

## **La modélisation dans l'approche par investigation : Quel impact sur l'acquisition des concepts scientifiques au 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/esipreprint.4.2025.p193

Approved: 05 April 2025

Posted: 08 April 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 dans l'approche par investigation : Quel impact sur l'acquisition des concepts scientifiques au primaire?*.

ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.4.2025.p193>

### **Résumé**

Dans cette recherche nous cherchons à évaluer l'impact de la modélisation dans l'approche par investigation sur l'acquisition des concepts scientifiques liées aux sciences naturelles par les apprenants du primaire. À travers une démarche de recherche-action menée au sein d'un établissement privé de Marrakech, impliquant deux groupes de 6<sup>e</sup> année primaire, comprenant chacun 18 élèves âgés de 10 à 11 ans. La collecte des données s'est déroulée en plusieurs phases ; dans un premier temps, des séances d'observation ont été réalisées au sein des deux classes au total de 18 séances. Ensuite 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 des interventions pédagogiques sur la compréhension des concepts liés à la reproduction humaine. Initialement, les deux groupes (témoin et expérimental) présentaient des niveaux de connaissances comparables. Toutefois, le post-test révèle une amélioration

significative chez le groupe expérimental. L'utilisation de la modélisation numérique semble avoir favorisé une structuration plus hiérarchisée des connaissances. Les résultats suggèrent que des stratégies pédagogiques actives et interactives, telles que l'apprentissage collaboratif et la modélisation numérique, favorisent une compréhension plus approfondie des phénomènes biologiques complexes.

---

**Mots clés :** Apprenants du primaire, Approche par investigation, Concepts scientifiques, Modélisation, Sciences naturelles

---

## **Modeling in the Inquiry-Based Approach: What is The Impact on the Acquisition of Scientific Concepts in Primary Education?**

*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**

The aim of this research is to assess the impact of modeling in the inquiry-based approach on the acquisition of scientific concepts related to natural sciences by primary school learners. This study follows an action-based research approach conducted at a private school in Marrakech, involving two 6th-grade groups, each comprising 18 learners aged between 10 and 11 years old. Data collection was conducted over several phases; a total of 18 observation sessions were initially held in both classes. Afterward, the learners took a diagnostic evaluation as a pre-test, followed by a summative assessment as a post-test to compare the progress each group made and to assess the impact of digital modeling on the understanding of scientific concepts. The analysis of the pre-test and post-test results highlights the impact of pedagogical interventions on the understanding of concepts related to human reproduction. Initially, both groups (control and experimental) showed comparable levels of knowledge. However, the experimental group's post-test results show a significant improvement. The use of digital modeling seems to facilitate a more hierarchical structure of knowledge. The results suggest that active and interactive pedagogical

strategies, such as collaborative learning and digital modeling, support an in-depth understanding of complex biological phenomena.

---

**Keywords:** Inquiry-based approach, Modelling, Natural sciences, Primary school learners, 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, abrégées en SVT 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).

Comme à l'échelle éducative internationale, le Maroc a privilégié l'adoption de la démarche d'investigation dans l'enseignement des disciplines scientifiques qui vise la compréhension des phénomènes naturelles, ainsi, la nomenclature de la démarche a évolué 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 en s'initier, puis la désignation par « la démarche d'investigation » a été introduite dans le Programme révisé de l'éveil scientifique de l'enseignement primaire en Maroc en 2019.

La démarche d'investigation est fondée sur le questionnement et sur l'investigation et où l'apprenant est placé au centre de l'action de ses apprentissages, s'interroge, agit de manière raisonnée et communique pour construire son apprentissage tout en étant acteur des activités scientifiques (Darley, 2007). C'est la démarche scientifique adoptée par le programme de l'éveil scientifique marocain au primaire, qui englobe des leçons appartenant aux domaines des sciences physiques et au domaine des sciences naturelles, donc il s'agit d'une démarche altérative de la pédagogie par objectifs (Rolland, 2006).

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 autant qu'enseignante des SVT, la démarche d'investigation au niveau de ses différentes étapes peut faire appel à la modélisation tout en changeant son objectif d'utilisation en fonction des étapes. Par exemples un schéma récapitulatif, un modèle synthétique qui pourra servir d'une conclusion (avant dernière étape de la démarche d'investigation), comme il pourra servir d'un point de départ lors de la situation d'initiation pour poser des questions sur les relations qui sont proposées entre les éléments du modèle et essayer à travers les étapes qui suivent de trouver pourquoi et comment elles ont été établies.

La démarche d'investigation demande l'engagement des apprenants dans un travail d'investigation scientifique d'une façon autonome sous la direction de l'enseignant. Les modèles représentent ainsi des outils permettant aux apprenants de résoudre un problème scientifique, de conduire leurs investigations et de donner du sens aux tâches dans lesquelles ils sont engagés (Sanchez, 2008). L'utilisation des modèles dans une stratégie d'apprentissage actif peut constituer l'un des facteurs de motivation associés aux sciences (Tuan, 2005).

Dans les sciences naturelles, 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.

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.

Le rôle de l'enseignant dans le choix des bons modèles à utiliser ainsi que l'étape convenable de la démarche d'investigation dans laquelle il va être exploité par les apprenants reste primordiale car c'est lui qui doit proposer et mettre en place une pédagogie (socio) constructiviste permettant aux apprenants de construire et intégrer les nouveaux savoirs (Labédie & Amossé, 2001).

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'amélioration des pratiques d'enseignement relatives à l'utilisation des modèles en Sciences de la Vie et

de la Terre au cycle primaire au Maroc, tout en évaluant l'impact de la modélisation auprès des apprenants du primaire dans leur compréhension d'un phénomène donné.

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 à 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<sup>e</sup> 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 méthode permet d'améliorer la fiabilité des comparaisons entre les deux groupes et d'appréhender de manière plus précise les impacts des variables examinées (Treagust, 1991).

### **Méthodologie de collecte des données**

La collecte des données s'est déroulée en plusieurs phases afin d'évaluer l'impact de la modélisation numérique sur l'apprentissage des phénomènes scientifiques. Cette action s'est étalée sur une période de 1 mois et demi ; depuis le mois de Mars au mois de Mai 2024.

### **Séances d'observation initiales**

Dans un premier temps, des séances d'observation ont été réalisées au sein des deux classes au total de 18 séances, afin d'analyser les pratiques pédagogiques de l'enseignant ; en mettant l'accent sur la dynamique et l'atmosphère de la classe, l'aspect de l'enseignement, le degré d'engagement des apprenants dans la mise en place de nouveaux apprentissages et la nature

des ressources pédagogiques employées. Et pour mieux nous familiariser avec l'ambiance de la classe.

### **Pré-test**

Ensuite un pré-test sous forme d'une évaluation diagnostique écrite a été administré aux apprenants des deux groupes afin d'identifier leurs représentations initiales liées à la leçon de la reproduction chez l'Homme.

### **Intervention pédagogique**

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.

Chaque séquence comporte cinq séances structurées selon la démarche scientifique :

- 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 on a utilisé la modélisation numérique pour valider ou invalider les hypothèses, 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.

### **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.

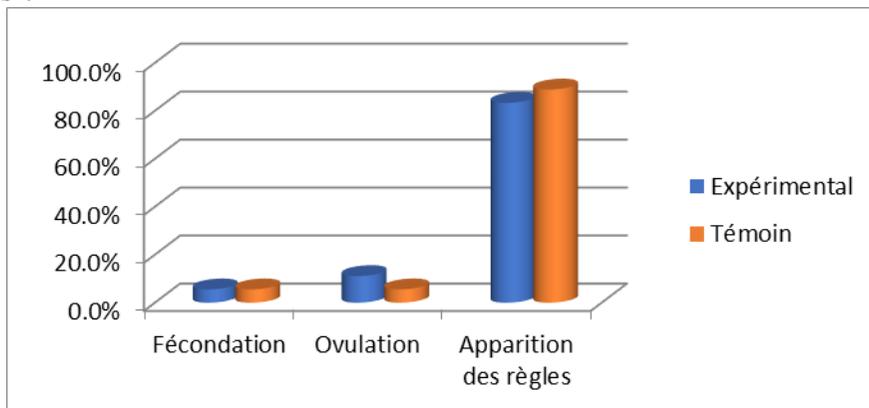
## Analyse des Données

- 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  $\text{Khi}^2$ ) pour évaluer l'impact de la modélisation numérique sur les résultats obtenus.

## Résultats

Analyse du pré-test

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

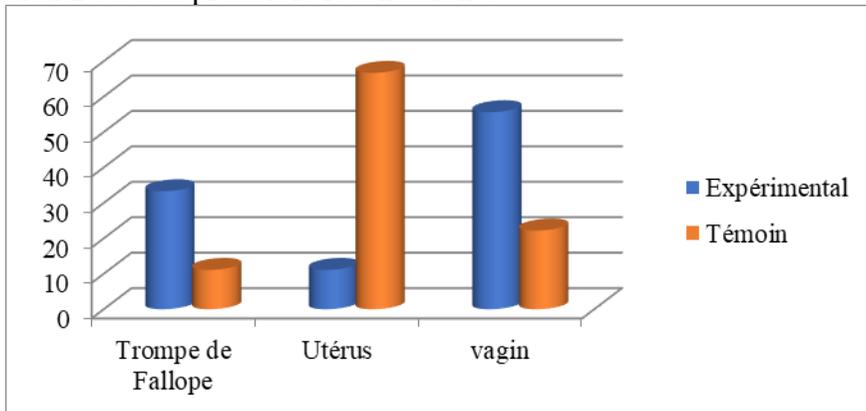


**Figure 1 :** L'événement qui marque le début du cycle menstruel chez les filles

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 (témoin 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 données obtenues, 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.

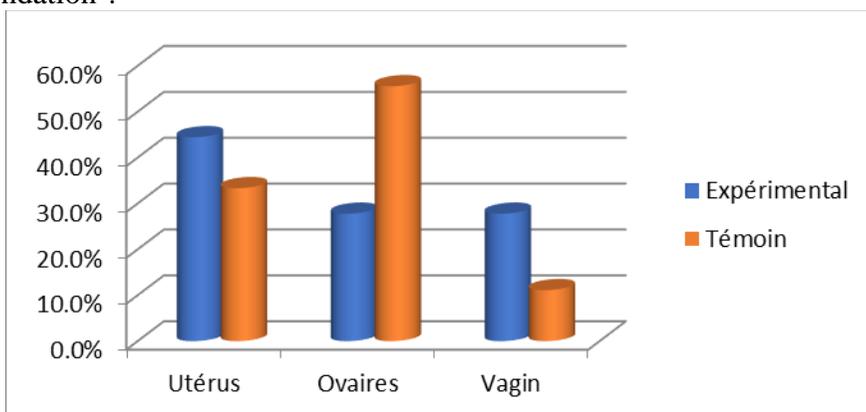
## Question 2 : Où se produit la fécondation ?



**Figure 2 :** Lieu de déroulement de la fécondation chez l'Homme

Dans cette question, nous avons demandé aux 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 ?



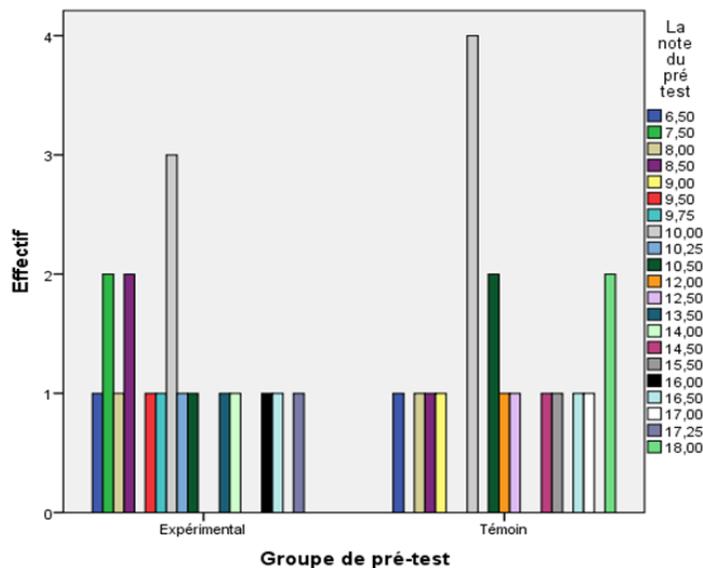
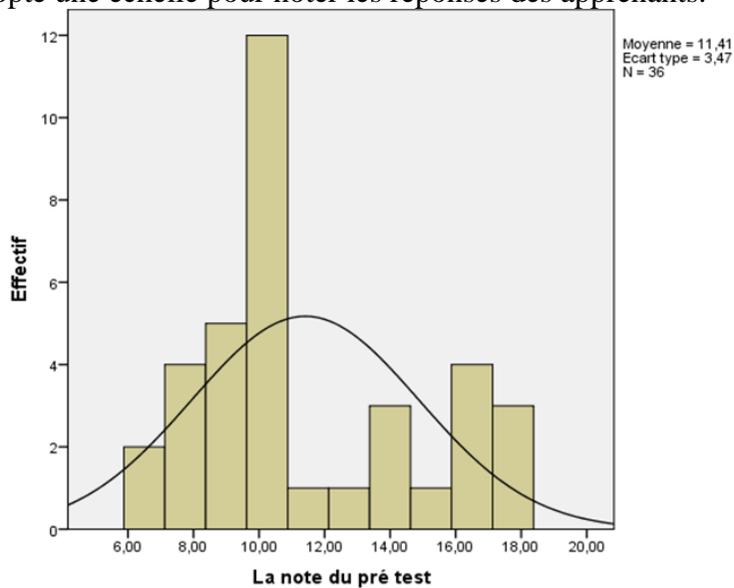
**Figure 3 :** Lieu du développement de la cellule-œuf après la fécondation

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 « ovaires », 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.



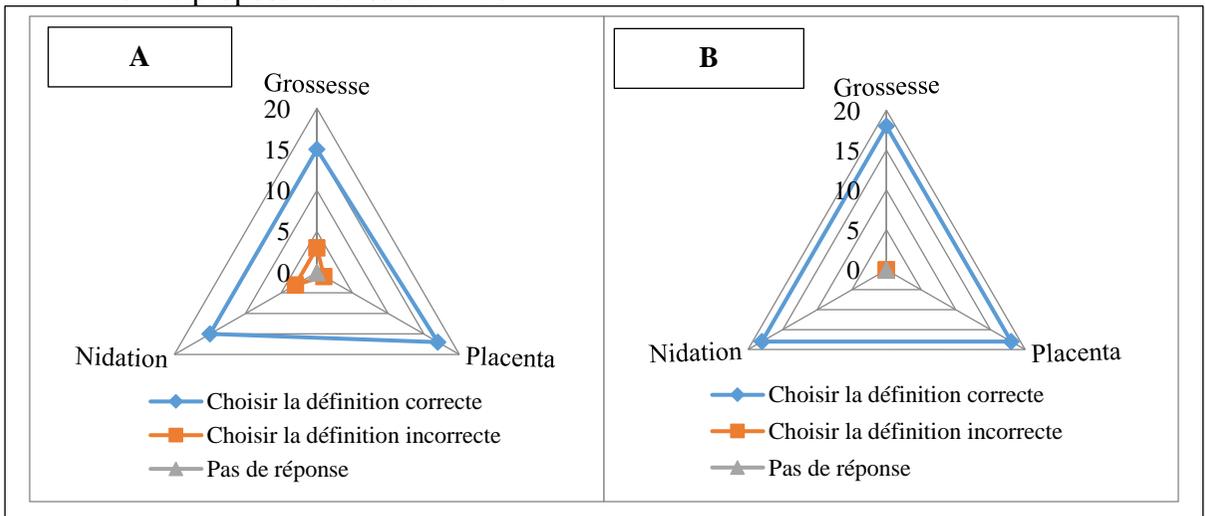
La moyenne du pré-test réalisé est 11.41 ; en plus la plupart des apprenants ont eu des notes qui varient entre 10 et 10,5. En comparant les moyennes des deux groupes à l'aide du test t, on trouve qu'il n'y a pas une différence significative entre le groupe témoin et le groupe expérimental ; ceci veut dire que la majorité des apprenants ont des connaissances modestes 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 est composé de 3 exercices 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 ou le groupe expérimental.

#### Exercice 1

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

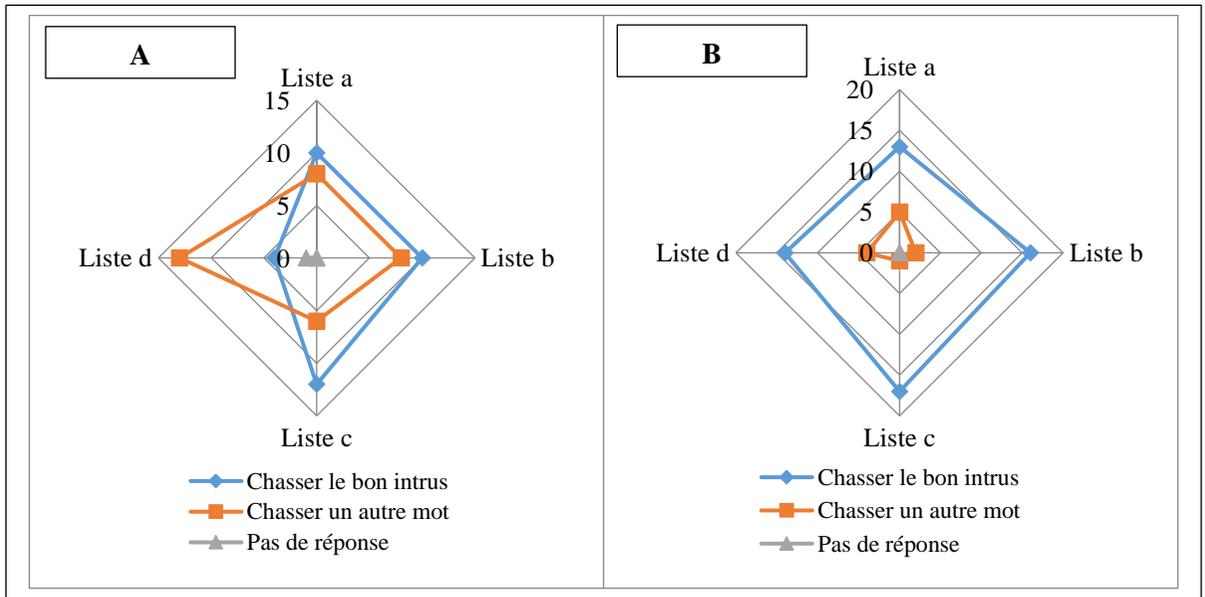


**Figure 4 :** Association des termes avec leurs définitions appropriées (A : Groupe témoin / B : Groupe expérimental)

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. Le test du Chi-deux d'indépendance révèle des différences significatives entre les choix des apprenants des deux groupes.

## Exercice 2

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



**Figure 5 :** Identification de l'élément intrus (A : Groupe témoin/ B : Groupe expérimental)

La majorité des apprenants du groupe expérimental a réussi à identifier l'intrus dans les quatre listes.

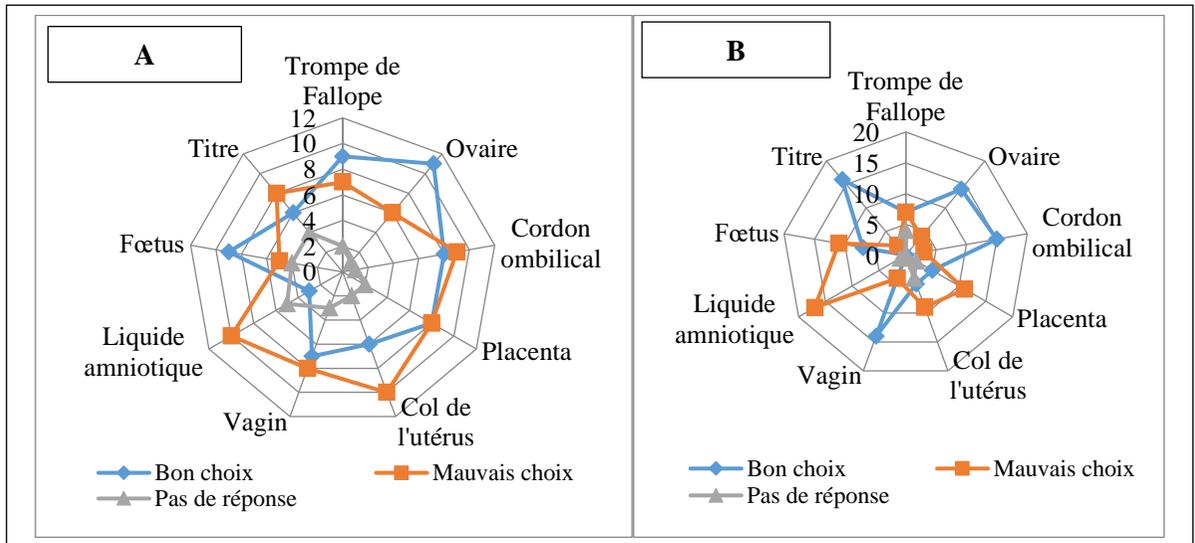
Dans le groupe témoin, presque la moitié des apprenants ont choisi l'intrus dans les listes a et b (10 apprenants pour chaque liste), tandis que les autres ont sélectionné un mot différent (8 pour chaque liste). Pour la liste c, la majorité a correctement identifié l'intrus (12 apprenants), tandis que pour la liste d, la plupart des apprenants ont choisi un autre mot (13 apprenants).

Ces résultats montrent que les apprenants du groupe expérimental maîtrisent mieux la distinction des termes utilisés dans le cours.

Le test du Chi-deux d'indépendance montre des différences significatives entre les choix des apprenants des deux groupes.

## Exercice 3

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

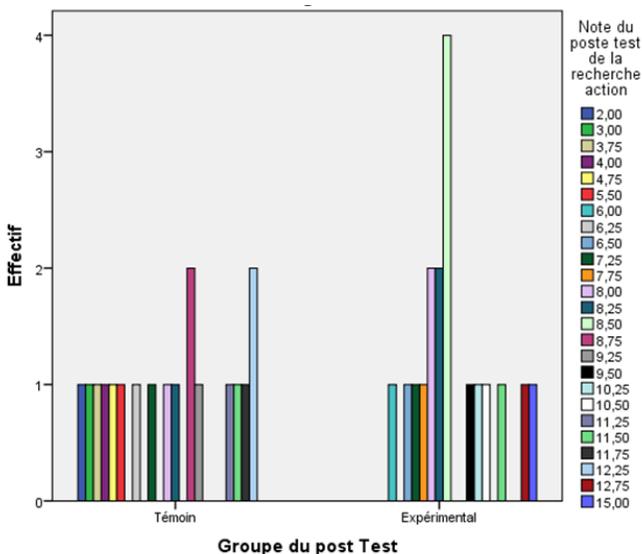
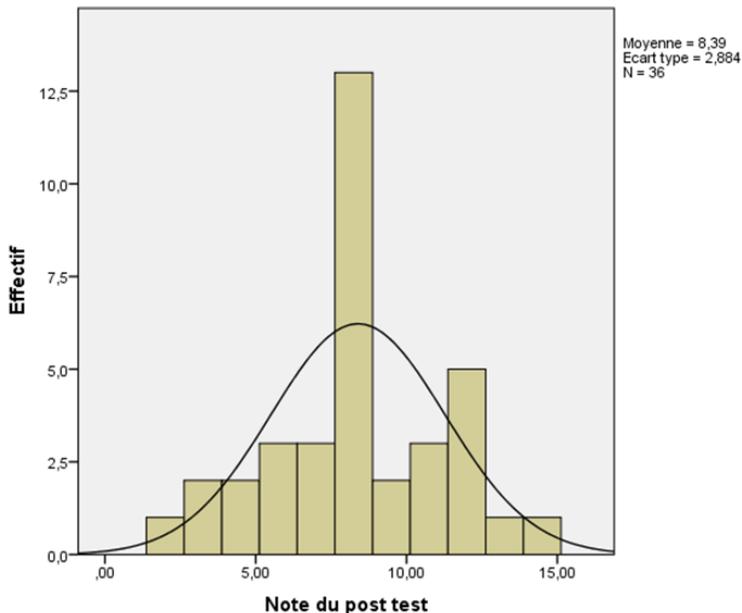


**Figure 6 :** Sélection des termes correspondant au schéma proposé  
(A : Groupe témoin / B : Groupe expérimental)

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. Le test du Chi-deux d'indépendance révèle des différences significatives entre les choix des apprenants des deux groupes.

### Note du post test



La moyenne du post-test réalisé est 8,39. En comparant les moyennes des deux groupes à l'aide du test t, on trouve qu'il y a une différence significative entre le groupe témoin et le groupe expérimental.

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.

## Discussion

Cette analyse compare les résultats du pré-test et du post-test menés auprès de deux groupes (témoin et expérimental) pour évaluer les connaissances sur la reproduction chez l'Homme. Les résultats révèlent des tendances significatives, des améliorations liées aux interventions pédagogiques, conformément aux théories éducatives et aux études antérieures.

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 les études 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).

La reproduction implique des processus dynamiques et interconnectés qui demandent un certain degré d'abstraction. Selon Vosniadou (2013), la conceptualisation de ces processus complexes nécessite des stratégies pédagogiques adaptées pour permettre aux apprenants de restructurer leurs schémas mentaux et d'intégrer de nouvelles informations de manière cohérente.

Pour le post-test, on a remarqué une amélioration significative du groupe expérimental, cela signifie que l'adoption de la modélisation numérique dans l'approche par investigation auprès du groupe expérimental

semblent avoir eu un effet positif sur l'assimilation de certains concepts clés ; la réussite de 100 % pour le groupe expérimental dans l'exercice 2 (relier termes et définitions) contraste avec les erreurs observées dans le groupe témoin. Ce résultat suggère que l'intégration de la modélisation numérique favorise une meilleure mémorisation du vocabulaire spécialisé, corroborant les travaux de Hmelo-Silver (2004). La capacité du groupe expérimental à distinguer correctement entre les termes liés à des champs contextuels différents (par exemple, différencier « placenta » de « spermatozoïde ») indique une intégration hiérarchisée et structurée des connaissances, conformément aux principes de l'apprentissage significatif (Ausubel, 1963).

Les erreurs de légendage ; les apprenants du groupe expérimental ont eu du mal à identifier certains éléments clés, notamment le placenta, le liquide amniotique. Les apprenants du groupe témoin ont eu encore plus de difficultés, car ils n'ont pu identifier correctement que l'ovaire, la trompe de Fallope et le fœtus, suggérant une reconnaissance limitée des structures du schéma.

Le contraste entre les résultats du pré-test et du post-test met en évidence que le groupe expérimental 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 :

- Une augmentation de la difficulté du test : Le post-test étant conçu pour évaluer des connaissances et compétences acquises, il est probable qu'il ait exigé une mobilisation plus complexe des savoirs.
- 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.
- Un impact différent selon les groupes : Le groupe expérimental a montré une meilleure assimilation des concepts en comparaison avec le groupe témoin, ce qui suggère une efficacité plus grande des stratégies pédagogiques employées.

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 après l'intervention. L'efficacité des méthodes actives et interactives, l'apprentissage collaboratif, l'utilisation de la modélisation numérique, semblent jouer un rôle déterminant dans l'amélioration des connaissances (Mayer, 2009). 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 soulignent de manière significative l'impact des interventions pédagogiques structurées sur l'amélioration des connaissances des apprenants en biologie reproductive. En effet, l'utilisation de la modélisation numérique dans l'approche par investigation s'est révélée être un levier puissant dans le processus d'apprentissage. Cette approche, qui implique l'adoption de modèles numériques, permet aux apprenants d'explorer de manière active les concepts scientifiques, de tester des hypothèses et de visualiser des processus biologiques autrement abstraits.

Les résultats obtenus viennent corroborer les conclusions des travaux précédents sur l'efficacité des méthodes actives, en particulier dans le domaine des sciences, où la complexité des sujets étudiés exige une approche pédagogique plus engageante. Selon Roediger & Karpicke (2006), la combinaison d'une approche active de l'apprentissage et de la répétition spatiale favorise non seulement une meilleure compréhension, mais aussi une mémorisation plus durable. Cette étude confirme que les élèves, confrontés régulièrement à des tâches d'investigation et de modélisation, développent une compréhension plus profonde des mécanismes biologiques liés à la reproduction. Par ailleurs, le renforcement continu de ces connaissances, par le biais de révisions régulières, permet de maintenir et d'approfondir cet acquis.

Au-delà de l'aspect théorique, cette recherche ouvre également la voie à des améliorations concrètes des pratiques enseignantes en SVT, notamment en encourageant une intégration renforcée des outils numériques. L'utilisation des technologies ne doit pas être vue comme un simple ajout, mais comme un catalyseur pour transformer les pratiques pédagogiques. Les modèles numériques, par leur capacité à visualiser et à simuler des phénomènes biologiques complexes, permettent aux élèves d'acquérir des compétences techniques et scientifiques tout en développant une pensée critique et analytique. Il devient donc essentiel d'enrichir les activités expérimentales et de favoriser une intégration harmonieuse de ces outils numériques dans les séquences pédagogiques, afin d'offrir aux élèves une expérience d'apprentissage plus complète et plus motivante.

L'étude met également en lumière l'importance d'adopter des stratégies pédagogiques diversifiées, particulièrement pour les sujets complexes comme la reproduction humaine. L'intégration d'approches multisensorielles est une piste prometteuse, qui combine l'apprentissage collaboratif, l'utilisation intensive de supports visuels et la stimulation des compétences métacognitives. L'apprentissage collaboratif, en particulier, offre aux élèves un environnement propice à l'échange d'idées et à la co-construction de savoirs, tandis que l'utilisation de supports visuels renforce la compréhension des processus biologiques, souvent abstraits. L'activation des compétences métacognitives, de son côté, permet aux élèves de prendre conscience de leurs propres processus cognitifs et de développer des stratégies pour mieux organiser et réviser les informations.

**Études humaines:** 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.

**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.

### 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.
2. Ausubel, D. P. (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. Grune & Stratton.
3. Cohen, J., Cohen, P., West, S. G., & Aiken, L. S. (2018). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*. Routledge.
4. Darley, B. (2007). *La démarche d'investigation et son vocabulaire*. IUFM d'aquitaine et DAESL Université Bordeaux2. Publié dans Grand N n° 79 (pp. 99-111).

5. Eric Sanchez (2008). Quelles relations entre modélisation et investigation scientifique dans l'enseignement des sciences de la terre? *Education et Didactique* (pp. 97-122).
6. Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-Analyses Relating to Achievement*. Routledge.
7. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.
8. Labédie, G., & Amossé, G. (2001). *Constructivisme ou socioconstructivisme*. de <http://www.phludwigsburg.de/html/2b-frnz-s-Recuperado>
9. Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge University Press.
10. Programme révisé (2019). *Actualités du Curricula pour les Quatre premières années du primaire, La directive des curricula* p 186-190.
11. Rembeck, S., & Möller, H. (2006). Les représentations sociales du cycle menstruel chez les adolescentes. *Revue Internationale de Psychologie Sociale*, 19(2), 123-140.
12. 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>.
13. Roediger, HL et Karpicke, JD (2006). *Le pouvoir des tests de mémoire : recherche fondamentale et implications pour la pratique pédagogique*. *Perspectives on Psychological Science*, 1 (3), 181–210. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6916.2006.00012.x>
14. Rolland, J. M. (2006). *L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire*. Commission des affaires culturelles, familiales et sociales. Assemblée nationale. <http://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3061.asp>
15. Tuan, Chin et Sheh (2005). The development of a questionnaire to mesure students' motivation towards science learning. *International Journal of Science Education*, Vol 27(6), 634-659.
16. Tunnicliffe, S. D. (2001). Conceptual development and science education. *International Journal of Science Education*, 23(7), 705-728.
17. Vision stratégique (2015-2030). Conseil Supérieur de l'Education, de la formation et de la Recherche Scientifique.
18. Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach. Dans *International Handbook of Research on Conceptual Change*, 23-42.