

La modélisation numérique dans la démarche d’investigation : Quel impact sur l’acquisition des concepts scientifiques chez les apprenants du primaire?

Sara Ifqiren, Doctorante

Sophia Bouzit, Maitre de Conférences

Ihsane Kouchou, Maitre de Conférences

Sabah Selmaoui, PES

Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Education et Formation, Ecole Normale Supérieure, Université Cadi Ayyad, Maroc

[Doi:10.19044/esj.2025.v21n13p167](https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n13p167)

Submitted: 07 March 2025

Accepted: 12 May 2025

Published: 31 May 2025

Copyright 2025 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Ifqiren S., Bouzit S., Kouchou I. & Selmaoui S. (2025). *La modélisation numérique dans la démarche d’investigation : Quel impact sur l’acquisition des concepts scientifiques chez les apprenants du primaire?*. European Scientific Journal, ESJ, 21 (13), 167.

<https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n13p167>

Résumé

Dans cette recherche nous cherchons à évaluer l’impact de la modélisation numérique dans la démarche d’investigation sur l’acquisition des concepts scientifiques liées aux sciences de la vie par les élèves du primaire. Dans le cadre d’une démarche de recherche-action réalisée au sein d’un établissement privé de Marrakech, deux groupes d’élèves de 6^{ème} année primaire, composés de 18 enfants âgés de 10 à 11 ans, ont été impliqués dans l’étude. La collecte des données s’est déroulée en plusieurs phases ; un pré-test sous forme d’une évaluation diagnostique écrite a été administré aux apprenants, après un post-test sous forme d’une évaluation sommative écrite a été effectué pour comparer les progrès réalisés dans chaque groupe et évaluer l’impact de la modélisation numérique sur la compréhension des concepts scientifiques. L’analyse des résultats du pré-test et du post-test met en évidence l’impact de la modélisation numérique sur la compréhension des concepts liés à la reproduction humaine. Au départ, les deux groupes (témoin et expérimental) affichaient des niveaux de connaissances similaires en relation avec la reproduction humaine. Cependant, le post-test met en évidence une amélioration conceptuel notable chez le groupe expérimental.

L'intégration des modèles numériques sous forme de simulations de phénomènes biologiques, tels que la fécondation et le cycle menstruel, pour aider les élèves à visualiser et comprendre ces processus complexes de manière interactive et dynamique semble avoir facilité une organisation plus structurée des connaissances liées à la reproduction chez l'Homme. Les résultats indiquent que les outils d'investigation tels que la modélisation numérique, contribuent à une meilleure compréhension des phénomènes biologiques complexes.

Mots clés : Modélisation numérique, concepts scientifiques, démarche d'investigation, Sciences de la Vie, primaire

Digital modelling in the investigation process: What impact does it have on acquiring scientific concepts for primary school learners?

Sara Ifqiren, Doctorante

Sophia Bouzit, Maitre de Conférences

Ihsane Kouchou, Maitre de Conférences

Sabah Selmaoui, PES

Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Didactique, Education et Formation, Ecole Normale Supérieure, Université Cadi Ayyad, Maroc

Abstract

In this research, we seek to evaluate the impact of digital modelling in the investigative process on primary school learners' acquisition of scientific concepts related to life sciences. As part of an action-research approach carried out in a private school in Marrakech, two groups of 6th-grade primary students, composed of 18 children aged 10 to 11, were covered in the study. Data collection took place over several phases; A pre-test in the form of a written diagnostic assessment was administered to the learners, after a post-test in the form of a written summative assessment was carried out to compare the progress made in each group and to assess the impact of digital modelling on the understanding of scientific concepts. The analysis of the pre-test and post-test results highlights the impact of digital modelling on the understanding of concepts related to human reproduction. Initially, the two groups (control and experimental) had similar levels of knowledge related to human reproduction. However, the post-test showed a noteworthy conceptual improvement for the experimental group. The integration of digital models in the form of simulations of biological phenomena, such as fertilization and the

menstrual cycle, to help students visualize and understand these complex processes in an interactive and dynamic manner seems to have facilitated a more structured organization of knowledge related to human reproduction. The results indicate that investigative tools such as digital modelling contribute to a better understanding of complex biological phenomena.

Keywords: Digital modelling, investigative process, life sciences, primary school, scientific concepts

Introduction

Dans le contexte de l'Afrique francophone, notamment au Maroc, les réformes éducatives concernant l'enseignement des disciplines scientifiques, y compris les Sciences de la Vie et de la Terre, visent à adopter des méthodes pédagogiques fondées sur l'investigation, dans le but de s'éloigner des approches pédagogiques excessivement déductives (Rocard et al., 2007). Des travaux récents ont montré que la modélisation scientifique dès l'école primaire favorise l'intégration des savoirs complexes et le développement de la pensée critique (Arias, Davis & Palincsar, 2023).

Comme à l'échelle éducative internationale, le Maroc a adopté la démarche d'investigation dans l'enseignement des sciences, visant la compréhension des phénomènes naturels, avec une nomenclature évoluant selon les contextes éducatifs et les réformes de chaque pays. Dans le contexte marocain en 2015 dans la vision 2015-2030 au LEVIER 12 : Développement d'un modèle pédagogique ouvert, diversifié, performant et novateur. La démarche d'investigation est implicitement citée comme parmi les méthodes scientifiques et expérimentales que l'apprenant au primaire doit s'en initier, puis la désignation par « la démarche d'investigation » a été introduite dans le Programme révisé de l'éveil scientifique de l'enseignement primaire au Maroc en 2000.

Le programme révisé de l'éveil scientifique de l'enseignement primaire au Maroc propose trois types d'activités méthodologiques à adopter lors de l'enseignement des leçons de l'éveil scientifiques : les activités de construction des concepts, les activités d'application, d'évaluation et du soutien et les activités d'investissement et de prolongation.

C'est dans le cadre des activités de construction des concepts que le programme insère le recours à la démarche d'investigation en sept étapes : la situation initiale, la formulation de la question d'investigation, présentation des hypothèses, précision de la charte du travail, l'investigation et la confrontation aux hypothèses, présentation et échange des résultats et la généralisation.

D'après mon expérience en tant qu'enseignante en SVT, la démarche d'investigation peut intégrer la modélisation numérique, à condition d'adapter

ses objectifs en fonction des différentes étapes de cette démarche. Par exemple, un schéma récapitulatif ou un schéma synthétique peut servir de conclusion (avant-dernière étape de la démarche d'investigation), tout en pouvant aussi être utilisé comme point de départ lors de la phase d'initiation pour poser des questions.

La démarche d'investigation demande l'engagement des apprenants d'une façon autonome sous la direction de l'enseignant. Les modèles, en tant que représentations simplifiées des phénomènes complexes, permettent de mieux les comprendre, de les expliquer ou de les prédire. Ces modèles numériques, comme les simulations informatiques, représentent ainsi des outils permettant aux apprenants de résoudre un problème scientifique, et de mener leurs investigations. Selon Evagorou et Nielsen (2020), lorsque la modélisation est intégrée dans des démarches d'investigation, elle renforce l'autonomie cognitive, la capacité à raisonner scientifiquement et l'engagement des élèves.

Dans les Sciences de la Vie, la modélisation consiste à établir des liens entre le « monde réel » et le « monde des modèles ». Ces liens peuvent posséder un caractère analogique, c'est-à-dire concevoir un système physique capable de reproduire, de manière approximative, un phénomène que l'on souhaite étudier, ou bien d'ordre mathématique, en élaborant un ensemble de fonctions mathématiques décrivant ce phénomène. Elle favorise également la construction d'explications causales et de prédictions cohérentes, processus clés pour une compréhension scientifique approfondie (Cheng, Lin & Tsai, 2020).

Cependant, quelle que soit sa nature, la modélisation ne constitue pas une activité destinée à reproduire la réalité, mais plutôt à élaborer un modèle capable de décrire et d'expliquer le phénomène en question. Pour permettre aux apprenants de saisir un phénomène particulier, il est nécessaire d'adopter une approche de simplification et de progression. L'enseignant doit en tenir compte en recourant à des modèles pour enseigner des concepts liés aux sciences naturelles, tout en mettant l'accent sur une ou plusieurs de ses caractéristiques essentielles, en fonction des objectifs visés.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration des pratiques d'enseignement des Sciences de la Vie au cycle primaire au Maroc, en mettant particulièrement l'accent sur l'utilisation des modèles informatiques pour faciliter la compréhension de phénomènes biologiques tels que la reproduction humaine. La modélisation numérique, dans le cadre de notre recherche, fait référence à l'utilisation de simulations informatiques pour représenter le phénomène de la reproduction humaine de manière visuelle et interactive. Les modèles informatiques utilisés dans cette étude permettent d'illustrer des processus comme le cycle menstruel, la fécondation, et les étapes de la grossesse. Ces simulations offrent aux apprenants une représentation

dynamique et détaillée des phénomènes, ce qui les aide à visualiser et à mieux comprendre les mécanismes sous-jacents. En utilisant ces modèles, les élèves peuvent explorer différentes étapes du phénomène et observer les interactions entre les variables de manière que les méthodes traditionnelles d'enseignement ne permettent pas toujours. Les environnements numériques interactifs, tels que les simulations, améliorent significativement la compréhension des phénomènes biologiques abstraits comme la reproduction humaine (Lee, Pallant & Tinker, 2022).

Cette étude évalue également l'impact de la modélisation numérique sur les apprenants du primaire, en analysant comment cette démarche influe sur leur compréhension de la reproduction chez l'Homme.

Il est à noter que les compétences et les connaissances que le curricula de l'éveil scientifique vise à installer chez les apprenants incitent les enseignants à utiliser des modèles scientifiques dans les différentes phases de la démarche d'investigation (Programme révisé, 2019). Nous, à travers ce travail, visons étudier cette dualité : l'utilisation des modèles scientifiques par les enseignants du primaire et l'adoption de la démarche d'investigation, tout en essayant de répondre à la question de recherche suivante : Quel est l'impact de l'adoption de la modélisation dans l'approche par investigation sur l'acquisition des concepts scientifiques par les apprenants du primaire ? Afin de répondre à cette question, nous avons adopté la méthodologie décrite ci-dessous.

Méthodologie de recherche

Contexte de l'étude

Cette étude s'inscrit dans une démarche de recherche-action menée au sein d'un établissement privé de Marrakech, en impliquant deux groupes de 6^{ème} année primaire (C6a et C6b), comprenant chacun 18 élèves âgés de 10 à 11 ans. La sélection de cet échantillon est motivée par le souhait d'assurer une certaine homogénéité sociale afin de réduire l'impact des facteurs contextuels externes. En collaborant avec deux groupes d'élèves provenant du même établissement, nous avons veillé à ce que les apprenants soient exposés de manière équivalente aux différentes méthodes pédagogiques et aux ressources éducatives disponibles.

Cette démarche de recherche-action, menée en contexte réel d'enseignement, vise à la fois à produire des connaissances sur l'impact de la modélisation numérique dans l'apprentissage scientifique et à améliorer les pratiques pédagogiques en Sciences de la vie au primaire.

Conformément aux principes de la recherche-action, elle a débuté par l'identification d'une problématique de terrain : les difficultés rencontrées par les élèves dans l'appropriation de concepts biologiques complexes tels que la reproduction. En réponse à cela, une séquence pédagogique innovante, fondée

sur l'intégration de simulations et animations interactives, a été conçue et mise en œuvre en étroite collaboration avec les enseignants.

L'expérimentation a été accompagnée d'un dispositif d'observation et de collecte de données (pré-tests, post-tests, observations en classe), permettant d'analyser les effets de l'intervention sur les apprentissages et d'ajuster la séquence pédagogique, dans une dynamique d'amélioration continue.

Méthodologie de collecte des données

La collecte des données s'est déroulée en plusieurs phases afin d'évaluer l'impact des modèles informatiques sur l'apprentissage des phénomènes scientifiques. Cette action s'est étalée sur une période de 1 mois et demi ; depuis le 18 Mars jusqu'à le 09 Mai 2024.

Séances d'observation initiales

Dans un premier temps, des séances d'observation ont été réalisées au sein des deux classes (au total 18 séances) ; Chaque séance d'observation avait une durée moyenne de 45 minutes. Les observations ont été réparties sur une période de 6 semaines, à raison de 2 séances par semaine dans chacune des deux classes. Ces observations avaient un double objectif : d'une part, se familiariser avec l'ambiance générale des classes pour mieux contextualiser l'étude ; d'autre part, collecter des données empiriques permettant d'identifier les pratiques susceptibles d'influencer les conceptions ou les apprentissages des élèves en lien avec la problématique de recherche. Ainsi, ces observations constituent une base essentielle pour comprendre le contexte d'enseignement-apprentissage, repérer d'éventuelles variables explicatives et enrichir l'analyse des résultats obtenus lors des autres phases de la recherche.

Pour la collecte des données, des notes ethnographiques prises pendant et après chaque séance, permettant de recueillir des éléments plus qualitatifs sur l'ambiance, les interactions informelles et les réactions des élèves. Dans certains cas, des enregistrements audios ont été réalisés pour compléter les notes, notamment lors des échanges collectifs.

Pré-test :

Ensuite un pré-test sous forme d'une évaluation diagnostique qui avait une double finalité, d'une part, elle servait à repérer les lacunes persistantes liées aux concepts généraux de la reproduction, en s'appuyant sur les acquis antérieurs des élèves, notamment la reproduction chez les animaux, déjà étudiée, d'autre part, elle permettait d'identifier les représentations initiales spécifiques que les apprenants pouvaient avoir sur la reproduction chez l'Homme, thématique nouvelle à ce stade du programme.

Cette évaluation s'inscrit dans une perspective diagnostique élargie, tenant compte du fait que l'apprenant n'est pas une "feuille blanche", et que toute nouvelle notion est construite à partir de savoirs antérieurs et de conceptions préexistantes.

Le pré-test a donc bien été conçu comme un outil d'exploration préalable, à la fois des acquis et des représentations, dans une logique d'analyse didactique et non simplement de remédiation.

Séquences de cours sur la reproduction chez l'Homme :

Mise en place de deux séquences similaires selon une approche d'investigation scientifique sur le thème « Reproduction chez l'Homme : cycle menstruel, fécondation, grossesse et accouchement ». Une seule variable a été soumise au test :

- C6a (groupe Témoin) : Adoption de l'analyse documentaire comme outil d'investigation.
- C6b (groupe expérimental) : Utilisation de la modélisation numérique durant la phase d'investigation active, plus précisément lors de l'étape d'exploration des hypothèses et de visualisation des phénomènes biologiques (comme le cycle menstruel et la fécondation). Concrètement, les élèves du groupe expérimental ont utilisé une simulation numérique interactive via une application en ligne qui permettait de visualiser le déroulement du cycle menstruel, la rencontre des gamètes, le processus de fécondation, puis les différentes étapes de la grossesse jusqu'à l'accouchement.

Ce type de modélisation dynamique visait à favoriser une compréhension systémique et chronologique de phénomènes abstraits difficiles à observer directement. Elle a été utilisée comme support d'analyse, de discussion collective, puis de synthèse.

Nous avons donc précisé dans le texte à quelle étape de la séquence la modélisation est intervenue, quel type d'outil a été utilisé, et quelle était sa fonction pédagogique dans la démarche d'investigation.

Chaque séquence comporte cinq étapes structurées selon la démarche scientifique d'investigation :

- Recueil des conceptions initiales pour identifier les idées préalables des apprenants concernant le thème étudié.
- Émergence des questions et hypothèses : discussion interactive pour formuler des hypothèses sur les phénomènes étudiés (cycle menstruel, fécondation, grossesse et accouchement)
- Vérification des hypothèses : pour la classe C6b nous avons utilisé la simulation numérique et des animations interactives pour visualiser les phénomènes liés à la reproduction humaine, tandis que pour la classe

C6a un recours à l'analyse documentaire a été choisi comme outil d'investigation.

- Institutionnalisation et conclusion : synthèse des résultats et validation collective des connaissances.
- Mise en application : Activités pratiques pour appliquer les concepts appris.

Dans cette étude, la modélisation numérique sous forme de simulations et d'animations interactives a été utilisée comme outil d'investigation, permettant aux élèves de vérifier les hypothèses qu'ils ont formulées au début de la séquence en relation avec la reproduction humaine. Ce choix s'inscrit dans le cadre de la démarche d'investigation adoptée dans les manuels d'éveil scientifique du primaire marocain, qui visent à développer chez les apprenants dès le cycle primaire des compétences de questionnement, d'émission d'hypothèses et de recherche scientifique.

Ces outils numériques interactifs ont permis aux élèves de visualiser des phénomènes biologiques abstraits, tels que la fécondation et le cycle menstruel, et de confronter leurs représentations initiales à des modèles scientifiques dynamiques, renforçant ainsi leur compréhension et leur autonomie dans la construction du savoir.

Post-test

Enfin un post-test sous forme d'une évaluation sommative écrite a été effectué pour comparer les progrès réalisés dans chaque groupe et évaluer l'impact de la modélisation numérique sur la compréhension des concepts scientifiques.

Analyse des Données

- Données quantitatives analysées avec IBM SPSS Statistics 20 et Microsoft Excel 365.
- Analyse comparative des résultats entre les deux groupes (expérimental et témoin).
- Calcul des moyennes, écarts-types et tests statistiques (ex. : test du χ^2) pour évaluer l'impact de la modélisation numérique sur l'acquisition des connaissances en relation avec la reproduction humaine.

Résultats

Analyse du pré-test :

Question 1 : Quel événement marque le début du cycle menstruel chez les filles ?

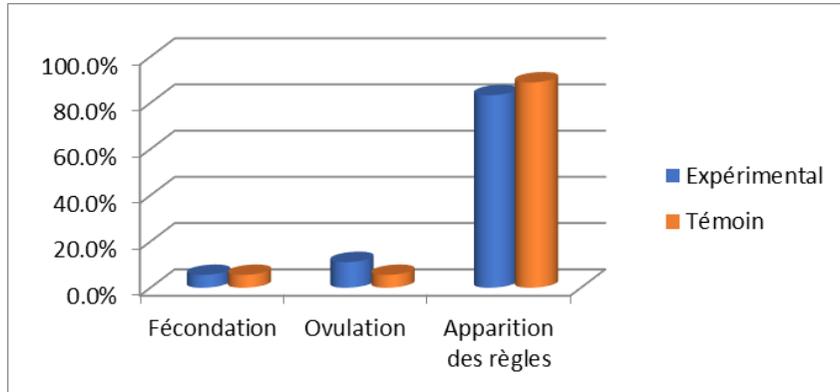


Figure 1 : Répartition des réponses des apprenants concernant l'événement qui marque le début du cycle menstruel chez la femme

Dans cette question, nous avons demandé aux apprenants de déterminer l'événement qui marque le début du cycle féminin. Les résultats obtenus montrent que la majorité des élèves (86,1%) des deux groupes (témoïn et expérimental) a opté pour la réponse « Apparition des règles », qui est la bonne réponse (Fig.1). Par contre 13,9% des élèves enquêtés ont choisi respectivement l'ovulation (8,3%) et la fécondation (5,6%) comme étant les premières phases du cycle féminin (Fig.1).

D'après les résultats obtenus, il nous semble que les apprenants interrogés ont des connaissances correctes au sujet de l'événement qui intervient dans le déroulement du cycle féminin (apparition des règles) ainsi que son emplacement dans ce cycle.

Question 2 : Où se produit la fécondation ?

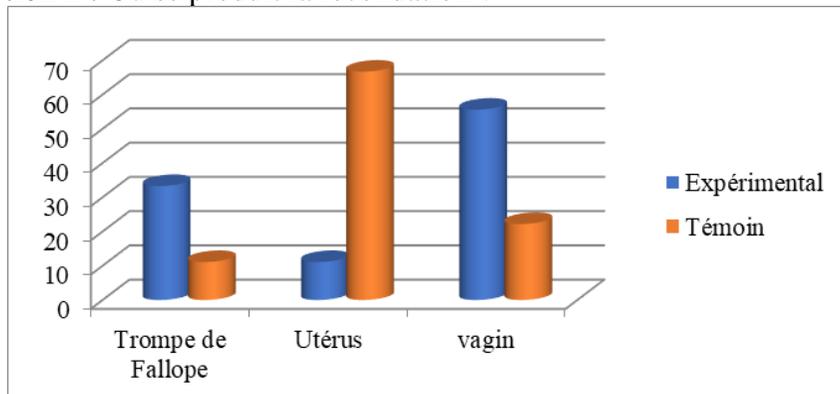


Figure 2 : Répartition des réponses des apprenants concernant le lieu de la fécondation chez la femme

À travers cette question, nous avons sollicité les apprenants de déterminer le lieu de déroulement de la fécondation chez la femme, à savoir que « Trompes de Fallope » est la bonne réponse à cocher (Fig.2). D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué que les 22,2% des élèves enquêtés des deux groupes ont opté pour les Trompes de Fallope comme étant le lieu de déroulement de la fécondation. Pourtant « Utérus » a été la réponse choisie par les apprenants du groupe témoin (66,7%) et « Vagin » est choisi par les apprenants du groupe expérimental (55,6%) (Fig.2). Ces données montrent la présence des conceptions erronées chez l'ensemble des apprenants interrogés concernant le lieu de déroulement de la fécondation.

Question 3 : Où s'effectue le développement de la cellule-œuf après la fécondation ?

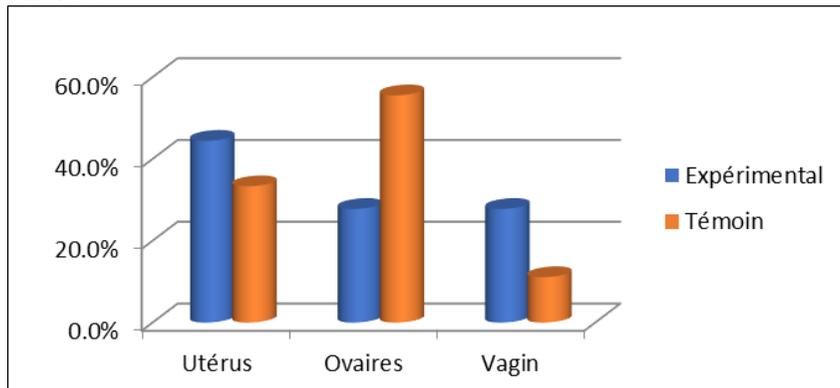


Figure 3 : Répartition des réponses des apprenants concernant le lieu du développement de la cellule-œuf après la fécondation

Dans cette question, nous avons demandé aux apprenants de déterminer le lieu de développement de la cellule-œuf après la fécondation (Fig.3). La plupart des apprenants du groupe témoin (55,6%) a choisi les « oaires », tandis que 44,4% des apprenants du groupe expérimental ont choisi la bonne réponse qui est « l'utérus » et le « vagin » est choisi par 19,4% des apprenants des deux groupes (Fig.3). D'après les résultats obtenus, nous pouvons dire que les apprenants mélangent entre le lieu du déroulement de l'ovulation et celui de la fécondation.

Note du pré-test

Lors de la correction des feuilles du pré-test des deux groupes nous avons adopté une échelle pour noter les réponses des apprenants.

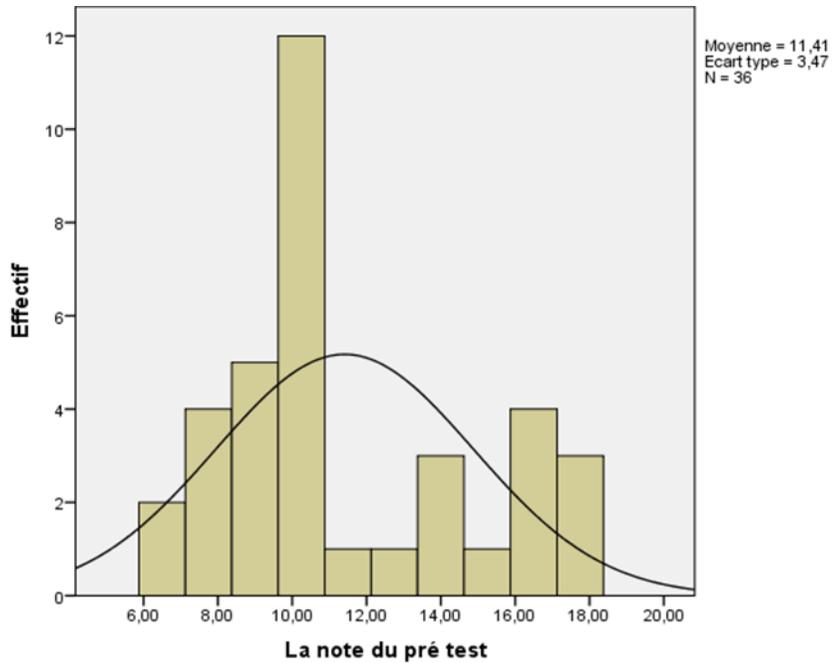


Figure 4 : Pré-test : répartition des résultats (moyenne et écart-type)

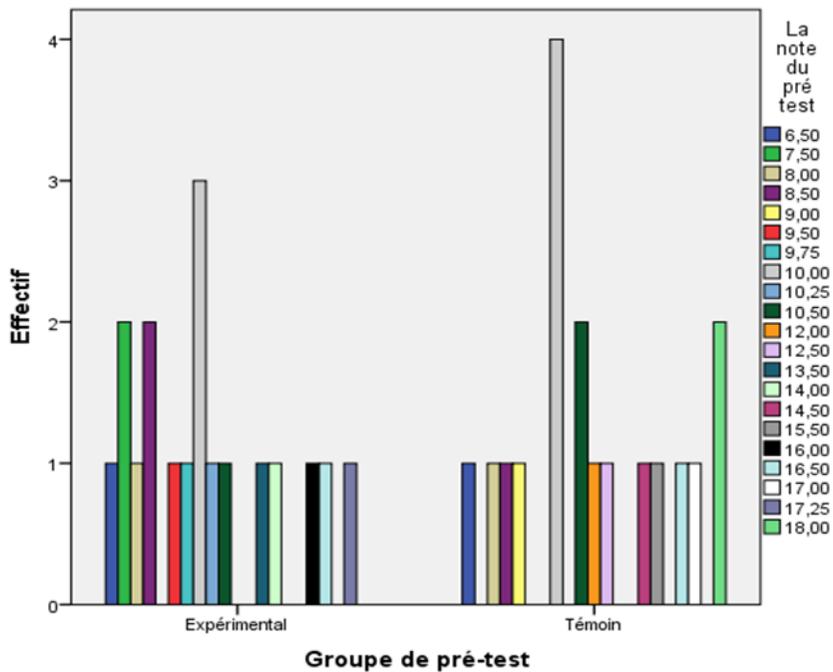


Figure 5 : Répartition des notes obtenues par le groupe témoin et le groupe expérimental au pré-test

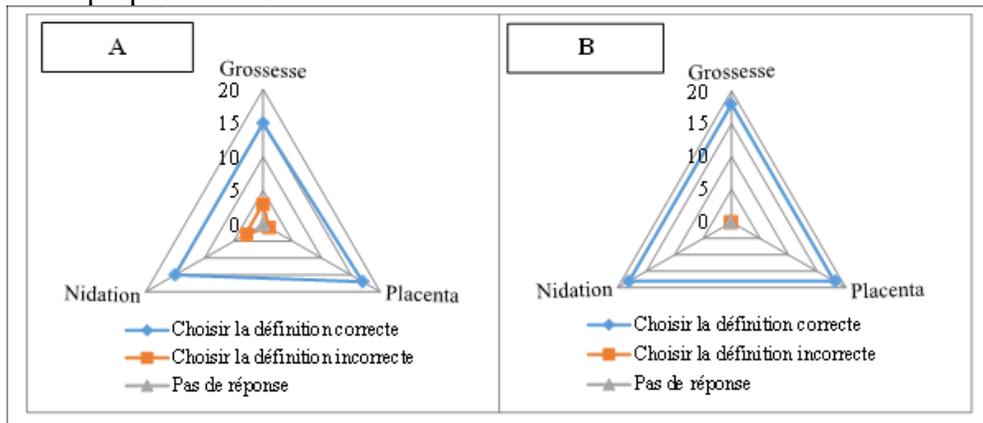
La moyenne du pré-test réalisé est 11.41 ; en plus la plupart des apprenants ont eu des notes qui varient entre 10 et 10,5. En comparant les moyennes des deux groupes à l'aide du test t, on trouve qu'il n'y a pas une différence significative entre le groupe témoin et le groupe expérimental ; ceci veut dire que la majorité des apprenants ont un bagage conceptuel restreint à propos de la reproduction chez l'Homme.

Analyse du post-test

Le post-test est destiné aux mêmes apprenants qui ont répondu au pré-test. Il s'agit d'une évaluation sommative (voir annexe) qui touchent l'ensemble des connaissances et compétences acquises lors de séances assurées en relation avec la reproduction chez l'Homme, pour le groupe témoin et le groupe expérimental.

Exercice 1

Dans cet exercice nous demandons aux apprenants de relier chaque terme proposé avec sa définition.



Tous les apprenants du groupe expérimental ont correctement associé les termes proposés à leurs définitions, tandis que certains apprenants du groupe témoin n'ont pas réussi à relier les termes « grossesse » et « nidation » à leurs définitions appropriées.

Exercice 2

Dans cet exercice nous demandons aux apprenants de chasser le terme intrus dans 4 listes (voir annexe), afin de savoir si les apprenants peuvent différencier entre les termes utilisés dans les champs contextuels abordés dans le cours.

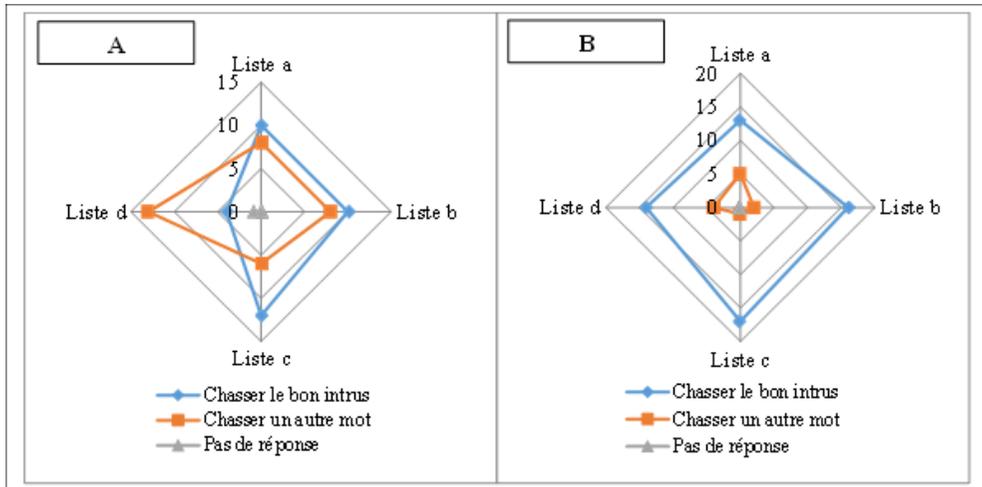


Figure 7 : Identification de l'élément intrus (A : Groupe témoin/ B : Groupe expérimental)

La majorité des apprenants du groupe expérimental a correctement identifié l'intrus dans chacune des quatre listes (Fig.7) :

- Liste a : 17 sur 20, soit 85 % de réussite
- Liste b : 16 sur 20, soit 80 %
- Liste c : 18 sur 20, soit 90 %
- Liste d : 17 sur 20, soit 85 %.

Ces résultats montrent une très bonne assimilation des distinctions terminologiques abordées dans le cours de la reproduction humaine, confirmant que l'intervention pédagogique appliquée (adoption de la simulation et des animations interactives) à ce groupe a eu un effet positif sur leur capacité d'analyse lexicale.

Dans le groupe témoin, les résultats sont plus contrastés :

Listes a et b : 10 apprenants sur 20 ont identifié correctement l'intrus, soit 50 % de réussite, tandis que 8 ont choisi un autre mot et 2 n'ont pas répondu ;

Liste c : 12 apprenants ont bien répondu (soit 60 %) ;

Liste d : seulement 6 apprenants ont identifié le bon intrus (30 %), tandis que 13 ont sélectionné un autre mot.

Ces résultats suggèrent que les apprenants du groupe témoin rencontrent des difficultés à distinguer les termes liés au champ contextuel traité dans le cours de la reproduction chez l'Homme.

Exercice 3

Dans cet exercice nous demandons aux apprenants de légénder à l'aide des termes donnés le document proposé qui montre le schéma de l'appareil génital de la femme en phase de grossesse :

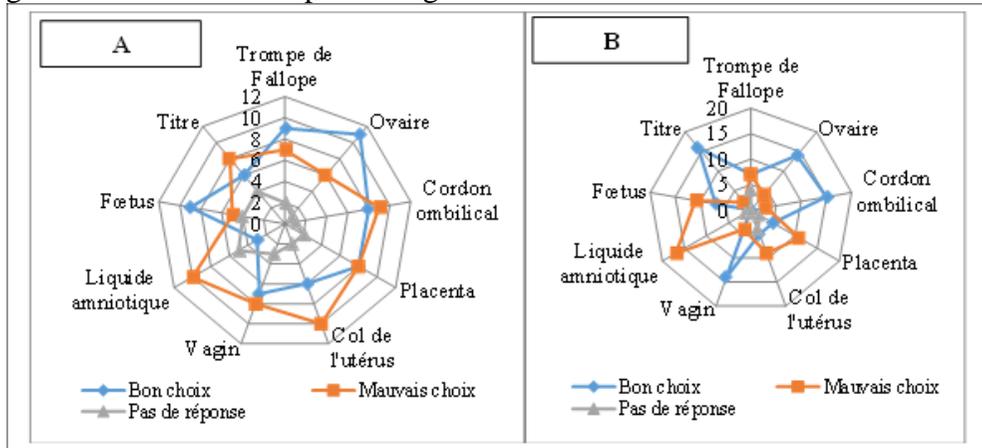


Figure 8 : Sélection des termes correspondant au schéma proposé
 (A : Groupe témoin / B : Groupe expérimental)

Les apprenants des deux groupes ont rencontré des difficultés à lire correctement le schéma proposé.

La majorité des apprenants du groupe expérimental n'a pas pu identifier certains éléments, en particulier le placenta, le liquide amniotique et le col de l'utérus. En revanche, les résultats du groupe témoin montrent une difficulté encore plus marquée, car la plupart des apprenants n'ont pas su reconnaître la majorité des éléments du schéma, à l'exception de l'ovaire, de la trompe de Fallope et du fœtus. L'analyse par le test du Chi-deux d'indépendance confirme l'existence de divergences significatives dans les réponses des apprenants des deux groupes.

Note du post test :

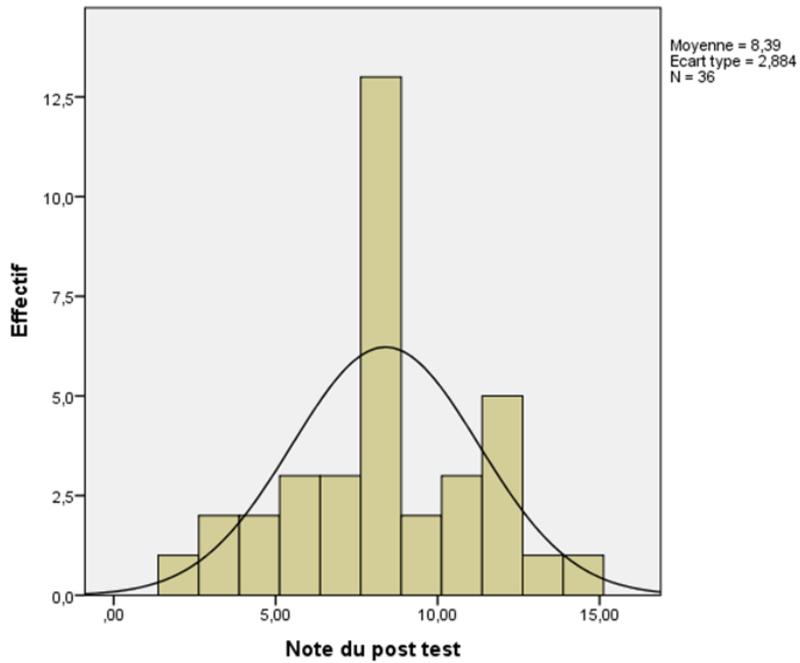


Figure 9 : Post-test : répartition des résultats (moyenne et écart-type)

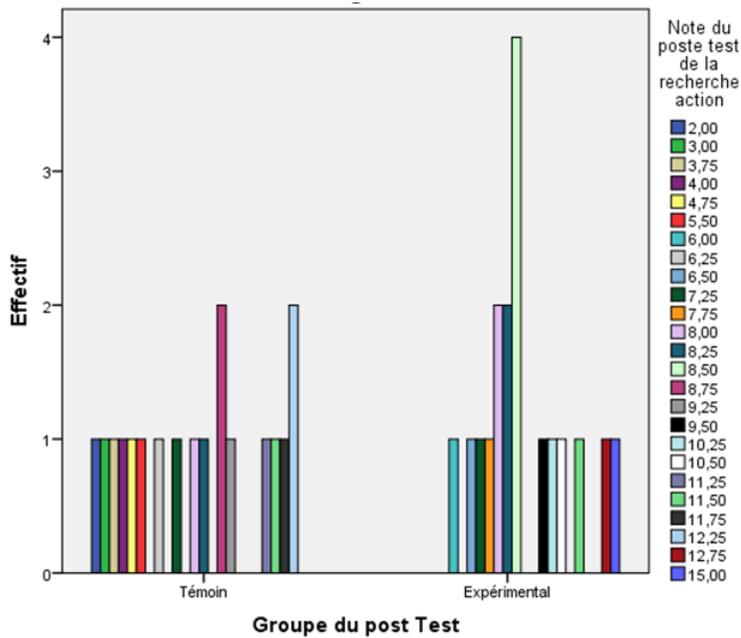


Figure 10 : Répartition des notes obtenues par le groupe témoin et le groupe expérimental au post-test

La moyenne du post-test réalisé est 8,39. En tenant compte du fait que les apprenants du groupe expérimental ont pu répondre correctement à la majorité des questions du post test par rapport aux apprenants du groupe témoin, on peut dire que les apprenants du groupe expérimental ont pu développer des connaissances et des compétences plus stables et correctes par rapport aux apprenants du groupe témoin à propos de la reproduction chez l'Homme. Ce résultat est en cohérence avec les travaux de Arias, Davis et Palincsar (2023), qui montrent que les modèles interactifs aident à reconstruire les représentations initiales erronées chez les élèves.

Discussion

Cette analyse compare les résultats des pré-tests et post-tests réalisés auprès des groupes témoin et expérimental afin d'évaluer les connaissances sur la reproduction chez l'Homme. Les résultats révèlent une amélioration significative des performances du groupe expérimental après l'intervention pédagogique. Cette progression s'explique notamment par l'utilisation de la modélisation scientifique comme outil d'investigation, qui permet aux élèves de représenter, manipuler et discuter des concepts complexes de manière dynamique. De Jong, Sotiriou et Gillet (2021) soulignent que les simulations numériques permettent aux élèves de manipuler virtuellement des variables, renforçant ainsi leur compréhension des systèmes dynamiques en biologie. Des études ont montré que cette approche favorise la conceptualisation et renforce les apprentissages en sciences (Justi & Gilbert, 2002 ; Louca & Zacharia, 2012). Par exemple, Justi et Gilbert (2002) ont souligné que la construction et l'évaluation de modèles permettent aux élèves de mieux comprendre les phénomènes scientifiques en leur donnant une structure explicative. De même, Louca et Zacharia (2012) ont démontré que les activités de modélisation développent non seulement les connaissances scientifiques mais aussi les compétences de raisonnement et de réflexion critique. Ces résultats sont également en accord avec l'approche du Modeling Instruction développée par Hestenes (1992), qui a montré une amélioration significative de la compréhension conceptuelle chez les élèves lorsqu'ils participent activement à l'élaboration et à la révision de modèles scientifiques.

Concernant le pré-test, les deux groupes présentaient des niveaux de connaissances comparables (moyenne de 11,41), sans différence significative. Cela confirme l'homogénéité initiale des groupes, une condition essentielle pour évaluer l'impact des interventions pédagogiques ultérieures (Cohen et al., 2018).

86,1 % des apprenants identifiaient correctement les règles comme marquant le début du cycle menstruel, en accord avec l'étude sur les représentations sociales des cycles féminins (Rembeck & Möller, 2006).

La faible proportion d'apprenants (22,2 %) ayant correctement localisé la fécondation dans les trompes de Fallope, alors que d'autres optaient pour l'utérus ou le vagin, montre une méconnaissance des processus physiologiques impliqués. Cette confusion reflète, comme le souligne Tunnicliffe (2001), une représentation simplifiée et parfois erronée des événements reproductifs chez l'Homme.

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces constats préliminaires ; bien que certaines études suggèrent que le sexe peut influencer la compréhension de certains concepts biologiques (par exemple, une meilleure connaissance des organes masculins chez les garçons ou une plus grande sensibilité aux questions liées au cycle chez les filles), le test Chi-deux d'indépendance n'a pas permis d'établir de corrélation significative entre le sexe et les erreurs observées. Cette absence de lien confirme que les difficultés identifiées relèvent plus de la complexité des concepts que d'un biais sexuel (Andersen & Ward, 2014).

Dans le post-test, les résultats montrent une amélioration notable des performances du groupe expérimental, notamment dans l'exercice 2, qui consistait à relier des termes scientifiques à leurs définitions. Ce groupe a obtenu un taux de réussite de 100 %, tandis que le groupe témoin a commis plusieurs erreurs dans le même exercice. Cette différence de performance suggère que l'intégration de la modélisation numérique dans une démarche d'investigation a eu un effet positif sur l'assimilation des concepts clés liés au thème étudié. L'usage de cette approche semble avoir favorisé une meilleure structuration des connaissances et une compréhension plus fine des notions abordées.

Ce résultat suggère que l'intégration de la modélisation numérique a contribué à une meilleure compréhension immédiate du vocabulaire spécialisé mobilisé dans l'activité. Toutefois, en l'absence d'un post-test différé, il n'est pas possible de conclure sur une éventuelle consolidation ou mémorisation durable de ces acquis, corroborant les travaux de Hmelo-Silver (2004). La capacité du groupe expérimental de distinguer correctement entre les termes liés à des champs contextuels différents (par exemple, différencier « placenta » de « spermatozoïde ») indique une intégration distinctive des connaissances, conformément aux principes de l'apprentissage significatif (Ausubel, 1963).

Dans l'exercice 1, Les résultats du groupe expérimental indiquent une bonne compréhension des concepts clés, probablement grâce à l'approche pédagogique innovante utilisée (simulations/animations interactives). Le groupe témoin montre des lacunes, en particulier sur des notions souvent confondues ou abstraites comme « nidation », ce qui suggère que l'enseignement classique est moins efficace pour ancrer ces concepts.

Certaines erreurs de légende observées chez le groupe expérimental (exercice 3), notamment concernant le placenta et le liquide amniotique,

peuvent être dues à la complexité de ces concepts, qui nécessitent une compréhension précise de leur fonction et de leur position dans le corps humain. Bien que l'interaction avec la modélisation numérique ait amélioré la compréhension de nombreux éléments clés, il est possible que certains aspects, plus abstraits, n'aient pas été aussi facilement identifiables lors de l'exercice. Ces erreurs peuvent également être liées à la nature spécifique des termes scientifiques, qui demandent parfois une révision ou un approfondissement supplémentaire pour assurer une parfaite assimilation. Les apprenants du groupe témoin ont eu encore plus de difficultés, car ils n'ont pu identifier correctement l'ovaire, la trompe de Fallope et le fœtus, suggérant une reconnaissance limitée des structures du schéma.

Le contraste entre les résultats du groupe témoin et expérimental met en évidence que ce dernier a réussi à surmonter certaines confusions initiales, notamment en ce qui concerne la fonction des gamètes et l'assignation correcte des rôles des organes reproducteurs. Ces progrès soutiennent l'hypothèse selon laquelle des interventions pédagogiques bien ciblées peuvent améliorer l'apprentissage des concepts complexes en sciences (Hattie, 2009).

La moyenne du pré-test était de 11,41, avec des résultats homogènes entre le groupe témoin et le groupe expérimental. Toutefois, après l'intervention, la moyenne du post-test a chuté à 8,39. Ce résultat peut être interprété de plusieurs manières :

- Bien que le post-test ait mobilisé des compétences plus complexes que le pré-test ; en demandant notamment une capacité d'analyse et de discrimination lexicale fine, les résultats du groupe expérimental montrent qu'ils ont su transférer les savoirs acquis grâce à l'intervention pédagogique, ce qui témoigne d'un réel apprentissage en profondeur.
- Une transition entre connaissances erronées et construction de nouveaux savoirs : Comme l'expliquent les modèles constructivistes de l'apprentissage, la révision de conceptions initiales erronées peut temporairement déstabiliser les apprenants.
- L'analyse des résultats met en évidence un impact différencié selon les groupes. Le groupe expérimental a montré une meilleure assimilation des concepts abordés, notamment en ce qui concerne la précision lexicale et la compréhension des processus biologiques comme la nidation ou la grossesse. Cette différence significative peut être attribuée à la stratégie pédagogique mise en œuvre : l'intégration de simulations numériques et d'animations interactives. En mobilisant une approche visuelle et dynamique, ces outils ont favorisé une meilleure conceptualisation des phénomènes complexes de la reproduction humaine, tout en renforçant l'engagement des apprenants. Ces résultats suggèrent que cette stratégie favorise non

seulement l'acquisition de connaissances, mais aussi leur mobilisation dans des tâches cognitives plus élaborées, telles que la discrimination terminologique et la mise en relation de concepts.

La comparaison des moyennes entre les groupes, appuyée par le test Chi-deux d'indépendance, révèle que le groupe expérimental a globalement mieux intégré certains concepts. Ces approches permettent aux apprenants de passer d'une connaissance superficielle à une compréhension plus approfondie, en favorisant la réflexion et la réorganisation des représentations mentales.

Conclusion

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'impact significatif des interventions pédagogiques structurées, notamment celles intégrant la modélisation numérique dans une démarche d'investigation, sur l'amélioration des connaissances des apprenants concernant le système reproducteur humain. L'approche utilisée repose sur l'utilisation de simulations interactives et de modèles numériques dynamiques, permettant aux élèves d'explorer activement les concepts scientifiques, de formuler et tester des hypothèses, et de visualiser des processus biologiques habituellement abstraits tels que la fécondation ou la nidation.

Cette stratégie pédagogique s'inscrit dans le champ des méthodes actives d'apprentissage, dont l'efficacité a été largement démontrée dans l'enseignement des sciences. Les résultats obtenus dans cette recherche confirment les conclusions d'études antérieures telles que celles de Prince (2004) ou encore Hmelo-Silver et al. (2007), qui soulignent que les approches centrées sur l'investigation favorisent non seulement l'engagement cognitif des élèves, mais aussi une compréhension conceptuelle plus approfondie. De même, selon Roediger & Karpicke (2006), la combinaison d'une pédagogie active et de la répétition espacée améliore à la fois la compréhension et la rétention des connaissances.

Dans le cadre de cette recherche, les élèves ayant été exposés régulièrement à des tâches impliquant la modélisation numérique et l'investigation scientifique ont développé une compréhension plus solide des mécanismes biologiques liés à la reproduction humaine. Cheng, Lin et Tsai (2020) affirment que l'intégration de la modélisation dans l'enseignement des sciences engage les élèves dans un processus actif de construction des connaissances basé sur l'explication, la prédiction et la validation scientifique. Ce constat découle directement des résultats obtenus et ne se limite pas aux conclusions des travaux antérieurs. Il met en lumière l'intérêt de concevoir des séquences pédagogiques où les élèves ne se contentent pas de recevoir l'information, mais participent activement à la construction du savoir.

Au-delà de l'aspect purement théorique, cette étude ouvre la voie à des améliorations concrètes des pratiques d'enseignement en SVT. L'intégration raisonnée des outils numériques ne doit pas être perçue comme un simple enrichissement technologique, mais bien comme un levier de transformation pédagogique. En permettant de simuler des phénomènes invisibles ou complexes, les modèles numériques facilitent l'appropriation des savoirs et contribuent au développement des compétences scientifiques, techniques, mais aussi critiques et analytiques.

Il devient dès lors essentiel de concevoir des activités d'enseignement qui articulent modélisation, expérimentation et réflexion métacognitive, afin de proposer aux apprenants des situations d'apprentissage riches et motivantes. L'étude montre également l'importance de varier les stratégies pédagogiques, notamment pour les notions difficiles liées à la reproduction humaine. L'adoption d'approches multisensorielles, alliant collaboration, supports visuels et stratégies de régulation cognitive, apparaît comme une voie prometteuse pour répondre à la diversité des profils d'apprentissage. Malgré les résultats encourageants obtenus, cette étude présente certaines limites qu'il convient de reconnaître :

- **Échantillon restreint et contextuel** : L'étude a été menée auprès d'un nombre limité d'élèves appartenant à un contexte scolaire spécifique (type d'établissement, niveau scolaire, environnement numérique). Les résultats, bien que significatifs, ne peuvent donc pas être généralisés à l'ensemble du système éducatif sans précautions.
- **Durée de l'intervention** : L'expérimentation pédagogique s'est déroulée sur une période relativement courte. Il est possible que les effets positifs observés soient liés à un effet de nouveauté ou à un engagement ponctuel. Une observation à long terme serait nécessaire pour évaluer la stabilité des acquis et leur transfert dans d'autres contextes.
- **Évaluation centrée sur les connaissances** : L'évaluation a principalement porté sur les acquis cognitifs (compréhension, restitution, discrimination lexicale). D'autres dimensions de l'apprentissage (motivation, autonomie, collaboration) n'ont pas été systématiquement mesurées, alors qu'elles peuvent également être influencées par l'usage des outils numériques.
- **Inégalités d'accès au numérique** : Tous les élèves n'ont pas nécessairement le même degré de familiarité avec les outils numériques. Cette hétérogénéité peut influencer leur capacité à tirer pleinement parti des dispositifs proposés.

À partir de ces constats, plusieurs pistes d'approfondissement peuvent être envisagées :

- **Élargissement de l'échantillon** : Il serait pertinent de reproduire cette étude auprès de populations scolaires plus variées (zones rurales/urbaines, différents niveaux scolaires, contextes multilingues) pour vérifier la transférabilité des résultats.
- **Études longitudinales** : Une démarche sur le moyen ou long terme permettrait d'évaluer l'impact durable des modèles numériques sur la compréhension scientifique, ainsi que sur la rétention et le transfert des connaissances.
- **Intégration d'indicateurs socio-affectifs** : De futures recherches pourraient intégrer des dimensions telles que la motivation, l'attitude face aux sciences, ou encore le développement de la pensée critique, afin de mieux cerner les effets globaux de l'approche.
- **Conception de séquences pédagogiques hybrides** : L'intégration de la modélisation numérique dans des séquences combinant également des expériences réelles, des jeux de rôle ou des débats argumentatifs permettrait de diversifier les modalités d'apprentissage et de favoriser un enseignement plus inclusif.
- **Formation des enseignants** : Une réflexion autour de la formation initiale et continue des enseignants à l'utilisation pédagogique des outils numériques est essentielle pour garantir une implémentation efficace et cohérente de ces dispositifs dans les pratiques de classe.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

Déclaration pour les participants humains : L'étude de recherche-action a été approuvée par un comité d'Experts en Didactique des Sciences à l'École Normale Supérieure (ENS), Université Cadi Ayyad de Marrakech. Les participants, apprenants du primaire, ont été informés de l'objectif de l'étude, et leur consentement éclairé a été obtenu. L'anonymat des participants a été rigoureusement préservé, et toutes les informations ont été traitées avec la plus grande confidentialité.

References:

1. Andersen, L., & Ward, T. J. (2014). Expectancy-value models for the STEM persistence plans of ninth-grade, high-ability students. *Journal of Educational Psychology*, 106(3), 629–648. <https://doi.org/10.1037/a0034250>
2. Arias, A. M., Davis, E. A., & Palincsar, A. S. (2023). Promoting model-based reasoning in science classrooms: A synthesis of design principles. *Science Education*, 107(2), 345–367. <https://doi.org/10.1002/sce.21734>
3. Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. Grune & Stratton.
4. Cheng, M., Lin, T. J., & Tsai, C. C. (2020). Scientific modeling for science learning: A review of empirical studies from 2000 to 2019. *Review of Educational Research*, 90(4), 534–567. <https://doi.org/10.3102/0034654320930120>
5. Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2018). *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences* (3rd ed.). Routledge.
6. De Jong, T., Sotiriou, S., & Gillet, D. (2021). Innovations in STEM education: The Go-Lab ecosystem. *Interactive Learning Environments*, 29(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1657412>
7. Evagorou, M., & Nielsen, J. A. (2020). Engaging elementary school students in modeling practices to learn about complex societal issues. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(7), 1097–1126. <https://doi.org/10.1002/tea.21624>
8. Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Routledge.
9. Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian world. *American Journal of Physics*, 60(8), 732–748. <https://doi.org/10.1119/1.17080>
10. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
11. Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273–1292. <https://doi.org/10.1080/09500690210163198>
12. Lee, H. S., Pallant, A., & Tinker, R. (2022). Integrating dynamic simulations into science instruction to enhance students' understanding of scientific concepts. *Science Education*, 106(1), 25–47. <https://doi.org/10.1002/sce.21685>

13. Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2012). Modeling-based learning in science education: Cognitive, metacognitive, social, and cultural perspectives. *Science Education International*, 23(2), 93–102.
14. Programme révisé. (2019). Actualités du curricula pour les quatre premières années du primaire : La directive des curricula (pp. 186–190).
15. Rembeck, S., & Möller, H. (2006). Les représentations sociales du cycle menstruel chez les adolescentes. *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 19(2), 123–140.
16. Roediger, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). Test-enhanced learning: Taking memory tests improves long-term retention. *Perspectives on Psychological Science*, 1(3), 181–210. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x>
17. Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). *L'enseignement scientifique aujourd'hui : Une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*. Commission européenne, Direction de la Recherche. <http://www.inrp.fr/vst/Rapports/DetailEtude.php?&id=674>
18. Tunnicliffe, S. D. (2001). Conceptual development and science education. *International Journal of Science Education*, 23(7), 705–728. <https://doi.org/10.1080/09500690120442>
19. Vision stratégique 2015–2030. (2015). *Conseil Supérieur de l'Éducation, de la Formation et de la Recherche Scientifique*.

Annexe : Evaluation sommative (10/10)

Exercice 1 : Relier par une flèche chaque terme avec la définition convenable : **(3 points)**

Groupe A
Grossesse
Placenta
Nidation
Groupe B
- Implantation de l'embryon dans la paroi utérine.
- Organe qui permet au futur bébé de puiser dans le sang maternel l'eau, les nutriments et l'oxygène nécessaire à son développement.
- Ensembles des phénomènes durant lesquels l'embryon , puis le fœtus , se développe dans l'utérus maternel.

Exercice 2 : Chasser l'intrus dans chacune des listes suivantes : **(4 points)**

a : Spermatozoïde – ovule – placenta – trompe de Fallope.

b : Phase embryonnaire – adolescence – grossesse – phase fœtale.

c : L'hygiène – la chaleur – la respiration – fécondation – l'allaitement maternel

d : Dilatation – ovulation – expulsion – délivrance.

Exercice 3 : Légender le document ci-dessous en utilisant les termes suivants : col de l'utérus, trompe de Fallope, vagin, cordon ombilical, ovaire, placenta, fœtus, liquide amniotique **(3 points)**

- 1 :
- 2 :
- 3 :
- 4 :
- 5 :
- 6 :
- 7 :
- 8 :

