère en immersion se révèle très profitable en termes d'apprentissage (Figure 10).

Ensuite, on a pu mettre clairement en évidence que l'enjeu de savoir si une évaluation compte également pour la moyenne annuelle de la discipline est, qu'on le veuille ou non, une source de motivation importante (Viau, 2009) qui conditionne l'utilisation des ressources mises à disposition (Tableau 1 et Figure 24). Cette utilisation est clairement plus approfondie lorsque l'évaluation est annoncée comme étant prise en compte.

Cette étude nous a donc permis de créer des dispositifs d'apprentissage originaux en testant différents éléments d'adaptativité des contenus. Elle nous a fait plonger au cœur des apprentissages des élèves et a provoqué beaucoup de questionnements sur ceux-ci. Ceci nous inspire bien naturellement des pistes pour de futures recherches.

7. Conclusions

Les outils numériques utilisés dans le contexte de cette recherche amènent une véritable plus-value en termes d'apprentissage. L'aspect central est la possibilité de personnaliser les apprentissages et donc de mieux correspondre aux différents besoins des apprenant-e-s. L'élaboration de dispositifs d'apprentissage de ce type est complexe, nécessite du temps et des compétences spécifiques chez l'enseignant-e.

Il faut noter que nos dispositifs ciblaient l'apprentissage de peu de notions (connaissances) et ne couvraient donc qu'une petite partie de l'enseignement de la discipline. Cela constituerait un important challenge que de pouvoir créer des dispositifs d'apprentissage en ligne personnalisés visant à développer des compétences.

D'une manière générale, il est précieux de pouvoir concevoir des dispositifs sans l'aide d'application tierce, car on garde ainsi la main sur les données récoltées. On peut ensuite les utiliser au service des apprentissages des apprenant-e-s.

Dans notre cas, une évolution souhaitable serait de développer davantage le retour donné aux apprenant-e-s quant à leur utilisation des dispositifs. On renforcerait ainsi l'apprentissage adaptatif et également la réflexivité sur l'apprentissage.

Il serait vraiment souhaitable que des dispositifs d'apprentissage de ce type puissent se partager largement et qu'ils puissent être repris et adaptés par tout un chacun dans son propre contexte. Ceci permettrait également d'investiguer l'intérêt et les limites de ces dispositifs dans un contexte plus large que celui de notre étude qui s'est concentré sur le cas particulier d'une école et d'une discipline d'enseignement.

Au niveau du bien-être des élèves lors de l'utilisation des dispositifs d'apprentissage adaptatif, il conviendrait d'investiguer les choses plus profondément sous un angle plus large en intégrant des éléments de santé (temps passé sur les écrans...) et d'impact sur l'environnement (consommation d'énergie des outils numériques, coûts de fabrication des machines...).

Au terme de cette étude, nous nous permettons de formuler des recommandations qui figurent dans un chapitre dédié au début de ce travail.

8. Productions

8.1. Communications scientifiques

12/11/2021 Monnerat, P., & Blandenier, G. Utilisation d'une application mobile : effets d'un algorithme sur la durée d'apprentissage. 4^e colloque Auptic, Louvain, à distance.

08/02/2023 Monnerat, P. & Blandenier, G. Cheminement dans l'apprentissage de la biologie. *Après-midi de la recherche*, HEP-BEJUNE.

8.2. Communications dans d'autres contextes

6/11/2019 Monnerat, P., & Blandenier, G. Projet de recherche « Apprentissage adaptatif ». Direction du Lycée cantonal de Porrentruy.

30/09/2020 Monnerat, P. Projet de recherche « Apprentissage adaptatif ». Réunion de l'équipe de recherche du domaine MSN

24/03/2021 Blandenier, G. Les enseignants chargés de recherche, un exemple dans le cadre du projet « apprentissage adaptatif ». Groupe de personnes auditées dans le cadre de l'accréditation institutionnelle.

8.3. Interventions en formation initiale

2021/2022/2023 Monnerat, P. Apprentissage individuel en biologie grâce à une application mobile (pour l'apprentissage de la faunistique) et découplage de l'espace-temps. Apprentissage adaptatif. Séminaire de didactique de la biologie pour le secondaire 2.

8.4. Perspectives

Dans la perspective de prolongations de cette étude et de ses retombées pour la communauté éducative, les éléments suivants sont envisagés :

- Le prolongement de l'utilisation, en classe, des dispositifs d'apprentissage créés ainsi que, le cas échéant, leur amélioration ;
- L'élaboration d'autres dispositifs d'apprentissage du même type ;
- La poursuite des interventions de P. Monnerat en formation initiale (secondaire 2) à la HEP-BEJUNE pour présenter les dispositifs d'apprentissage créés ainsi que les principaux résultats de notre étude ;
- La présentation éventuelle des dispositifs dans un contexte de formation continue, en particulier en lien avec l'utilisation des outils numériques ;
- La prospection pour voir dans quelle mesure le système permettant la création de dispositifs d'apprentissage du type de ceux étudiés pourrait être mis à disposition de la communauté éducative ;
- La réalisation d'un article scientifique présentant les résultats saillants de notre étude.

9. Bibliographie

Artigue, M. (1990). Ingénierie didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 281-307.

Barquero, B. & Bosch, M. (2015). Didactic Engineering as a Research Methodology: From Fundamental Situations to Study and Research Paths. In: Watson, A., Ohtani, M. (eds) *Task Design In Mathematics Education*. New ICMI Study Series. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-09629-2_8

- Brown, M. (2011). Learning Analytics: The Coming Third Wave. *EDUCAUSE Learning Initiative Brief*. (2011).
- Brusilovsky, P. (1996). Methods and techniques of adaptive hypermedia. *User modeling and user adapted interaction*, 6(2-3), 87-129.
- Brusilovsky, P. & Peylo, C. (2003). Adaptive and intelligent web-based educational systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED)*, 13, 159-172.
- CDIP (1994). *Plan d'étude-cadre pour les écoles de maturité*.
- CIIP (2010). *Plan d'études romand PER*.
- Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines*. Odile Jacob.
- Fontaine, G., Cossette, S., Maheu-Cadotte, M.-A., Mailhot, T., Deschênes, M. -F., Mathieu-Dupuis, G., Côté, J., Gagnon, M.-P. & Dubé, V. (2019). Efficacy of adaptive e-learning for health professionals and students: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2019;9:e025252. doi:10.1136/bmjopen-2018-025252.
- Gomes, S. (2022). *Impact de l'apprentissage adaptatif sur le bien-être des lycéen-ne-s*. [Travail écrit de recherche, non publié]. HEP-BEJUNE.
- Haag, P. (2017). Bien-être et motivation à l'école : deux ingrédients de l'adaptation scolaire. *La Revue de Santé Scolaire et Universitaire*, 8, 9-12.
- Klieme, E. & Hartig, J. (2007). Kompetenzkonzepte in den Sozialwissenschaften und im erziehungswissenschaftlichen Diskurs. In: M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (éd.), Kompetenzdiagnostik [numéro spécial 8]. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 10, 11–29.
- Martin, R. M. & Carro, E. (2009). Supporting the development of mobile adaptive learning environments: A case study. *Ieee Transactions in Learning Technologies*, 2(1), 23-36.
- Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). (2018). *Comment va la vie ? Mesurer le bien-être*. PISA, Éditions OCDE, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264288850-fr>.
- Paigneau, A. (2022). L'apprentissage adaptative : Réflexion de la Fondation l'IA pour l'École – Institut de France. *Série du bureau international d'éducation de l'Unesco : problèmes actuels et critiques dans le curriculum, l'enseignement, l'apprentissage et l'évaluation*, 50. Repéré à : <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381780>.
- Paramythis, A. & Loidl-Reisinger, S. (2004). Adaptive learning environments and e-learning standards. *Electronic Journal on e-Learning*, 2(1), 181-194.
- Pellaud, F., Shankland, R., Blandenier, G., Dubois, L., Gey, N., Massiot, P., & Gay, P. (2021). The Competencies That School-Leavers Should Possess in Order to Meet the Challenges of the 21st Century. *Frontiers in Education*, 6, 1-12. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.660169>.
- Perraya, D. (2021). Learning analytics. In E. Runtz-Christan & P.-F. Coen (Dir.). *Collection des concepts-clés de la formation des enseignantes et enseignants en Suisse romande et au Tessin* (pp. 175-178). LEP.
- Tricot, A. (2020). *Quelles fonctions pédagogiques bénéficient des apports du numérique ?* Centre national d'étude des systèmes scolaires. Cnesco.
- Van der Maren, J.-M. (2003). *La recherche appliquée en pédagogie. Des modèles pour l'enseignement*. De Boeck Supérieur.
- Viau, R. (2009). *La motivation en contexte scolaire*. De Boeck.

Youssef, E. & Audran, J. (2019). La personnalisation de l'apprentissage vue comme facteur effectif d'innovation pédagogique. *Spirale - Revue de recherches en éducation*, 63 (1), 157-172.

Sites web :

Apprentissage adaptatif (2018, 5 décembre) In *Wikipédia*.
https://fr.wikipedia.org/wiki/apprentissage_adaptatif

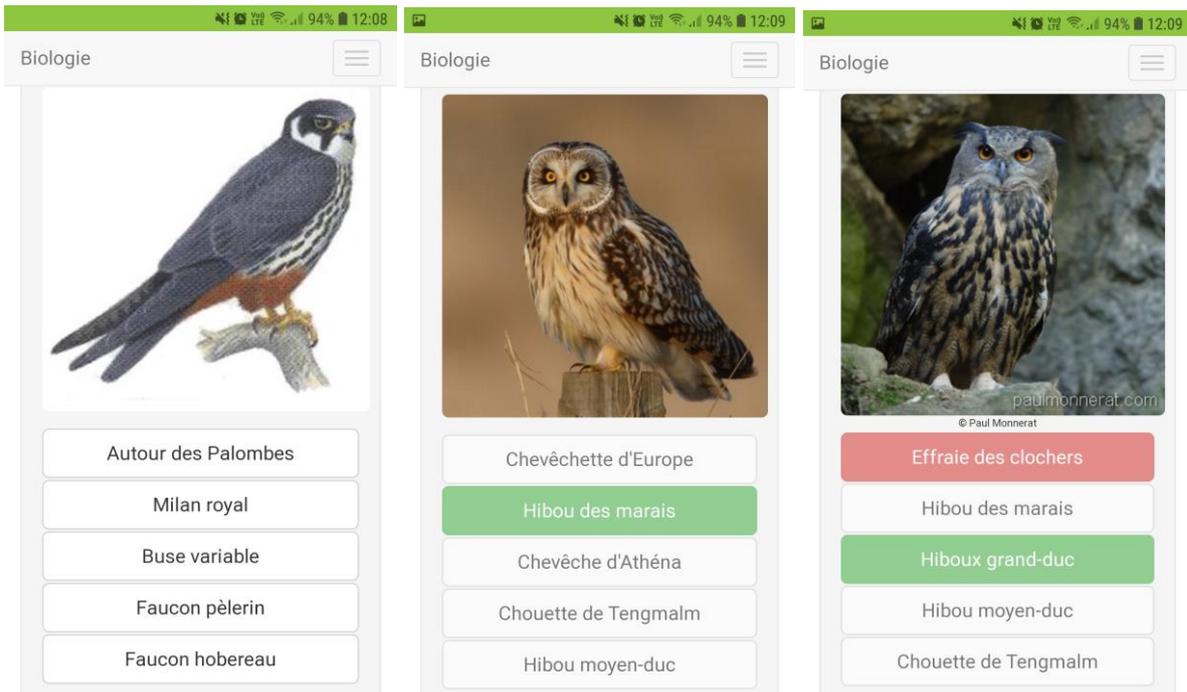
Domoscio (2018, 5 décembre). <https://domoscio.com>

Educlever (2018, 5 décembre). <https://www.educlever.com/>

Knewton (2018, 5 décembre). <https://www.knewton.com/>

10. Annexes

10.1. Application web de faunistique. Captures d'écran



10.2. Adaptation de la forme. Mitose. Conception du cours. Capture d'écran

Mitose 04:46

Terminer

Forme de cours → Texte Audio Vidéo

← Précédent Suivant → forme

Métaphase

1. Introduction notion

2. Interphase

2.1 Prophase

3. Mitose

3.1 Métaphase

3.2 Anaphase

3.3 Télophase

4. Cytodiérèse

Les chromosomes atteignent leur raccourcissement maximal et vont se positionner sur un seul plan pour former la plaque équatoriale.

Chaque chromatide est reliée à un des deux pôles par une fibre du fuseau. Cette liaison va du centromère à un pôle pour une chromatide et à l'autre pôle pour l'autre chromatide d'un même chromosome.

Chromatide : unité structurale composée d'ADN qui apparaît sous forme de chromosome durant la division cellulaire. Un chromosome pouvant être composé d'une seule ou de deux chromatides selon l'état dans lequel la cellule se situe durant le cycle cellulaire.

10.3. Adaptation de la forme. Mitose. Suggestion de la forme. Capture d'écran

Mitose 18:47 Terminer

Forme de cours → Texte Audio Vidéo

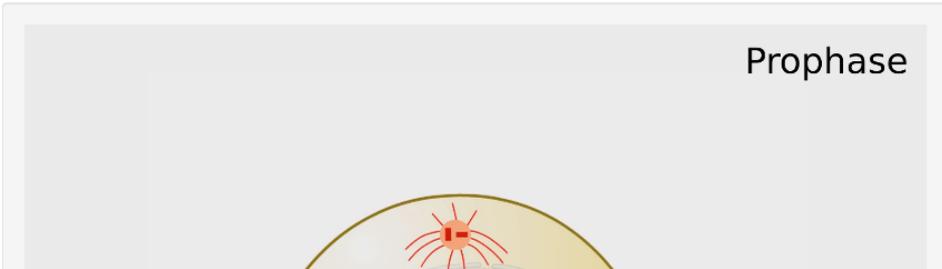
On vous suggère de visionner les contenus sous cette forme

suggestion

← Précédent Suivant →

Prophase

Prophase



10.4. Adaptation de la forme. Mitose. Evaluation. Capture d'écran

Évaluation

Test 2 - Paul Monnerat → Mitose HEP-BEJUNE

juste partiellement juste faux pas corrigé sélectionné pas sélectionné La réponse correcte est entourée en vert

Navigation Question 9 Il peut y avoir plusieurs réponses correctes Obtenu 1 point sur 1 point

1 x 2 x 3 x 4 x 5 x 6 ✓ 7 ✓ 8 ✓ 9 ✓ 10 ✓ 11 ✓ 12 x

Une chromatide devient un chromosome à part entière à :

- l'interphase
- la télophase
- la prophase
- la métaphase
- l'anaphase

10.5. Questionnaire en lien avec le bien-être des apprenant-e-s (tiré de Gomes, 2022)

Questionnaire sur votre bien-être

Bonjour à tous,

Le questionnaire ci-dessous fait suite à l'activité sur la mitose que vous venez de suivre. Il va servir à mesurer votre ressenti pendant ce cours.

Celui-ci est anonyme et n'a aucune incidence sur votre parcours au Lycée. Sentez-vous donc libre de répondre le plus honnêtement possible car il n'y a ni réponses justes, ni réponses fausses. Ceci nous aidera grandement pour l'analyse des données récoltées.

PS: Le masculin s'entend comme au féminin et n'est employé que pour faciliter la lecture du document.

***Obligatoire**

1. Entrez votre code à 4 chiffres *

2. En général, l'apprentissage de la biologie fait sens pour moi *

Une seule réponse possible.

1 2 3 4 5

En total désaccord Totalemment d'accord

3. En général, j'ai de la facilité en biologie *

Une seule réponse possible.

1 2 3 4 5

En total désaccord Totalemment d'accord

4. En général, je trouve le cours de biologie intéressant *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

5. Quelle était votre moyenne en biologie avant ce test arrondie au dixième. P. *
ex. 4,8 ?

Une seule réponse possible.

- 1-2
- 2-3
- 3-4
- 4-5
- 5-6

6. Quelle a été votre pourcentage de réussite à l'évaluation sur la mitose ? *

Une seule réponse possible.

- 0-10%
- 11-20%
- 21-30%
- 31-40%
- 41-50%
- 51-60%
- 61-70%
- 71-80%
- 81-90%

7. Mon objectif en biologie est: *

Une seule réponse possible.

- d'exceller
- d'obtenir de bons résultats
- d'obtenir la suffisance
- le cours de biologie n'a pas d'importance

8. Globalement, j'ai apprécié ce cours sur la mitose *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Neutre
- Non

9. Quels types de supports avez-vous utilisé principalement ? *

Une seule réponse possible.

- Texte
- Audio
- Vidéo

10. Dans cette tâche j'ai apprécié pouvoir choisir ma manière d'apprendre la matière *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

11. La manière de présenter la matière est intéressante *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

12. La manière de présenter la matière a facilité mon apprentissage *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

13. Dans cette dernière activité, je me suis senti capable d'atteindre les objectifs *
par moi-même

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

14. Le travail fait en classe me motivait à en apprendre davantage *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

15. Qu'est-ce qui était motivant dans cette activité ? *

16. Qu'est-ce qui n'était pas motivant dans cette tâche? *

17. Les activités proposées en classe étaient adaptées pour atteindre les objectifs donnés *

Une seule réponse possible.

1 2 3 4 5

En total désaccord Totalemment d'accord

18. Les activités proposées étaient difficiles *

Une seule réponse possible.

1 2 3 4 5

En total désaccord Totalemment d'accord

19. Si des difficultés ont été rencontrées, avez-vous persévéré dans la tâche ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non
 Pas de difficultés

20. Si vous en avez eu, quelles étaient les difficultés rencontrées ? *

21. La mitose n'a plus de secret pour moi ? *

Une seule réponse possible.

1 2 3 4 5

En total désaccord Totalemment d'accord

22. Avez-vous déjà eu des contenus de cours construits de manière similaire ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
 Non

23. Voudriez-vous avoir d'autres cours construits de manière similaire ? *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	
En total désaccord	<input type="radio"/>	Totalement d'accord				

24. Pourquoi ? *

25. Un dernier petit mot ? *

10.6. Variables utilisées dans les analyses liées au dispositif d'adaptation de la forme. Mitose

Les données appelées « EvaSeq » ont été extraites à partir des données de l'évaluation en fin de séquence d'apprentissage.

Plus précisément, chaque question d'évaluation est liée à une séquence d'apprentissage. Les données ont donc été associées à partir de chacune de ces questions.

Ce qui signifie que les données des séquences d'apprentissage auxquelles aucune question n'est liée ne figurent pas dans cette statistique.

Champs et descriptions

enjeux

Indique si le sujet a été soumis à un enjeu ou non.

suggestion

Indique s'il y a suggestion ou non.

Suggestion forme

Indique la forme de la suggestion.

id_question

Identifiant unique de la question d'évaluation.

question durée

Durée [secondes] d'affichage de la question.

question nbr

Nombre de fois où la question a été affichée.

réponse durée

Durée [secondes] d'affichage de la réponse.

réponse nbr

Nombre de fois où la réponse a été affichée.

content

Dénomination du contenu.

texte 2 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage de la forme texte de moins de 2 minutes.

texte 2 min [n]

Nombre d'affichage de la forme texte de moins de 2 minutes.

audio 2 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage de la forme audio de moins de 2 minutes.

audio 2 min [n]

Nombre d'affichage de la forme audio de moins de 2 minutes.

video 2 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage de la forme vidéo de moins de 2 minutes.

video 2 min [n]

Nombre d'affichage de la forme vidéo de moins de 2 minutes.

total 2 min [min.]

Somme totale des durées [minutes] d'affichage du contenu de moins de 2 minutes.

total 2 min [n]

Nombre total d'affichages du contenu de moins de 2 minutes.

point

Nombre de points obtenus à la question d'évaluation.

10.7. Adaptation du fond. Génétique. Structure du cours. Capture d'écran

Génétique

Terminer

type de notion

← Précédent

Suivant →

Génotype / Phénotype

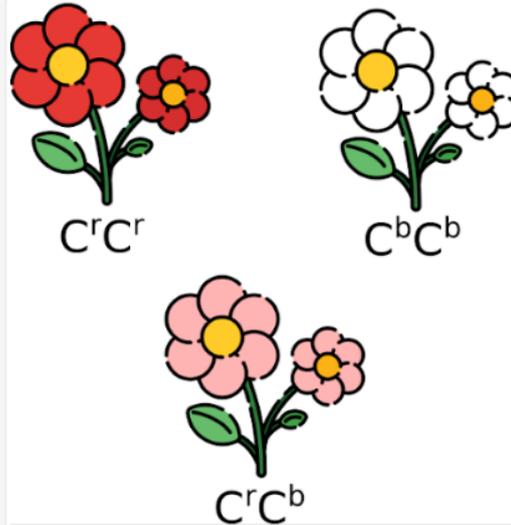
élément

Définition

Exemple

Schéma

L'ensemble des lettres C^rC^r représente le génotype de la fleur rouge.



Flours de couleurs différentes avec chacune leur propre génotype.

1. Introduction

- 1.1 Objectifs
- 1.2 Génétique classique
- 1.3 Caractère et phénotype
- 1.4 Hérité et apparence
- 1.5 Génotype et phénotype
- 1.6 Gène
- 1.7 Allèle

2. 1ère loi de Mendel

- 2.1 Expérience
- Lignée pure
- 2.2 Croisement
- 2.3 Génération

● Lignée pure

- 2.4 Loi de l'uniformité

■ Génotype / Phénotype

■ Dominant / Récessif

● Génotype / Phénotype

● Dominant / Récessif

3. 2ème loi de Mendel

- 3.1 Loi des proportions constantes

10.8. Adaptation du fond. Génétique. Structure des remédiations. Capture d'écran

Génétique

Terminer

← Précédent Suivant →

Caractère et phénotype

On appelle **caractères**, des **qualités** ou des **capacités**.

Un caractère est un **aspect** ou une **qualité** (anatomique, physiologique, moléculaire, comportemental) pouvant être analysé en génétique classique.

Pour chaque caractère, nous pouvons observer plusieurs **variantes** (grand ou petit, rouge ou blanc, vif ou calme) que l'on appelle **phénotype**.

Le **phénotype** pour un caractère donné sera **exprimé** en fonction des gènes qui ont été transmis à la descendance par les cellules sexuelles (spermatozoïde et ovocyte) des parents.

notion

élément

remédiation

question

1. Introduction

1.1 Objectifs

1.2 Génétique classique

1.3 Caractère et phénotype

1.4 Héritéité et apparence

1.5 Génotype et phénotype

1.6 Gène

1.7 Allèle

2. 1ère loi de Mendel

2.1 Expérience

2.2 Croisement

2.3 Génération

2.4 Loi de l'uniformité

Lignée pure

Génotype / Phénotype

Dominant / Récessif

10.9. Adaptation du fond. Génétique. Evaluation de fin de séquence. Capture d'écran

Évaluation

Test 2 - Polo2 Mono2 → HEP-BEJUNE - Génétique évaluation fin séquence

répondu pas répondu

Enregistrer votre réponse à chaque question !

Valider mon évaluation

1 point

Question 3 Il peut y avoir plusieurs réponses correctes

À laquelle des propositions suivantes correspond la définition d'allèle ?

Ensemble de gènes responsables d'une malformation congénitale

Variante d'un gène donné

Position d'un gène donné

Ensemble des gènes d'une cellule

Zone où se séparent les introns

Enregistrer ma réponse

10.10. Variables utilisées dans les analyses liées au dispositif adaptation du fond. Génétique

Les données appelées « EvaSeq » ont été extraites à partir des données de l'évaluation en fin de séquence d'apprentissage.

Plus précisément, chaque question d'évaluation est liée à une séquence d'apprentissage.

Les données ont donc été associées à partir de chacune de ces questions.

Ce qui signifie que les données des séquences d'apprentissage auxquelles aucune question n'est liée ne figurent pas dans cette statistique.

Champs et descriptions

remark

Remarque permettant d'indiquer un évènement particulier qui pourrait influencer les résultats.

adaptive (ad)/non-adaptive (na)

Détermine le groupe expérimental.

connaissances

Indique si le sujet a des connaissances préalables et lesquelles sur le sujet de la séquence en question.

notion homo/hetero

Indique si le sujet a eu à disposition les notions « homozygote » et « hétérozygote ».

id_user

Identifiant unique de chaque sujet.

class

Classe à laquelle le sujet appartient.

année

Année scolaire au Lycée (1re, 2e ou 3e).

enjeux

Indique si le sujet a été soumis à un enjeu ou non.

id_question

Identifiant unique de la question d'évaluation.

question durée

Durée [secondes] d'affichage de la question.

question nbr

Nombre de fois où la question a été affichée.

réponse durée

Durée [secondes] d'affichage de la réponse.

réponse nbr

Nombre de fois où la réponse a été affichée.

id_remediation

Identifiant de la remédiation (contenu de remédiation) correspondant à la question d'évaluation. Chaque question id_question=418 est liée à la remédiation id_remediation=20. De même, id_question=457 est liée id_remediation=13.

remédiation 2 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage du contenu de remédiation de moins de 2 minutes.

remédiation 2 min [n]

Nombre total d'affichages du contenu de remédiation de moins de 2 minutes.

remédiation 5 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage du contenu de remédiation de moins de 5 minutes.

remédiation 5 min [n]

Nombre total d'affichages du contenu de remédiation de moins de 5 minutes.

id_content

Identifiant du contenu correspondant à la question. Chaque question étant toujours en lien avec un contenu. Un contenu peut être lié à plusieurs questions.

content

Dénomination du contenu.

total 2 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage du contenu de moins de 2 minutes.

total 2 min [n]

Nombre total d'affichages du contenu de moins de 2 minutes.

total 5 min [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage du contenu de moins de 5 minutes.

total 5 min [n]

Nombre total d'affichages du contenu de moins de 5 minutes.

total 2 min avec rem [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage du contenu de moins de 2 minutes additionnées de la durée de remédiation 2 min (remédiation 2 min [min.]).

total 2 min avec rem [n]

Nombre total d'affichages du contenu de moins de 2 minutes additionné du nombre d'affichages de remédiation 2 min (remédiation 2 min [n]).

total 5 min avec rem [min.]

Somme des durées [minutes] d'affichage du contenu de moins de 5 minutes additionnées de la durée de remédiation 5 min (remédiation 5 min [min.]).

total 5 min avec rem [n]

Nombre total d'affichages du contenu de moins de 5 minutes additionné du nombre d'affichages de remédiation 5 min (remédiation 5 min [n]).

ratio rem/total avec rem 2 min [% min.]

Proportion en % de la durée de remédiation (remédiation 2 min [min.]) sur la durée totale avec remédiation (total 2 min avec rem [min.]).

ratio rem/total avec rem 2 min [% n]

Proportion en % du nombre de remédiations (remédiation 2 min [n]) sur le nombre total avec remédiation (total 2 min avec rem [n]).

ratio rem/total avec rem 5 min [% min.]

Proportion en % de la durée de remédiation (remédiation 5 min [min.]) sur la durée totale avec remédiation (total 5 min avec rem [min.]).

ratio rem/total avec rem 5 min [% n]

Proportion en % du nombre de remédiations (remédiation 5 min [n]) sur le nombre total avec remédiation (total 5 min avec rem [n]).

point

Nombre de points obtenus à la question d'évaluation.