

Les animations graphiques et leur impact sur l'apprentissage de l'immunologie par les élèves de la 3^{ème} année du collège: Cas de l'immunité innée

[Graphic animations and their impact on the learning of immunology by 3rd year college students: Case of innate immunity]

Mouad CHAT, Anouar AIDOUN, El Mostafa AMIRI, and Rachid JANATI-IDRISSI

Equipe de recherche en ingénierie pédagogique et didactique des sciences (ERIPDS), Ecole normale supérieure, Abdelmalek Essaadi University, Tetouan, Morocco

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The integration of information and communication technologies in the teaching of scientific disciplines multiplies the teaching capacities which makes it possible to approach scientific concepts and notions. In the same context, the use of graphic animations for learning is more and more frequent, especially to show complex, invisible and dynamic phenomena. The main objective of our work is to examine the impact of graphic animations on the learning of innate immunity by third-year college students. To do this, a sample of 66 students was divided into a control group (n=33) and an experimental group (n=33) whose only difference was the use or non-use of graphic animations. The two groups of students took a knowledge test twice: The first before the course (pre-test) and the second after the course (post-test). Statistical analyzes were performed with the independent samples t-test to compare the post-test scores as well as the relative learning gain between the two groups of students. The results showed clearly that the grades and the relative learning gain of students in the experimental group (taught with the animations) are higher and significantly different from those of the students in the control group (taught in the traditional way). This shows that teaching with graphic animations can have a very positive impact on student learning and on improving their academic performance.

KEYWORDS: ICT, graphic animations, learning, immunology, innate immunity.

RESUME: L'intégration des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des disciplines scientifiques multiplie les capacités pédagogiques qui permettent d'approcher les concepts et les notions scientifiques. Dans le même contexte, l'usage des animations graphiques pour l'apprentissage est de plus en plus fréquent, surtout pour visualiser les phénomènes complexes, invisibles et dynamiques. L'objectif principal de notre travail est d'examiner l'impact des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunité innée par les apprenants de la troisième année du collège. Pour ce faire, un échantillon composé de 66 élèves était divisé en un groupe témoin (n=33) et un groupe expérimental (n=33) dont la seule différence est l'utilisation ou la non utilisation des animations graphiques. Les deux groupes d'élèves ont passé un test de connaissance à deux reprises: La première avant la réalisation du cours (pré-test) et la deuxième après la réalisation du cours (post-test). Les analyses statistiques ont été effectués avec le test t pour échantillons indépendants pour comparer les notes du post-test ainsi que le gain relatif d'apprentissage entre les deux groupes d'élèves. Les résultats ont clairement indiqué que les notes et le gain relatif d'apprentissage des élèves du groupe expérimental (enseigné avec les animations) sont plus élevés et significativement différents de ceux des élèves du groupe témoin (enseigné de manière traditionnelle). Ce qui montre que l'enseignement avec les animations graphiques peut avoir un impact très positif sur l'apprentissage des élèves et sur l'amélioration de leurs performances scolaires.

MOTS-CLEFS: TIC, animation graphique, apprentissage, immunologie, immunité innée.

1 INTRODUCTION

Les stratégies et les réformes adoptées par le gouvernement marocain visent à améliorer le secteur d'éducation en développant une culture pédagogique qui favorise l'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) dans l'éducation [1]. Ces Technologies sont des puissants outils éducationnels et des vecteurs d'accélération du développement humain, social et économique [2].

Les révolutions technologiques récentes ont entraîné un formidable développement des ressources numériques multimédias utilisés dans l'éducation. Un exemple particulier de ces ressources multimédia est l'animation graphique qui représente un outil de visualisation très performant pouvant être utilisé pour enseigner et apprendre les concepts scientifiques dynamiques qui changent dans le temps et dans l'espace, ainsi que de simuler les phénomènes complexes, invisibles et abstraits [3], [4], [5], [6].

2 PROBLEMATIQUE

Les sciences en général et les sciences biologiques en particulier sont en perpétuel changement et en évolution. L'immunologie représente une branche de ces sciences biologiques qui est définie par son caractère transversal et interdisciplinaire [7], [8].

Actuellement l'immunologie fait partie des programmes officiels éducatifs marocains; Au niveau de la 3^{ème} année secondaire collégial et la 2^{ème} année BAC. Cependant, l'immunologie au Baccalauréat est réservée juste pour l'option sciences de la vie et de la terre. Par conséquent, les autres options de Baccalauréat, qui représentent la plupart des apprenants marocains, auront l'occasion d'étudier l'immunologie une seule fois pendant leur parcours scolaire et c'est durant la 3AC. D'où la nécessité d'améliorer l'enseignement de l'immunologie en 3AC parce que c'est la base des acquis immunologiques de la plupart des apprenants marocains.

L'immunologie apparaît comme une discipline scientifique qui est difficile à enseigner surtout pour des apprenants de 3^{ème} année du collège. Cette discipline comporte des notions scientifiques abstraites et des phénomènes dynamiques microscopiques non directement observables et qui se passent à l'échelle moléculaire. Elle incite aussi à poser des questions transversales, recouvrant des concepts interdisciplinaires comme ceux de régulation, réseau, individus système, etc [9]...

De plus, le fait que l'immunologie est étroitement liée à la vie quotidienne des apprenants, peut engendrer des fausses idées et représentations, qui peuvent constituer des défis éducatifs pour les enseignants et des obstacles à l'apprentissage pour les apprenants [10].

Toutes ces raisons nous amènent à poser la problématique suivante: Comment peut-on améliorer l'apprentissage de l'immunologie en 3^{ème} année du collège ?

Parmi les solutions figure les animations graphiques, qui sont devenues des outils didactiques très intéressants à intégrer dans les pratiques pédagogiques de l'enseignement des sciences. Ces outils peuvent motiver et attirer l'attention des élèves, remplacer les expériences non faites ou encore de visualiser les phénomènes abstraits non-observables en réalité, et ils peuvent également simplifier les notions complexes pour qu'ils soient compatibles avec le niveau intellectuel des élèves.

Notre objectif de travail était de mesurer l'impact des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunologie par les élèves de troisième année du collège. Nous avons choisi la thématique de l'immunité innée qui comporte les notions suivantes: Les barrières naturelles, la réaction inflammatoire et la phagocytose.

Nous avons donc formulé nos questions de recherche comme suite:

- Est-ce que l'intégration des animations graphiques aura un impact sur l'apprentissage de l'immunité innée par les élèves de 3^{ème} année du collège ?
- Est-ce que l'intégration des animations graphiques aura un impact significatif sur les notes des élèves ?
- Est-ce que l'intégration des animations graphiques affecte-elle de manière significative le gain relatif d'apprentissage des élèves ?

3 METHODOLOGIE DE TRAVAIL

Afin d'évaluer l'impact de l'intégration des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunité innée par les élèves de 3^{ème} année, nous devons comparer deux situations d'enseignement-apprentissage, l'une avec les animations graphiques et

l'autre sans animations graphiques. Le but est de savoir si la situation utilisant l'animation graphique est significativement plus favorable ou non que la situation traditionnelle.

Pour cette raison, un groupe témoin et un groupe expérimental ont été créés pour vérifier l'impact de ces animations. Ces groupes ont été enseignés de la manière suivante:

- Le groupe témoin: enseigné à travers une méthodologie active qui incite l'élève à poser des questions, à participer et résoudre des problèmes. Ainsi qu'avec des documents pédagogiques contenant des activités visant à développer l'esprit scientifique de l'élève.
- Le groupe expérimental: il suivait le cours avec la même manière utilisée avec le groupe témoin, sauf qu'il bénéficiait de voir les animations graphiques fournies par le ministère de l'éducation nationale dans le cadre du programme GENIE.

3.1 INFORMATIONS SUR L'ÉCHANTILLON D'ÉTUDE

Notre échantillon d'étude est constitué de 66 élèves de 3^{ème} année du collège appartenant à un établissement d'enseignement secondaire collégial du secteur public. Ces élèves ont été répartis en 2 groupes; un groupe témoin et un groupe expérimental, contenant chacun 33 apprenants répartis comme le montre le tableau ci-dessous:

Tableau 1. Répartition des élèves dans le groupe témoin et expérimental

Le groupe	Effectif	Nombre de garçons	Nombre de filles	Nombre de redoublants	Moyenne d'âge (ans)	Ecart-type d'âge
Groupe témoin	33	16	17	10	15.42 ans	1.091
Groupe expérimental	33	14	19	9	15.12 ans	1.219

Nous n'avons pas eu besoin de choisir une méthode d'échantillonnage ou bien de faire un tri au hasard de ces élèves, parce qu'ils constituaient dès le départ deux groupes du fait de leur appartenance en deux classes différentes. Nous avons alors choisi aléatoirement la classe 1 comme notre groupe expérimental, et la classe 2 comme notre groupe témoin.

3.2 PRE-TEST / POST-TEST

Afin d'évaluer l'apprentissage des élèves à propos des concepts de l'immunité innée, un test de connaissance a été élaboré pour être utilisé comme pré-test et post-test. Les deux groupes d'élèves ont passé le test de connaissance à deux reprises: La première avant la réalisation du cours (pré-test) et la deuxième après la réalisation du cours (post-test).

Les deux tests avaient exactement les mêmes questions, pour démontrer le progrès réalisé par l'élève, durant l'apprentissage de l'immunité innée, lorsque ses notes du post-test sont supérieures aux notes du pré-test. Les deux tests étaient totalement anonymes et notés au total sur 20 points, et ils ont été effectués dans un délai de 10 min.

Les questions du test couvraient les informations nécessaires que doit retenir l'élève durant l'apprentissage de l'immunité innée, et ils étaient préparés selon les quatre niveaux de la taxonomie de Bloom: Mémorisation, Compréhension, Application et Description.

Tableau 2. Tableau de spécification du pré-test/post-test

	Type de question	Thème	Niveau	Note (/20)
Question 1	Question ouverte	Barrières naturelles	Description	4
Question 2	Question fermée	La réaction inflammatoire	Mémorisation	4
Question 3	Question fermée à choix multiple	La réaction inflammatoire	Compréhension	4
Question 4	Question fermée	Phagocytose	Application	8

3.3 CALCUL DU GAIN RELATIF D'APPRENTISSAGE

Selon [11], « l'effet d'apprentissage » d'un cours à l'aide d'un outil est mesuré en calculant les indices de gain entre deux moyennes. Et on distingue:

- **Le gain brut:** qui correspond à ce qui a été effectivement gagné. Se calcule simplement par la différence entre la note moyenne APRES et la note moyenne AVANT le cours ($\mu_2 - \mu_1$).
- **Le gain relatif:** Il s'agit du rapport entre ce qui a été gagné et ce qui pouvait être gagné et se calcule par la formule suivante:

$$\text{Gain relatif d'apprentissage} = \frac{\text{Note Post test} - \text{Note Pré test}}{\text{Note Maximale} - \text{Note Pré test}} * 100$$

On peut considérer qu'il y a un effet d'apprentissage lorsque ce gain relatif est supérieur à 30 ou 40% [11].

3.4 LES ANIMATIONS CHOISIES

Afin d'atteindre nos objectifs de recherche, deux animations ont été choisies pour évaluer leur impact sur l'apprentissage de l'immunité innée chez les apprenants de la 3^{ème} année collégiale.

Ces deux ressources numériques ont été présentées dans le guide pédagogique de l'intégration des TIC¹ dans l'enseignement des SVT² au cycle secondaire comme un exemple d'outil aidant à la construction de la leçon de l'immunité innée [12].



Fig. 1. Animation de la réaction inflammatoire

La première animation concerne la réaction inflammatoire et ses différents symptômes (rougeur, douleur, gonflement et température) et l'origine de la manifestation de chaque symptôme. Elle représente une situation d'un enfant qui sera blessé par une épine, suivi par la suite d'une pénétration des bactéries et leur multiplication, ce qui va être à l'origine du déclenchement de la réaction inflammatoire.

¹ TIC : Technologies d'Information et de Communication

² SVT : Sciences de la vie et de la terre

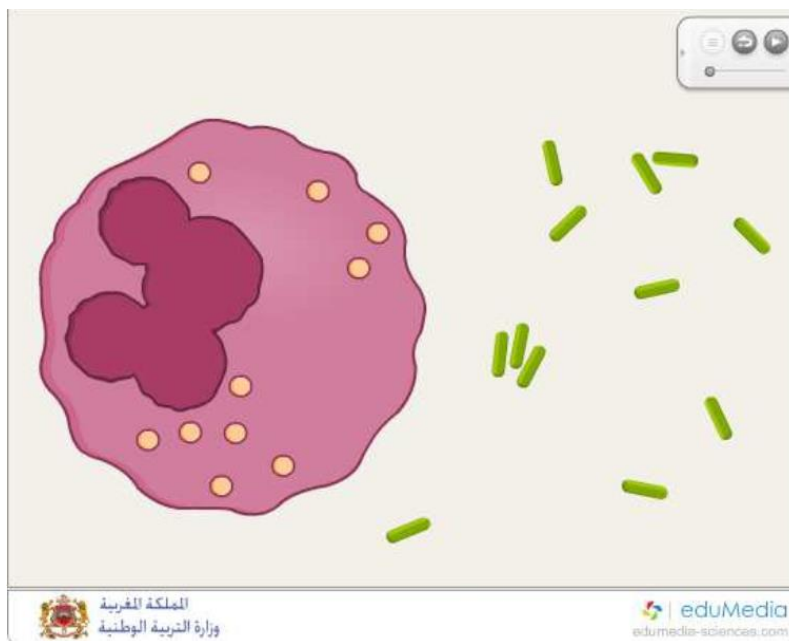


Fig. 2. Animation de la phagocytose

La deuxième animation représente le phénomène de la phagocytose et ses différentes étapes (fixation, ingestion, digestion et rejet des déchets). Elle permet de percevoir, de façon continue et dynamique, comment se réalise la phagocytose des bactéries par les cellules phagocytaires.

Dans le cadre du programme GENIE le ministère de l'éducation nationale, et en partenariat avec EduMedia, a fait diffuser ces ressources numériques de par deux modalités: par l'installation physique à l'aide des CD-ROM et aussi en ligne.

Pour notre cas, Nous avons trouvé ces ressources numériques dans le laboratoire d'un établissement d'enseignement secondaire collégial sous forme de CD-ROM.



Fig. 3. Ressources numériques en SVT pour la 3^{ème} année du collège sous forme de CD-ROM

3.5 LE CHOIX DU TEST STATISTIQUE

Afin d'arriver à notre objectif, nous devons faire une comparaison entre les scores du groupe témoin et du groupe expérimental après la réalisation du cours pour vérifier l'effet des animations graphiques sur l'apprentissage de l'immunité innée par les élèves de troisième année du collège.

Le test t de student pour échantillons indépendants est parmi les tests statistiques les plus utilisés pour comparer deux moyennes provenant de deux échantillons indépendants. Cependant, il s'agit d'un test paramétrique, c'est-à-dire que sa validité dépend de la distribution des données. De ce fait on doit tout d'abord vérifier la normalité de la distribution des notes du post-test dans le groupe témoin et dans le groupe expérimental, ainsi que l'égalité de leurs variances avant de procéder à la comparaison des notes du post-test de ces deux groupes.

3.5.1 VÉRIFICATION DE LA NORMALITÉ

Soit H_0 l'hypothèse nulle et H_1 l'hypothèse alternative et p la probabilité de rejet de l'hypothèse nulle au seuil de 5%, alors on a:

H_0 : il y a normalité de la distribution si $p\text{-value} > 0.05$

H_1 : il n'y a pas de normalité de la distribution si $p\text{-value} < 0.05$

Tableau 3. Résultats des tests de normalité du groupe expérimental et du groupe témoin

	Le groupe	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk	
		Statistiques	Signification (p-value)	Statistiques	Signification (p-value)
Note post-test	Groupe témoin	0,115	0,200	0,936	0,053
	Groupe expérimental	0,128	0,187	0,945	0,093

Les deux tests de normalité (Kolmogorov-Smirnov et Shapiro-Wilk) montrent des résultats non significatifs ($p > 0.05$), donc l'hypothèse nulle est acceptée, et alors la distribution normale des notes, dans les deux groupes d'élèves, est ainsi vérifiée.

3.5.2 VÉRIFICATION DE L'HOMOGENÉITÉ DES VARIANCES

Ensuite nous avons testé l'homogénéité des variances des notes du post-test des deux groupes d'élèves. Soit σ_1 et σ_2 les variances respectivement du groupe témoin et du groupe expérimental, alors on a:

H_0 : $\sigma_1 = \sigma_2$: il y a homogénéité des variances si $p\text{-value} > 0.05$

H_1 : $\sigma_1 \neq \sigma_2$: il n'y a pas homogénéité des variances si $p\text{-value} < 0.05$

Tableau 4. Résultats du test de Levene sur l'égalité des variances entre le groupe expérimental et le groupe témoin

	Le groupe	Moyenne	Ecart type	Test de Levene sur l'égalité des variances	
				F	Signification (p-value)
Note post-test	Groupe témoin	11,21	4,477	0,150	0,700
	Groupe expérimental	13,94	4,589		

Le test de Levene sur l'égalité des variances ($F = 0,150$, $p = 0,700 > 0,05$), montre que les variances des deux groupes ne sont pas significativement différentes ($p > 0,05$). Alors on peut accepter l'hypothèse nulle (H_0) et dire que les variances des deux groupes d'élèves sont homogènes.

Les résultats du test de normalité ont montré que les notes du post-test suivent une distribution normale ($p > 0.05$) pour les deux groupes d'élèves, et de la même manière, le test d'homogénéité des variances a montré que les variances des deux groupes à comparer sont homogènes ($p > 0.05$). Ce qui nous a amené à choisir le test paramétrique t de student pour échantillons indépendants pour comparer les moyennes de ces deux groupes.

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées sur le logiciel SPSS version 28.0.0.0.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 COMPARAISON D'ÉQUIVALENCE DES NIVEAUX DU GROUPE EXPÉRIMENTAL ET DU GROUPE TÉMOIN AVANT L'EXPÉRIMENTATION

Avant de procéder à la comparaison des notes du post-test et le gain relatif d'apprentissage pour le groupe expérimental et le groupe témoin, il faut tout d'abord vérifier l'équivalence des niveaux de ces deux groupes avant la réalisation du cours. Pour ce faire, nous allons premièrement effectuer une analyse comparative des notes de pré-test, que nous avons attribué aux élèves au début de la séance, entre les deux groupes d'apprenants.

Soit μ_1 et μ_2 respectivement les moyennes du groupe témoin et du groupe expérimental. Alors on a:

H0: $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence significative entre les groupes si $p > 0,05$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$: il y a une différence significative entre les groupes si $p < 0,05$

Tableau 5. Comparaison des moyennes des notes du pré-test du groupe témoin et du groupe expérimental

	Le groupe	N	Moyenne	Ecart type	Test t pour égalité des moyennes	
					t	Signification p bilatéral
Note pré-test/ 20	Groupe témoin	33	2,73	2,516	0.761	0.449
	Groupe expérimental	33	2,24	2,658		

Les résultats du test t pour échantillons indépendants ($t = 0,761$, $p = 0,449 > 0,05$) montrent qu'il n'y a pas une différence significative entre le niveau du groupe expérimental et du groupe témoin au début de l'expérimentation, de façon que la signification p soit largement supérieure au seuil de signification $\alpha=0,05$. Alors, l'hypothèse nulle est acceptée et les deux groupes sont considérés comme ayant le même niveau au début de l'expérimentation.

4.2 COMPARAISON DE LA MOYENNE DES NOTES DU POST-TEST DU GROUPE EXPÉRIMENTAL PAR RAPPORT AU GROUPE TÉMOIN:

L'analyse statistique des notes du post-test donne, pour le groupe expérimental une moyenne de 13,94 et un écart-type de 4,59, et pour le groupe témoin une moyenne de 11,21 et un écart-type de 4,48. On remarque qu'il y a une différence entre les deux moyennes, de telle façon que le groupe expérimental a obtenu une moyenne de note supérieure à celle du groupe témoin. Mais est ce que cette différence est significativement et suffisamment grande pour conclure l'effet des animations graphiques sur les notes des élèves ?

Pour répondre à cette question on va suivre la méthodologie d'interprétation suivante:

H0: $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence significative entre les groupes si $p > 0,05$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$: il y a une différence significative entre les groupes si $p < 0,05$

Tableau 6. Comparaison de la moyenne des notes du post-test entre le groupe expérimental et le groupe témoin

	Le groupe	N	Moyenne	Ecart type	Test t pour égalité des moyennes	
					t	Signification p bilatéral
Note post-test/ 20	Groupe témoin	33	11,21	4,477	-2,444	0.017
	Groupe expérimental	33	13,94	4,589		

Les résultats du test t pour échantillons indépendants ($t = -2,444$, $p = 0,017 < 0,05$) indiquent une différence statistiquement significative entre la moyenne des notes du post-test du groupe expérimental et du groupe témoin après la réalisation du cours de façon que la signification p soit inférieure au seuil de signification $\alpha=0,05$.

Alors, on peut rejeter l'hypothèse nulle (H0) et accepter notre hypothèse alternative (H1) et dire que les élèves du groupe expérimental, qui ont été enseignés avec les animations graphiques, ont obtenu des notes supérieures et significativement différentes de celles du groupe témoin, enseigné de manière traditionnelle, malgré que les élèves des deux groupes avaient des niveaux similaires au départ.

On doit remarquer aussi qu’au début de l’expérimentation, la moyenne du groupe témoin était plus élevée que celle du groupe expérimental, mais à la fin de l’expérimentation la moyenne du groupe expérimental a devenu plus élevée et significativement différente de celle du groupe témoin, ce qui montre l’effet des animations graphiques utilisées et confirme leur impact sur l’amélioration des performances des élèves.

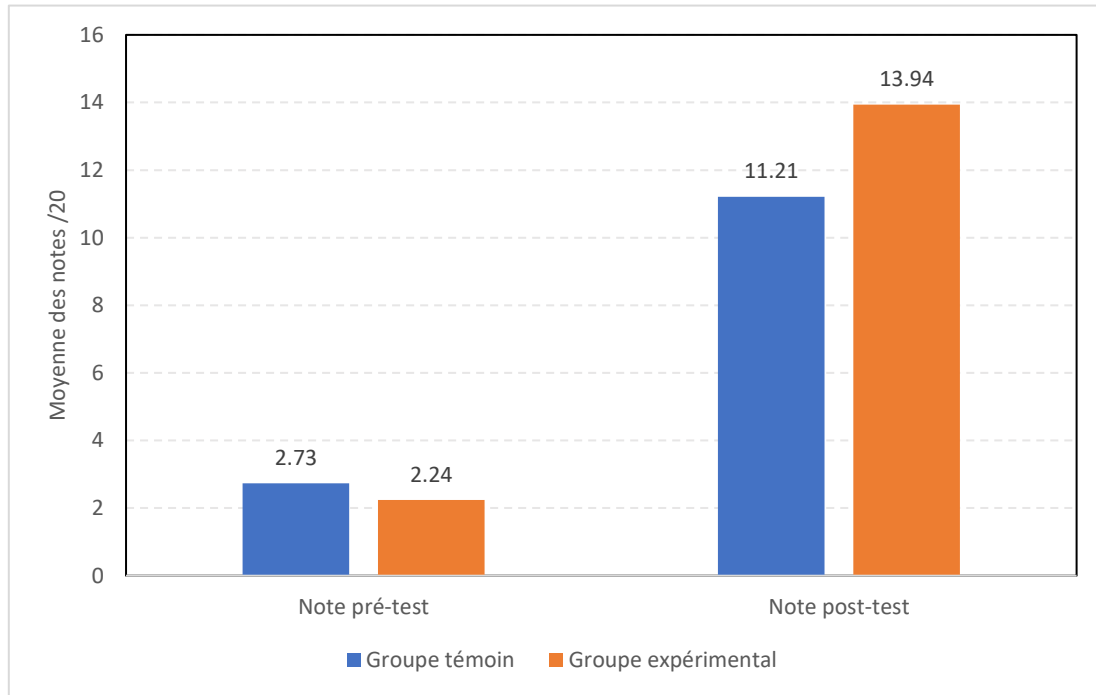


Fig. 4. Graphique présentant la progression du groupe expérimental et du groupe témoin du pré-test au post-test

4.3 COMPARAISON DU GAIN RELATIF D’APPRENTISSAGE ENTRE LE GROUPE EXPÉRIMENTAL ET LE GROUPE TÉMOIN

Le gain relatif d’apprentissage permet de calculer l’écart entre l’apprentissage des élèves avant et après l’expérimentation. Il est calculé par la formule suivante:

$$\text{Gain relatif d'apprentissage} = \frac{\text{Note Post test} - \text{Note Pré test}}{\text{Note Maximale} - \text{Note Pré test}} * 100$$

On peut considérer qu’il y a un effet d’apprentissage lorsque ce gain relatif est supérieur à 30 ou 40%.

Dans notre cas, nous avons calculé le gain relatif d’apprentissage pour chaque élève en se servant de ses notes de pré-test et du post-test. Puis nous avons calculé la moyenne des gains relatif d’apprentissage pour le groupe témoin et le groupe expérimental pour vérifier s’il y a manifestation d’un effet d’apprentissage. Ensuite nous avons analysé la différence entre le groupe témoin et le groupe expérimental concernant le gain relatif d’apprentissage à travers le test t pour échantillons indépendants pour comparer la moyenne du GRA entre ces deux groupes.

Tableau 7. Comparaison du gain relatif d’apprentissage entre le groupe témoin et le groupe expérimental

	Classe	N	Moyenne (%)	Ecart type	Test t pour égalité des moyennes	
					t	Signification p bilatéral
Gain relatif d’apprentissage	Groupe témoin	33	49,778	23,345	-3,068	0.003
	Groupe expérimental	33	67,517	23,627		

L’analyse statistique du gain relatif d’apprentissage donne une moyenne de 49,78% pour le groupe témoin et une moyenne de 67,52% pour le groupe expérimental.

On remarque que les deux moyennes sont supérieures à 40%, donc on peut considérer qu’il y a manifestation d’un effet d’apprentissage chez les deux groupes d’élèves.

Cependant, ces deux moyennes sont différentes, de telle sorte que le groupe expérimental a réalisé un gain relatif d'apprentissage plus élevé que celui du groupe témoin. Pour vérifier la signification de cette différence nous allons suivre la même méthodologie d'interprétation:

Soit μ_1 et μ_2 respectivement le moyenne de gain relatif d'apprentissage du groupe témoin et du groupe expérimental, et p la probabilité de rejet de l'hypothèse nulle au seuil de 5%. Alors on a:

H0: $\mu_1 = \mu_2$: il n'y a pas de différence significative entre les groupes si $p > 0,05$

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$: il y a une différence significative entre les groupes si $p < 0,05$

Les résultats du test t pour échantillons indépendants ($t = -3,068$, $p = 0,003 < 0,05$) montrent une différence très significative du gain relatif d'apprentissage entre le groupe expérimental et le groupe témoin, de façon que la signification p est largement inférieure au seuil de signification α .

Ces résultats nous permettent de rejeter l'hypothèse nulle (H0) et de confirmer l'hypothèse alternative (H1), et de conclure ainsi que l'intégration des animations graphiques a affecté de manière très significative le gain relatif d'apprentissage des élèves du groupe expérimentale, concernant les notions de l'immunité innée, par rapport aux élèves du groupe témoin.

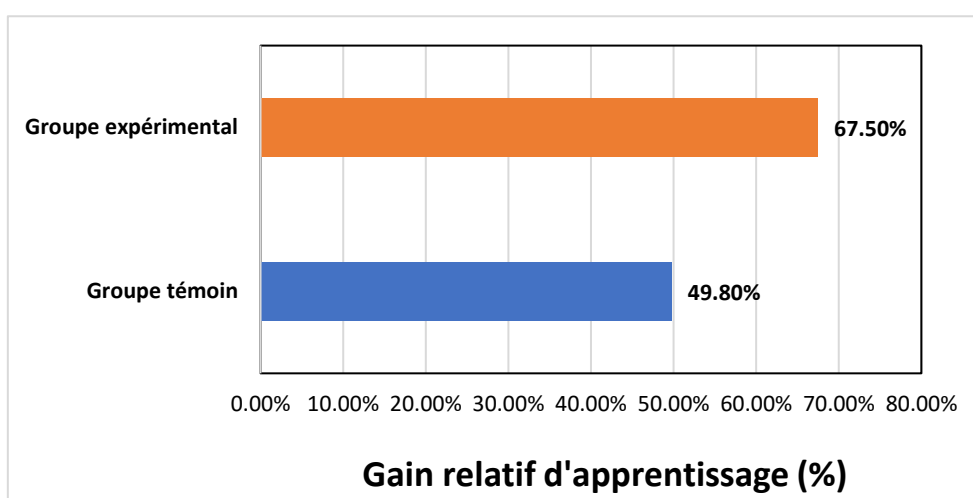


Fig. 5. Graphique comparant le gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental avec celui du groupe témoin

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail a permis de montrer l'importance des animations graphiques comme supports pédagogiques bien adaptés pour l'enseignement-apprentissage de l'immunologie, comme étant une matière scientifique complexe, au profit des élèves de troisième année du collège, facilitant d'une part l'enseignement des phénomènes dynamiques et invisibles, et d'autre part contribuant à la motivation des élèves, l'amélioration de leurs résultats et la favorisation d'un apprentissage plus efficace.

Le test bilatéral t pour échantillons indépendants a montré qu'au seuil de signification de 5%, la moyenne des notes du post-test du groupe expérimental était significativement différente ($p < 0,05$) de celle du groupe témoin. Par la suite la comparaison du gain relatif d'apprentissage entre les deux groupes en utilisant le test bilatéral t pour échantillons indépendants a montré que la moyenne du gain relatif d'apprentissage du groupe expérimental est significativement différente de celle du groupe témoin ($p < 0,05$).

Par conséquent, et d'après tout ce qui précède, nous avons pu conclure que: l'utilisation des animations graphiques, au bon moment durant la séance, avec une démarche active et une approche constructiviste, et dans des bonnes conditions, améliore les résultats des élèves et favorise l'apprentissage de l'immunité innée.

Ce constat concorde avec les résultats publiés par les chercheurs: [13], [14], [15], [3], [6].

Sans mettre en doute l'importance de notre travail de recherche, il nous est paru évident qu'il faut formuler quelques recommandations, pour continuer dans ce domaine de recherche et pour améliorer l'enseignement de l'immunologie:

- Très peu nombreuses sont les études en didactique qui prennent l'immunologie comme thème de recherche. C'est un domaine qui est faiblement étudié par les chercheurs en didactique des sciences, alors qu'il est parmi les disciplines qui touchent d'une manière directe notre vie quotidienne, et qui peuvent être à l'origine de nombreuses représentations de la part des élèves lors de son enseignement. De ce fait, il sera souhaitable de multiplier les recherches en didactique d'immunologie pour étudier les représentations qui en découlent, afin d'améliorer l'enseignement de cette discipline.
- D'autre part, les disciplines scientifiques impliquent des concepts et des phénomènes complexes et non directement observables, à cause de la nature microscopique du processus (la réplication d'ADN, la propagation de l'influx nerveux...), ou en raison de la vitesse lente du phénomène (formation de la chaîne de montagne, croissance des plantes...). De ce fait, nous proposons d'encourager la création des animations graphiques explicatives ainsi que leur intégration dans la pratique d'enseignement des sciences, compte tenu du rôle important qu'elles jouent pour rapprocher la réalité à l'élève d'une façon ludique et amusante, et vue son impact positif sur l'apprentissage des élèves.

REFERENCES

- [1] Berrada, K., el Kharki, K., & Ait Si Ahmad, H. (2022). Science Education in Morocco. In *Lecture Notes in Educational Technology* (p. 93-112). https://doi.org/10.1007/978-981-16-6955-2_7. Springer Science., Business Media.
- [2] Maouni, A., Mimet, A., Madrane, M., Khaddor, M., & Moumene, M. (2014). L'intégration des TIC dans l'enseignement des SVT au Maroc : réalité et attentes. <https://www.researchgate.net/publication/289994213>.
- [3] Sudatha, I. G. W., & Simamora, A. H. (2021). The Effectiveness of Using Dynamic Visualization in Natural Science Learning to Improve Students' Understanding in Junior High Schools. *Journal of Educational Science and Technology (EST)*, pp. 32-39. <https://doi.org/10.26858/est.v7i1.17681>.
- [4] Berney, S., & Bétrancourt, M. (2016). Does animation enhance learning? A meta-analysis. *Computers and Education*, 101, pp. 150-167. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.06.005>
- [5] Boucheix, J.-M., & Rouet, J.-F. (2007). NOTE DE SYNTHÈSE Les animations interactives multimédias sont-elles efficaces pour l'apprentissage ? *Revue française de pédagogie*, n° 160, pp. 133-156.
- [6] Kwasu, I. A. (2015). Effectiveness of Animated Instructional Resource for Learning Facilitation among Secondary School Student in Bauchi Nigeria. In *Journal of Education and Practice* (Vol. 6, Numéro 21).
- [7] Aidoun, A., Zerhane, R., Madrane, M., Janati-Idrissi, R., & Laafou, M. (2016a). Le concept de l'immunité naturelle dans les manuels scolaires marocains: La 2^{ème} année du Baccalauréat comme exemple. In *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 16, Numéro 2. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [8] Ridha, B., & Maaroufi, A. (2022). L'immunité de l'organisme dans le manuel de l'élève au cycle secondaire de l'enseignement en Tunisie: l'actualité des savoirs et les styles d'enseignement. *Mediterranean Journal of Education*, Vol. 2, Numéro 1, pp. 65-80. <https://doi.org/10.26220/mje.3843>.
- [9] Rumelhard, G. (1990). L'enseignement De L'immunologie : Thèmes De Recherche. Aster, recherches en didactique des sciences expérimentales, n°10, pp. 3-7.
- [10] Aidoun, A., Mahdi, K., Tarichen, A., Zerhane, R., Madrane, M., Janati-Idrissi, R., & Laafou, M. (2016b). Students' Perceptions on Some Immunological Concepts. In *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 16, Numéro 3. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [11] Gerard, F.-M., Braibant, J.-M., & Thérèse, B. (2006). Évaluer l'efficacité pédagogique d'une formation ou d'un cours à l'aide d'un outil d'autoévaluation. www.ipm.ucl.ac.be.
- [12] MEN. (2012). Guide pédagogique pour l'intégration des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement des sciences de la vie et de la terre dans les classes secondaires préparatoires et secondaires qualifiantes.
- [13] EL Hammoumi, S., Zerhane, R., Janati-Idrissi, R., Madrane, M., & Laafou, M. (2019). L'impact des animations graphiques interactives sur le processus d'enseignement-Apprentissage de la transmission synaptique-Première année Baccalauréat Sciences de la vie et de la terre (Maroc). In *International Journal of Innovation and Applied Studies* (Vol. 25, Numéro 3).
- [14] Cevahir, H., Özdemir, M., & Baturay, M. H. (2022). The Effect of Animation-Based Worked Examples Supported with Augmented Reality on the Academic Achievement, Attitude and Motivation of Students towards Learning Programming. *Participatory Educational Research*, Vol. 9, Numéro 3, pp. 226-247. <https://doi.org/10.17275/per.22.63.9.3>.
- [15] Pinter, R., Radosav, D., Cisar, S. M., & Radosav, D. (2012). Analyzing the Impact of Using Interactive Animations in Teaching. In *Communications & Control*: Vol. 7, Numéro 1.