Un exemple d'énigmes pour escape-game pédagogique : Mathématiques pour l'Ingénieur

Thomas Josso-Laurain[1]
Thomas.josso-laurain@uha.fr
Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace (ENSISA), 12 rue des Frères Lumière, 68100 Mulhouse

RESUME : Avec l'émergence des escape-games, la ludification apparaît comme étant d'un intérêt pédagogique important. La capacité à pouvoir tester ou apporter des compétences aux étudiants par le biais du jeu est fortement prisé du public estudiantin, désireux de « sortir des amphis ». Cet article présente une série d'énigmes permettant de créer un escape-game pédagogique autour des Mathématiques pour l'Ingénieur. Les différentes énigmes sont détaillées, ainsi que leur solution et les indices à potentiellement transmettre aux joueurs en difficulté. 8 sessions de jeu ont été menées à l'Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace (ENSISA) parmi des étudiants et des chercheurs. Le retour d'expérience révèle un amusement quasi-maximal de la part des joueurs, une difficulté plus logique que technique dans la résolution des énigmes et un besoin de coopérer, permettant ainsi d'évaluer les compétences à la fois scientifiques et humaines.

Mots clés : escape-game pédagogique ; ludification ; mathématiques ; retour d'expérience

1 INTRODUCTION

Les escape-games sont un jeu d'aventure et d'enquête dit « grandeur nature » dans lequel des joueurs sont enfermés dans une ou plusieurs pièces. Leur objectif est de sortir de la pièce ou d'accomplir une mission. Les escape-games ont des thématiques diverses inspirées de la pop-culture (zombies, steampunk, etc.) mais peuvent également aborder des thématiques plus « sérieuses » : on parle alors de *serious-game*. On citera notamment des escape-games dédiés au patrimoine culturel [1] ou encore à la crise environnementale actuelle [2]. A travers le jeu, on peut donc véhiculer des compétences autres que la résolution d'énigmes.

Le milieu confiné d'une room permet de révéler certains traits de caractère et comportements des joueurs ; ainsi, certains recruteurs utilisent les escape-games, et leur système de caméras, pour analyser les comportements de candidats [3], [4].

Pour la pédagogie, la gameficiation permet par le biais du jeu, d'amener les étudiants à explorer et évaluer leurs compétences pédagogiques. Les exercices sont développés suivant des schémas-type des jeux, notamment des jeux-vidéos, basés sur des systèmes de scoring, de récompense et d'énigmes à tiroirs [5]–[7]. Les escape-games trouvent naturellement leur place dans l'émergence des serious-game, permettant de stimuler les étudiants-joueurs avec des énigmes directement reliées au domaine d'étude [8]–[10].

Ce papier présente une « brique » d'escape-game, c'est-à-dire une série d'énigmes plus ou moins longue comprenant plusieurs entrées et une sortie unique. Cette brique est issue du Kit Escape-Game qui sera proposé par le club EEA[1] ; elle peut cependant facilement s'intégrer dans n'importe quel scénario existant. Le domaine d'application concerne les mathématiques pour l'ingénieur. La première section détaillera les objectifs pédagogiques de cet escape-game, notamment la définition claire des compétences à évaluer dans les mathématiques pour l'Ingénieur ; une seconde section détaillera l'ensemble des énigmes avec leur mécanisme de résolution ; une section Implémentation permettra à quiconque d'installer et de faire jouer l'énigme développée, avec les aides de jeu et les éléments-clefs du briefing ; enfin, une section Retour d'expérience donnera une première analyse qualitative de l'expérience étudiant-joueur.

[1] https://clubeea.com/cahiers-pedagogiques-du-club/

2 OBJECTIFS PEDAGOGIQUES DE L'ENIGME

L'objectif de cette brique d'énigmes est d'évaluer les compétences en mathématiques d'étudiants de cycle Licence, de BUT ou de première année d'école d'ingénieurs. Derrière l'appellation « Mathématiques pour l'Ingénieur », les compétences seront ciblées sur des concepts mathématiques directement utilisables dans les Sciences de l'Ingénieur telles que l'Automatique, l'Electronique ou l'Informatique.

2.1 Calcul matriciel

Les compétences en calcul matriciel sont directement reliées à des compétences comme la synthèse de correcteurs par retour d'état. Ici, les compétences en calcul matriciel sont les suivantes :

- ✓ Effectuer une multiplication entre deux matrices
- ✓ Calculer un déterminant pour une matrice 2x2
- ✓ Appliquer une transposée à une matrice ou une opération matricielle (multiplication matricielle)

La liste des compétences évaluées n'est pas exhaustive, on aurait pu inclure l'inversion matricielle ou la décomposition. Selon les besoins pédagogiques, chacun pourra trouver dans cette brique un squelette permettant d'enlever ou de rajouter des énigmes.

2.2 Géométrie dans l'espace et trigonométrie

La géométrie dans l'espace, notamment la manipulation de repères orthonormés ou non, intervient dans la physique et la mécanique. La trigonométrie intervient notamment lorsque les repères sont en rotation. Les points-clefs de cet escape-game pédagogique sont :

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Article publié par EDP Sciences et disponible sur le site https://www.j3ea.org ou https://doi.org/10.1051/j3ea/20231031

- ✓ Appliquer des symétries axiales ou centrales
- ✓ Effectuer des translations au sein d'un repère orthonormé
- ✓ Calculer des sinus et cosinus d'angles en radians

2.3 Dérivées, intégrales et limites

Les dérivées, intégrales et limites sont fondamentales à de nombreuses Sciences de l'Ingénieur (physique, électronique, automatique). Les notions évaluées sont :

- ✓ Calculer la dérivée d'un polynôme ou d'une fonction composée
- ✓ Calculer la limite d'une fraction de polynômes
- ✓ Calculer l'intégrale d'une fonction élémentaire (racine de *x*)

3 ENIGMES

La brique est constituée d'une énigme centrale délivrant un mot de passe de sortie (au choix, dans le cas ici présenté, BODE). Pour résoudre cette énigme centrale, il faut résoudre 5 énigmes secondaires dénommées par des lettres de l'alphabet grec.

3.1 Enigme globale

L'énigme globale est mise en évidence pour être trouvée en premier lieu par les joueurs. Il s'agit d'un morceau de papier comprenant la multiplication matricielle suivante :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \varepsilon \\ \mu & 0 & \alpha \\ 0 & \beta & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{pmatrix} = ?$$

fig 1 : Enigme globale

Cette énigme ne peut être résolue qu'après avoir obtenu les valeurs de α, β, γ, ε et μ.

3.2 Enigme α

L'énigme α est une entrée de l'énigme, elle peut être issue de la fouille ou d'une énigme précédente. Elle est constituée d'un morceau de papier (possibilité de l'afficher en virtuel via un QR code également) avec :

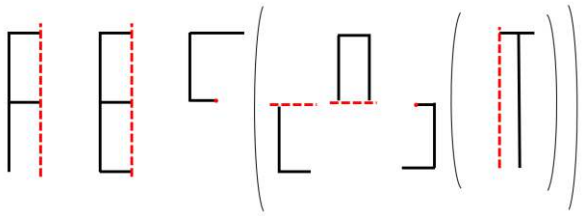

fig 2 : Enigme α issue de la fouille

Comme on peut le voir sur la figure 2, les éléments en rouges (soit des axes, soit des points) permettent de faire des symétries axiales ou centrales permettant de révéler :

$$abs(cos(\pi)) = 1$$

On en déduit α=1.

3.3 Enigme β

Au tableau (élément caractéristique d'une salle de cours, qu'il soit blanc, noir ou interactif) se trouve l'équation suivante en figure 3 :

$$\beta = \lim_{t \to +\infty} \frac{\frac{d}{dt}(2t^4 + 3t^3 - 6t^2 + 9t - 1)}{(t^2 - 5t - 2)(t - 6)} - \int_{0,7773}^{5} \sqrt{x}\,dx$$

Fig 3 : Enigme β écrite sur un tableau blanc ou noir

Sa résolution permet d'obtenir β=8-7=1

3.4 Enigme γ

Des chiffres sont accrochés dans la salle, soit directement scotchés sur le mur, soit fixés à des fils de pêche attachés au plafond, de manière à transformer la pièce en repère (x,y,z). Situé dans la pièce ou accessible en sortie d'une autre énigme se trouve un ordinateur, verrouillé, ainsi qu'un casque audio. Ce casque diffuse un fichier .mp3 récitant en continu les informations suivantes :

« Repère ; zéro rouge ; x bleu ; y vert ; Début zéro rouge ; T + x ; T + x ; T + z ; a1 ; T + y ; T + z ; T - x ; a2 ; T – y ; T - z ; T – x ; T + y ; a3 ; T + y ; T - z ; T + x ; T + x ; T + z ; T – x ; a4 ; Fin »

A côté du casque se trouvent un bloc-notes pour aider les joueurs à inscrire la séquence, ainsi qu'un document indiquant

$$\gamma = det\begin{pmatrix} a1 & a2 \\ a3 & a4 \end{pmatrix}$$

fig 4 : Enigme γ située près du casque audio

En commençant par le zéro rouge situé dans la pièce et en appliquant les différentes translations selon les axes x, y ou z, d'après la séquence, les joueurs peuvent remplir les éléments a1, a2, a3 et a4 visibles en figure 4 et ensuite calculer le déterminant pour obtenir γ=2

3.5 Enigme ε

Lors de la fouille (ou en sortie d'une autre énigme), les joueurs découvrent un document contenant l'image d'un afficheur 7-segments. Chaque segment est associé à une équation comme suivant la figure 5 :

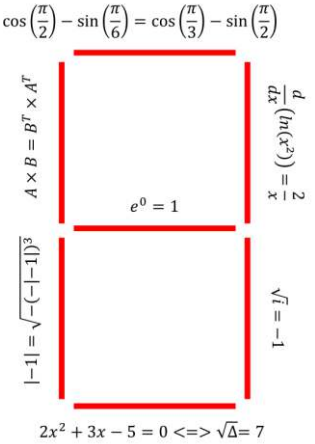

fig 5 : Enigme ε et son afficheur 7-segments

En considérant qu'une équation juste « allume » un segment et qu'une équation fausse « éteint » un segment, on obtient ε=2

3.6 Enigme μ

Au mur est accroché un tableau qui doit sembler faire partie du décor, et sur lequel on peut lire :

Tangente du
Rayon de
Oméga à l'
Infini
Sur l'intervalle R

Cette énigme n'a pas de réel intérêt mathématique, puisqu'il suffit de prendre les premières lettres de chaque « vers » pour obtenir μ=3

3.7 Résolution finale

Après avoir résolu les énigmes α, β, γ, ε et μ, on peut résoudre l'énigme globale :

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 3 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 4 \\ 3 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

fig 6 : Résolution de l'énigme globale

On obtient donc, comme on peut le voir sur la figure 6, une matrice 3x3 composée des valeurs 1, 2, 3 et 4.
Après avoir fouillé / en sortie d'une autre énigme, les joueurs obtiennent un document recto-verso comprenant, d'un côté, un QR code généré par le site de cadenas virtuels Lockee[2] ; de l'autre côté, une matrice 3x3 contenant des lettres et servant de clef de lecture :

$$\begin{pmatrix} M & H & E \\ D & T & O \\ S & B & A \end{pmatrix}$$

fig 7 : Clef de lecture

Comme précédemment mentionné, cette clef de lecture peut tout à fait être adaptée pour créer un autre mot de 4 lettres, voire plus.
Le QR code se déverrouille à l'entrée « BODE » et affiche ensuite ce que l'on souhaite : FIN de l'escape-game ou SUITE vers une nouvelle énigme.

4 IMPLEMENTATION

Cette section intègre les différents éléments permettant d'installer les énigmes en amont, de donner les indices nécessaires au bon fonctionnement du jeu, et quelques éléments de débriefing et de reboot suite à une session.

4.1 Mise en place et Reboot

4.1.1 Mise en place

La mise en place de l'ensemble des énigmes est assez rapide, ces dernières étant principalement constituées de feuilles de papier afin de conserver le côté « old school » des mathématiques.

- Repère 3D

Dans un premier temps, il conviendra de fixer dans la pièce 18 chiffres. Ces chiffres seront scotchés ou éventuellement fixés à un fil de pêche lui-même attaché au plafond. Certains chiffres ont un emplacement précis (défini par la séquence audio), les autres peuvent être placés aléatoirement. La figure 8 reprend les emplacements-clefs à respecter :

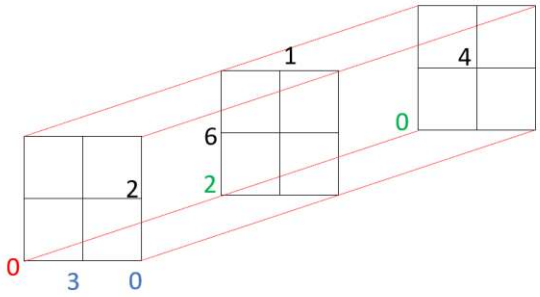

fig 8 : Emplacements de certains chiffres du repère 3D

- Enigme γ

L'énigme γ nécessite de démarrer l'ordinateur, de brancher un casque, de lancer la séquence audio en vérifiant bien qu'elle va se répéter à l'infini. Puis il conviendra d'être vigilant sur les paramètres de mise en veille de l'ordinateur, notamment lorsque le clapet de celui-ci est refermé, et ce afin d'éviter que l'ordinateur ne s'éteigne et cesse de délivrer la bande-son. Enfin, on pourra scotcher le clapet de l'ordinateur une fois fermé, afin de faire comprendre aux joueurs qu'il n'est pas utile/possible de l'ouvrir.

- Autres éléments de décors

Le tableau de l'énigme μ est à accrocher au mur.
L'équation β est à écrire au tableau.
Les autres éléments (énigmes α, ε et énigme globale) sont à répartir dans la pièce, plus ou moins cachées selon l'importance que l'on souhaite donner à la fouille.

4.1.2 Reboot

Du fait de la faible quantité de matériel, le reboot est extrêmement rapide. La fragilité du matériel (feuilles de papier) est le principal risque de casse ou de dégradation ; le reboot consiste principalement à s'assurer que rien n'a été détruit. Les éléments issus de la fouille doivent regagner leur cachette.

4.2 Indices

En cas de difficultés des joueurs à résoudre une énigme, il est possible de délivrer des indices permettant de faciliter la résolution. Chaque énigme dispose d'indices spécifiques, souvent d'aide croissante :

- Enigme α

« Comment sait-on si je suis un bon trieur ? Si mes tris sont bons (symétrie) » puis
« Essayez d'appliquer des symétries par rapport aux éléments rouges »

[2] https://lockee.fr/

- Enigme β

En cas de problème de fouille : « En général, on envoie le bêta parmi vous au tableau ! »
En cas de difficulté de résolution : « A la limite, on garde que les plus grands ! » puis
« Si t tend vers l'infini alors seules les puissances les plus grandes sont conservées, les autres sont négligeables » ;
« Si vous avez oublié vos racines, vous pouvez retrouver une forme primitive en utilisant votre puissance ! » puis
« Racine carré = puissance 1/2 » puis
« Appliquez la primitive d'un polynôme avec une puissance de 1/2 »

- Enigme γ

Problème de fouille : « Pour une fois qu'on vous autorise à porter un casque en cours ! »
Difficultés à la résolution : « Prenez le temps de faire les opérations les unes après les autres, en pensant bien à réorienter le repère après chaque rotation » puis
« Aidez-vous de vos doigts » et leur montrer comment faire un repère orthonormé avec son pouce, son index et son majeur

- Enigme ε

« En informatique, un booléen vaut 1 ou TRUE et 0 ou FALSE » puis
« Si une expression mathématique est juste, alors gardez le segment allumé »

- Enigme μ

Problème de fouille : « Saviez-vous qu'on peut décrire des tableaux avec des équations mathématiques ? » puis
« Bon, c'est pas la Joconde mais vous pouvez quand même regarder le tableau ! »
Difficulté de résolution : « Est-ce qu'on aurait affiché quelque chose qui n'a aucun sens ? » puis
« Le plus important, c'est la primeur ! Pas le marchand de légumes… » puis
« Regardez bien le début de chaque vers »

4.3 Débriefing

L'escape-game présente des difficultés à la fois techniques (compétences en mathématiques) et logiques (faire le lien entre la séquence audio et le repère 3D par exemple). Le débriefing doit survoler les éléments logiques manqués mais insister sur les compétences qui auraient fait défaut, notamment les énigmes β et ε qui évaluent la majorité des compétences attendues.

5 DESIGN ITERATIF ET RETOURS D'EXPERIENCE

5.1 Design itératif

Une première version de l'énigme a été proposée aux journées du club EEA à Angers en Juin 2022. Cette première version comportait des problèmes qui ont été identifiés : durée trop longue pour une seule brique, ambigüité des rotations selon un repère fixe/variable,
La deuxième version a intégré les retours récoltés après le premier test. Il intègre plus d'énigmes, l'énigme γ a été simplifiée par la suppression des rotations pour éviter toute ambigüité. Les énigmes rajoutées avaient pour objectif d'augmenter les compétences évaluées afin de ne pas se limiter au calcul matriciel et aux dérivées/intégrales.

5.2 Retour d'expérience

La brique en l'état actuelle, version 3, a été testée avec des étudiants inscrits en 1A (BAC+3) à l'ENSISA issus soit d'un parcours type CPGE, soit d'un DUT (avant la réforme du BUT). Les équipes comportaient parfois des 2A (BAC+4). Enfin, une équipe de chercheurs a également participé. A la fin de chaque session, un rapide questionnaire était proposé aux joueurs pour évaluer leur expérience. Au total, 28 étudiants et 8 chercheurs ont participé en 8 sessions.

- Temps de sortie

Le temps moyen de sortie est de 34,6 minutes, sans réelle corrélation entre le temps et le nombre de joueurs ou leur niveau universitaire : Le pire temps ayant été réalisé par les collègues chercheurs, preuve est que rien n'est jamais acquis ! Côté étudiant, il faut mentionner le temps maximum de 45 minutes obtenu pour une équipe de 3 dont le retour est le suivant : « A 3, on ne pouvait pas faire les énigmes en parallèle, donc on a perdu du temps. Il faut clairement être plus nombreux ! »

- Amusement

Le questionnaire comprenait un critère d'amusement à évaluer entre 0 (ennuyeux) et 5 (fantastique). Le score moyen d'amusement pour cette énigme est de 4,35/5 pour 8 sessions. Parmi les points que les joueurs ont préféré, on notera des retours sur l'innovation pédagogique (« ça change ») ou sur la matrice 3D (« utilisation de l'espace », « matrice géante », « spatialisation de la matrice »)

- Difficulté logique

Le second critère évalué était la difficulté logique, c'est-à-dire l'enchaînement des énigmes et les compétences de réflexion nécessaires à leur résolution. Ce critère est opposé au critère suivant, la difficulté technique, qui correspond aux compétences mathématiques attendues.
La difficulté logique a également été évaluée entre 0 (facile) et 5 (impossible), l'énigme proposée a obtenu un score de 2,5/5. Il s'agit donc d'une énigme moyennement difficile sur le plan logique, certaines énigmes étant évidentes (équation de β au tableau), d'autres nécessitant plus de réflexion (énigme audio et matrice 3D). Les retours écrits mentionnent un « bon enchaînement » et « des énigmes pouvant être faites en parallèle ». Une équipe explicite le besoin de communiquer pour résoudre les énigmes, élément essentiel des escapes-games pédagogiques ou non.

- Difficulté technique

Ce dernier critère concerne les compétences mathématiques à avoir, il est également évalué suivant l'échelle 0 (facile) – 5 (impossible). Il obtient un résultat de 1,7/5 : les énigmes proposées sont donc plus qu'abordables, voire « un peu trop faciles » selon les étudiants. Ils apprécient cependant que la difficulté soit

plus logique que technique, ce qui contribue à l'amusement et évite de tomber dans le « TD déguisé ». Beaucoup remarquent que la difficulté technique réside surtout dans le fait de se souvenir des notions plus que dans la résolution elle-même. Ils notent cependant que « l'ensemble des programmes BAC et post-BAC a été balayé ». Il est important de mentionner que parmi les 28 étudiants, 86% étaient issus de CPGE. Les 14% ayant fait un DUT ont quant à eux évalué la difficulté technique à 4/5. Afin d'éviter toute frustration, il peut être nécessaire de mixer les groupes entre ex-DUT et ex-CPGE.

6 CONCLUSION

En conclusion, cet article a proposé un bloc d'énigmes pour escape-game pédagogique, dont le thème principal est « Mathématiques pour l'Ingénieur ». Les compétences évaluées sont le calcul matriciel, la géométrie, les calculs de limites, de dérivées et d'intégrales. L'ensemble des énigmes a été détaillé, avec les solutions, permettant au lecteur de les réaliser très facilement (les ressources – documents et fichier audio – sont disponibles sur simple demande).

Le retour d'expérience montre que ces énigmes sont abordables d'un point de vue technique et permettent d'évaluer les compétences susmentionnées. Le nombre d'énigmes force à paralléliser les tâches, permettant également d'évaluer les compétences-tierces de gestion de groupe et de communication.

Ces énigmes ont pour vocation de s'intégrer dans le kit Escape-game développé par le Club EEA. Les prochaines étapes seront donc de s'interfacer avec les entrées / sorties des énigmes conçues par les autres membres du GT, et de concevoir un scénario permettant d'harmoniser les différents challenges.

Remerciements

Merci à Laurent Autrique et à Alexandre Philippot pour leur soutien dans la création de cette brique d'escape-game. Merci également aux enseignants-chercheurs qui ont testé la version 1 à Angers en juin 2022 et la version 2 à Paris en janvier 2023. Merci enfin aux étudiants de l'ENSISA et aux chercheurs d'IRIMAS qui ont joué les beta-testeurs de la version 3 présentée dans cet article : Antoine Abadie, Robin Accardo, Salomé Akki, Pierre Albertini, Pablo Andreu, Louis Barlog, Timothée Berger, Vincent Billard, Quentin Boerlen, Félix Brand, Maxence Burgain, Aleksandra Buszta, Charlélie Canonne, Alexandre Caux, Olivier Chappé, Anthony Chassignet, Adrien Chaumont, Fadé Cissokho, Benjamin Cordier, Benoît Domenet, Vasile Giurgi, Antoine Gratiot, Florian Guette, Mathieu Hennequin, Jonathan Ledy, Rodolfo Orjuela, Valentin Le Meur, Corentin Léandre, Bilal Moulay El Boudkhili, Emilio Scottu, Arthur Sicard, Loïc Tschamber, Solène Vera, David Vieira, Benoît Vigne.

Bibliographie

[1] S. Tzima, G. Styliaras, and A. Bassounas, "Revealing Hidden Local Cultural Heritage through a Serious Escape Game in Outdoor Settings," *Information*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2021, doi: 10.3390/info12010010.

[2] E. Pater, *Unlock the Future : An Environmental Escape Game and its Development, Evaluation and Impact*. 2020. Accessed: Mar. 06, 2023. [Online]. Available: http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-428716

[3] D. Menon, M. Romero, and T. Viéville, "Computational thinking development and assessment through tabletop escape games," *International Journal of Serious Games*, vol. 6, no. 4, Art. no. 4, Nov. 2019, doi: 10.17083/ijsg.v6i4.319.

[4] O. Meier, "Gamification et recrutement : au-delà des apparences," *Management & Datascience*, vol. 7, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.36863/mds.a.22080.

[5] J. Sérot, J. Laffont, and M. James, "De l'utilité des jeux vidéo pour l'enseignement del'informatique temps-réel," *J3eA*, vol. 8, p. 1025, 2009, doi: 10.1051/j3ea:2008066.

[6] S. Deterding, D. Dixon, R. Khaled, and L. Nacke, "Du game design au gamefulness : définir la gamification," *Sciences du jeu*, no. 2, Oct. 2014, doi: 10.4000/sdj.287.

[7] T.-T. Dang-Ngoc and T. Liu, "Mario, Warcraft ou Pokemon ? La programmation de jeux vidéo comme motivation dans l'apprentissage des sciences informatiques," *J3eA*, vol. 14, p. 1002, 2015, doi: 10.1051/j3ea/2015002.

[8] S. J. Clarke, D. J. Peel, S. Arnab, L. Morini, H. Keegan, and O. Wood, "EscapED: A Framework for Creating Educational Escape Rooms and Interactive Games to For Higher/Further Education.," *IJSG*, vol. 4, no. 3, Sep. 2017, doi: 10.17083/ijsg.v4i3.180.

[9] N. Dietrich, "Escape Classroom: The Leblanc Process—An Educational 'Escape Game,'" *J. Chem. Educ.*, vol. 95, no. 6, pp. 996–999, Jun. 2018, doi: 10.1021/acs.jchemed.7b00690.

[10] A. Estudante and N. Dietrich, "Using Augmented Reality to Stimulate Students and Diffuse Escape Game Activities to Larger Audiences," *J. Chem. Educ.*, vol. 97, no. 5, pp. 1368–1374, May 2020, doi: 10.1021/acs.jchemed.9b00933.