



## Les obstacles à l'apprentissage de la gamétogenèse et de la fécondation en classes de terminales C et D

### Obstacles to learning about gametogenesis and fertilization in the final years of science C and D

Mathias Kyélem<sup>1</sup>, Abdoulaye Balboné<sup>1,2</sup>, Innocent Kiemdé<sup>1</sup>

1. Laboratoire interdisciplinaire de didactique des disciplines, Ecole normale supérieure, Burkina Faso.

2. Direction Provinciale des Enseignements Post-Primaire et Secondaire du Boulkiemdé, Burkina Faso.

**Résumé :** Le savoir portant sur la gamétogenèse et la fécondation étudiées dans les classes de terminale scientifique (séries C et D) vient renforcer et compléter les acquis des classes de 6<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> sur la reproduction humaine et sert de prérequis à l'apprentissage de la génétique et notamment de l'hérédité. Cependant, l'appropriation des connaissances par les apprenants est confrontée à des obstacles didactiques. L'étude était destinée à connaître ces obstacles et leurs sources. Elle a utilisé une approche mixte, qualitative et quantitative et a concerné des enseignants et des élèves des classes de terminales C et D de cinq établissements secondaires des villes de Koudougou et de Réo au Burkina Faso. Il ressort des résultats obtenus que ces obstacles proviennent des méthodes et techniques d'enseignement, des supports didactiques et du style d'apprentissage des élèves. La mise en œuvre de la pédagogie de l'intégration, en perspective, ne pourra contribuer à améliorer les résultats en apprentissage que si les compétences des enseignants en transposition didactique interne sont améliorées et des moyens d'enseignement-apprentissage suffisants et adéquats fournis aux établissements.

**Mots-clés :** reproduction humaine, gamétogenèse, fécondation, enseignement-apprentissage, obstacles didactiques

**Abstract :** The knowledge of gametogenesis and fertilization studied in the final year of science (C and D series) reinforces and completes the knowledge of human reproduction acquired in the 6<sup>th</sup> and 3<sup>rd</sup> years and serves as a prerequisite for learning about genetics and, in particular, heredity. However, the appropriation of knowledge by learners is confronted with didactic obstacles. The aim of the study was to identify these obstacles and their sources. It used a mixed qualitative and quantitative approach and involved teachers and pupils in the final years C and D of five secondary schools in the towns of Koudougou and Réo in Burkina Faso. The results show that these obstacles stem from teaching methods and techniques, teaching aids and pupils' learning styles. The implementation of inclusive education can only contribute to improving learning outcomes if teachers' skills in internal didactic transposition are improved and schools are provided with sufficient and appropriate teaching-learning resources.

**Keywords:** human reproduction, gametogenesis, fertilization, teaching-learning, didactic obstacles

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.13774511>



## 1 Introduction

Il y a des domaines de connaissances dont l'enseignement revêt une complexité particulière du fait de la pluralité et de l'importance des éléments de contexte à prendre en compte. La reproduction, ensemble avec ses concepts associés, en est un, quand on considère toutes les variables relatives aux contextes culturels, sociaux, religieux, psychologiques qui bien des fois paraissent reléguer au second plan les savoirs biologiques et physiologiques. Au Burkina Faso, l'enseignement de la reproduction a pendant longtemps laissé la prise en compte de ces aspects contextuels à la transposition didactique interne, l'enseignant devant jouer à la fois au maître pour l'administration du contenu du programme et au prescripteur pour l'identification des valeurs à prendre en compte. Ce dernier volet étant à son libre arbitre, les caractéristiques et les postures personnelles de l'enseignant devenaient une variable additionnelle de complexité. Une telle approche engendre nécessairement une forme d'accumulation et d'accentuation des connaissances erronées issues notamment de la jonction entre les savoirs traditionnels issus du milieu, les connaissances élaborées par les différentes formes de croyances et les erreurs venant de l'activité enseignante. Ces connaissances sont si viables dans le sens de von Glasersfeld (1994) qu'elles représentent de solides obstacles pour l'apprentissage, résistant autant de temps que celui que les connaissances prescrites mettront à se rendre plus efficaces pour expliquer les phénomènes et/ou pour résoudre les problèmes.

La première initiative d'envergure prescriptive de l'autorité éducative en matière d'orientation axiologique dans l'enseignement de la reproduction et de la sexualité vient de la mise en œuvre de l'Education en matière de population (EmP). Les sciences de la vie et de la terre (SVT) sont la seule discipline scolaire traitant spécifiquement de la reproduction humaine dans ses aspects biologiques et physiologiques. Cependant, avec l'EmP et la prise en compte de thèmes dits émergents, les questions liées à la reproduction sont traitées sous différentes formes dans toutes les disciplines, chacune selon le cadre curriculaire qui est le sien. A l'importance donnée aux savoirs scientifiques, se joignent alors de manière élaborée et explicitement formulée, les valeurs que l'autorité éducative souhaite véhiculer ainsi que les aspects relatifs au savoir-être et au savoir-faire.

La reproduction et la sexualité humaines sont des sujets influencés par les contextes psychologiques, bien qu'elles soient expliquées par des connaissances fondamentalement scientifiques. En effet, l'éducation à la reproduction et à la sexualité a toujours été fondée sur des valeurs dominantes de chaque époque (Giami, 2002). La complexité de leur enseignement tient donc à la fois aux niveaux de formulation, d'une classe à l'autre, des concepts et au contexte social et axiologique particulier du phénomène de la reproduction. Ce qui conduit bien souvent à des confusions et à des erreurs dans l'activité pédagogique et les apprentissages des élèves.

C'est dans cette dynamique que s'inscrit la présente étude. Elle se propose de jeter un regard critique sur les difficultés d'enseignement-apprentissage de la gamétogénèse et de la fécondation et d'identifier les obstacles à l'apprentissage des phénomènes biologiques qui s'y produisent. L'objet de ce travail porte sur la physiologie de la reproduction dont la gamétogénèse et la fécondation en classe de terminale D. La recherche de dispositifs et de méthodes qui améliorent les pratiques enseignantes, favorisent l'acquisition des compétences par les élèves et forment en eux un esprit critique est indispensable, surtout dans le cadre du processus actuel d'extension de l'approche par les compétences à l'ensemble des cycles post-primaire et secondaire.

## 2 Problématique

Le curriculum ou le programme officiel est le document de référence devant permettre de dispenser les mêmes savoirs à des apprenants d'un même niveau d'études. C'est donc au curriculum prescrit que l'enseignant de SVT se réfère pour la préparation des cours dont il a la charge. Il ressort d'un travail exploratoire (visites de classe et examen de préparations de leçons) l'existence d'une relative diversité de présentations des contenus d'enseignement-apprentissage concernant la biologie et la physiologie de la reproduction et notamment la gamétogénèse et la fécondation. Par exemple, il a été constaté que les enseignants abordent l'enseignement de la gamétogénèse de deux manières différentes : certains étudient isolément la méiose avant d'aborder les notions de spermatogénèse et d'ovogénèse, d'autres étudient directement la méiose au cours du traitement de ces deux contenus. Il s'agit ici d'au moins deux approches différentes pour traiter un même concept ; en soi, une transposition didactique interne d'un même contenu, différente d'un enseignant à l'autre, est normale ; elle est même féconde à condition que cela ne crée pas de « fossé entre le programme et la réalité des choses » (Crahay, 1996, p. 95) et ne crée pas d'importantes différences entre les savoirs à enseigner et les savoirs enseignés et appris (Paun, 2006).

Dans le curriculum de SVT au Burkina Faso (MESS, 2010), gamétogénèse et fécondation sont deux contenus à traiter distinctement avec des objectifs spécifiques précis qui ne laissent percevoir aucun lien tangible entre ces deux processus fondamentaux indispensables à l'accomplissement de la reproduction sexuée. Tel que le contenu est structuré dans le programme, les relations étroites qu'entretiennent les concepts relatifs à ces deux contenus ne sont pas mises en évidence lors de l'enseignement. Lorsque l'absence d'articulation entre ces contenus est exacerbée par une transposition didactique interne inefficace, l'acquisition des savoirs par les apprenants peut être mise à mal. Car si les liens qu'entretiennent les concepts entre eux sont rompus du fait de ces découpages, l'enseignement est susceptible d'être source d'ambiguïtés lors des apprentissages.

A cela s'ajoute la question des aides didactiques en usage pour l'enseignement de ces concepts. En fait d'aides didactiques, il s'agit du manuel dans la mesure où, généralement, aucune autre ressource n'est mise à disposition pour l'enseignement de la reproduction humaine. Tout au plus, quelques techniques pédagogiques comme celle de l'invité ou l'enquête permettent aux élèves d'écouter tierce personne parler du sujet avec un risque important de s'écarter des contenus tels que prévus par l'autorité éducative et d'augmentation des erreurs liées aux contextes. Le manuel est l'aide didactique la plus usitée par l'enseignant et l'élève. Il est donc important de poser la question de la conformité de ses contenus avec les prescriptions du curriculum. Selon Ravel (2003), les manuels scolaires résultent des choix conceptuels et didactiques faits par leurs auteurs, sur un savoir bien identifié pour être enseigné. Ces choix ne correspondent pas forcément à ceux présents dans le curriculum formel. En effet, de façon générale pour une classe donnée, « les manuels mettent en œuvre ce qui est préconisé dans les programmes, mais il peut arriver qu'ils soient plus rapides que les programmes, ou plus lents » (Clément, 2013, p. 6). Dans le contexte burkinabé, la plupart des manuels de terminales C et D utilisés par les enseignants pour élaborer les situations didactiques et les contenus enseignés renferment les concepts relatifs à la gamétogénèse et à la fécondation. Toutefois, il y a lieu de constater que les enseignants ne sont pas formés et ne reçoivent aucune indication sur l'utilisation didactique appropriée des manuels. En outre, ils n'ont pas à leur disposition, un guide d'utilisation du manuel par l'enseignant. Chacun le comprend et l'utilise à sa façon et avec plus ou moins d'efficacité en fonction de sa propre expérience scolaire ou universitaire. Or, selon Lebrun et Niclot (2009, p. 9), « les enseignants peuvent commettre des contresens, des simplifications abusives, mal comprendre les méthodes ou les savoirs développés par les manuels, ou tout simplement faire preuve d'une trop grande soumission à l'égard des manuels et perdre leur autonomie professionnelle ». La difficulté qu'expriment fréquemment les enseignants réside dans leur incapacité à faire recours à plusieurs manuels pour la rédaction d'une trace écrite aussi fidèle que possible aux prescriptions curriculaires.

Par ailleurs, comme l'a souligné Clément (2013), les enseignants peuvent introduire lors de l'enseignement, des concepts qui sont présents dans le manuel, mais ne sont pas encore dans les programmes. Ils peuvent être aussi réticents à enseigner des connaissances nouvelles qui sont pourtant au programme, mais qui ne figurent pas dans le manuel qu'ils utilisent. L'une ou l'autre de ces situations contribuent à créer un écart entre le savoir enseigné et le curriculum. En conséquence, des erreurs peuvent survenir de ces pratiques et être à l'origine des obstacles à l'apprentissage des concepts par les élèves.

Les insuffisances des pratiques enseignantes sont d'autant plus importantes que les compétences professionnelles sont faibles. Au Burkina Faso, deux principaux facteurs sont responsables des faibles compétences de nombreux enseignants de SVT sur la biologie de la reproduction : un profil académique inadéquat (formation universitaire basique voire inexistante sur le contenu) et l'absence d'une formation enseignante avant l'entrée dans le métier. Parmi eux, se trouvent certes des biologistes mais aussi des géologues, des biochimistes, des ingénieurs agronomes et d'élevage et aussi des psychologues. Une question essentielle est de savoir de quelles compétences conceptuelles et praxéologiques disposent tous ces enseignants de SVT aux profils divers et souvent sans formation professionnelle initiale pour prendre efficacement en charge l'enseignement-apprentissage des concepts scientifiques au programme, notamment ceux relatifs à la gamétogénèse et à la fécondation. Comme le dit Pospel (1993, p. 1), « devenir enseignant, c'est d'abord acquérir une compétence dans un contenu. Enseigner, c'est tenter de communiquer une partie de ces connaissances à des élèves qui doivent les acquérir ».

Par ailleurs, lors des visites de classe, quelques faits observés laissent voir des insuffisances dans la définition du concept « haploïde », état d'une cellule consécutive à une spermatogénèse ou à une ovogénèse aboutissant respectivement à quatre cellules haploïdes viables pour l'une et à une cellule haploïde viable pour l'autre. Les entretiens, à l'issue de ces visites permettent de relier ces insuffisances soit au profil académique de l'enseignant, soit au manque de formation initiale voire à des lacunes accumulées par ces derniers. Comment faire acquérir aux

apprenants une compréhension de la méiose qui tienne compte de cette spécificité de l'ovogénèse lorsque l'enseignant lui-même ne semble pas maîtriser ou seulement accorder de l'importance aux particularités de ces phénomènes ?

### 3 Cadre théorique

La présente étude prend appui sur le fait que l'enseignement-apprentissage met en relation l'enseignant, les apprenants et un contenu du programme officiel selon le modèle du triangle didactique (Brousseau, 1998). De ces interactions, le savoir subit un processus de transformations appelé transposition didactique (Chevallard, 1985), avant d'être présenté à l'apprenant, l'objectif visé étant l'appropriation des savoirs par lui. Mais au cours de ces actions sur l'objet en apprentissage et la construction de ses propriétés par l'apprenant, l'assimilation des connaissances par les apprenants (Piaget, 1928 ; Bachelard, 2004) est parfois confrontée à des obstacles. Cette proposition est directement liée au concept d'obstacle au sens de Brousseau (1998) : « un obstacle est une connaissance » (p. 17) et « se manifeste bien par des erreurs, mais ces erreurs, chez un même sujet, sont liées entre elles par une source commune : une manière de connaître, une conception caractéristique, cohérente sinon correcte » (p. 18). Les difficultés rencontrées par les élèves sont des indices d'obstacles qui devraient être étudiés non pas comme des manques de connaissances mais comme des connaissances. Le diagnostic d'une lenteur dans l'acquisition d'un savoir ou d'erreurs quelconques au cours de son apprentissage touche aux interactions entre apprenant et savoir. Les obstacles de type didactique sont liés aux situations d'enseignement-apprentissage (échec de la transposition didactique interne, pratiques enseignantes inefficaces) ; ces obstacles découlent le plus souvent d'erreurs provenant d'un mauvais choix didactique ou d'une connaissance insuffisante de la didactique de la discipline concernée (Farhane, 2016). Les obstacles didactiques relatifs à un objet de connaissance donné trouvent leurs origines dans la façon dont cet objet a été enseigné (Farhane, op. cit.).

Qu'il s'agisse d'une transposition didactique interne ou externe, le processus est influencé par de nombreux facteurs à travers les activités de didactisation et d'axiologisation (Chevallard, 1985). La transposition didactique interne qui se réalise à l'intérieur de la relation enseignant-élèves et élève-savoir vise la conversion du savoir à enseigner en savoir enseigné puis en savoir appris. Pour « apprêter » le savoir qu'il doit dispenser aux apprenants, l'enseignant de SVT se réfère en premier lieu au curriculum prescrit en vue de réélaborer, de transformer « le savoir à enseigner » en « savoirs enseignés » ou savoirs scolaires, par le mécanisme de la transposition didactique interne. Cette action de transformation a une dimension « réductrice » contraignante pour l'enseignant dans la mesure où celui-ci doit réélaborer les connaissances à transmettre aux apprenants selon les niveaux de classe sans pour autant les dénaturer (Farhane, 2016). Or, ce processus de « simplification peut induire, dans certains cas, chez les apprenants des erreurs et/ou des incompréhensions voire des ambiguïtés et des confusions dues à la transmission de connaissances incomplètes ou erronées » (Farhane, op. cit., p. 120). L'enseignant chargé d'apprêter le savoir fait usage donc d'outils didactiques nécessaires en vue d'une dispensation efficace et efficiente. De leur côté, les apprenants, dans une posture de co-construction du savoir, coopèrent avec l'enseignant et entre eux pour parvenir à un apprentissage réussi. Cependant, comme le souligne Farhane (2016), la pédagogie de l'enseignant adoptée pour transmettre une connaissance peut faire obstacle à l'assimilation de cette dernière si elle s'avère inappropriée. On aboutit alors de façon inévitable à des obstacles didactiques, entraves certaines à l'appropriation des connaissances par les élèves ; d'où la nécessité de jeter un regard critique sur ces pratiques enseignantes relatives à la gamétogénèse et la fécondation afin de discerner les obstacles à l'acquisition des connaissances par les élèves.

Une prise en compte de la dimension historique et épistémologique de la reproduction humaine est aussi nécessaire pour mieux comprendre les difficultés rencontrées par les enseignants pour dispenser son contenu aux élèves. Comme il a été indiqué dans l'introduction de ce texte, la reproduction humaine (ensemble avec la sexualité) est un domaine où s'exerce insidieusement une forte pression sociale. Les sujets y relatifs, même inscrits dans le curriculum, ne sont pas facilement abordables au regard des contraintes sociales sous-jacentes. Paradoxalement, le désir de comprendre son origine personnelle et les mécanismes qui précèdent la vie, anime tout apprenant, quel que soit son niveau d'apprentissage (Beorchia et Lhoste, 2007). Des courants scientifiques, allant du préformisme en passant par le préexistentialisme et l'épigénisme ont longtemps construit et soutenu des modèles sur l'origine de la vie, et elles sont bien souvent en cohérence avec le contexte socioculturel, familial et religieux actuel. Les connaissances erronées qui sont véhiculées dans la société constituent de véritables obstacles à l'apprentissage du savoir scientifique contemporain. Et, « tenir compte de ces obstacles et de leurs origines historiques et

épistémologiques est un stade indispensable pour pouvoir envisager des formations qui puissent les faire évoluer » (Abdelli, 2017, p. 5). Autrement dit, « l'inclusion d'éléments d'épistémologie et d'histoire des sciences permet d'améliorer le savoir enseigné et de lui donner, en particulier, des aspects historiques et critiques » (Oldache et Houatis, 2018, p.70). L'adoption de la pédagogie de l'intégration donne en cela une perspective intéressante. Elle ne concerne pas encore la classe de terminale.

#### **4 Méthodologie**

L'étude a été réalisée au cours de l'année scolaire 2021-2022 selon une approche qualitative avec quatre techniques : une observation de classe, un entretien post-observation, un questionnaire et une analyse documentaire (De Ketele et Roegiers, 2015 ; Fortin, M.-F. et Gagnon, J., 2016). Les observations de leçons portant sur la gamétogénèse et la fécondation ont concerné quatre enseignants de Réo (chef-lieu de la province du Sanguié) et un de Koudougou (chef-lieu de la province du Boulikemdé). Deux (02) leçons de 55 minutes ont été suivies par enseignant et un entretien a eu lieu après chaque leçon. Une grille d'observation et un guide d'entretien ont été utilisés à cet effet. L'observation directe était destinée à cerner les pratiques pédagogiques des enseignants, leur niveau de maîtrise des concepts et leur aptitude à dispenser les contenus portant la gamétogénèse et la fécondation. Les interviews ont permis de compléter et de préciser l'information sur les difficultés liées aux pratiques, en relation avec la gamétogénèse et la fécondation.

Le questionnaire a été adressé à un échantillon de deux cent (200) élèves de terminales C et D après la réalisation des cours portant sur la gamétogénèse et la fécondation. Ces élèves ont été choisis de manière aléatoire parmi ceux des classes observées. Il comportait des exercices portant les concepts étudiés. Les informations collectées avec cet outil étaient relatives aux difficultés qu'ils éprouvent dans l'appropriation des connaissances dans le cadre des activités pédagogiques et didactiques menées en classe avec leur enseignant.

L'analyse documentaire a concerné le contenu sur la reproduction humaine et particulièrement celui sur la gamétogénèse et la fécondation se trouvant au troisième chapitre du manuel officiel de SVT de terminales C et D intitulé, « Planète Vivante ». La grille d'analyse de contenu, utilisée pour cela, est adaptée de celle proposée par Jonnaert (2020). Elle a permis d'analyser la conformité du contenu de ce manuel (dimensions scientifique et didactique) avec les prescriptions du curriculum de la classe.

#### **5 Résultats**

Les sources des difficultés d'apprentissage des élèves ont été recherchées au niveau des pratiques enseignantes, des aides didactiques, notamment au niveau des manuels et aussi au niveau de la qualité de la compréhension que les élèves ont des concepts présentés par les enseignants. Une attention particulière a été accordée aux aspects liés à la transposition didactique interne.

##### **5.1 Les pratiques des enseignants en lien avec les contenus à enseigner**

Contrairement aux prescriptions venant des services d'inspection des SVT, quatre des cinq enseignants n'ont pas préparé et utilisé une fiche pédagogique sur les leçons qui ont été observées. Un seul enseignant tenant la classe de terminale D a présenté une fiche pédagogique à chacun de ses cours ; ce qui a permis de constater qu'il y avait conformité entre ce qu'il avait prévu et ce qu'il a réalisé.

##### **5.1.1 Les méthodes et techniques mises en œuvre**

Pour l'enseignement de la gamétogénèse et la fécondation, les cinq (05) enseignants observés au cours des dix leçons ont tous eu recours à la méthode expositive et à la technique de l'exposé. Deux d'entre eux ont aussi utilisé la méthode de redécouverte avec comme techniques le questionnement associé à l'exploitation de documents et le travail de groupe. Ces deux méthodes et leurs techniques associées sont plus ou moins dogmatiques puisque dans leur mise en œuvre, surtout en ce qui concerne la technique du questionnement associée à l'exploitation de documents, elles ont canalisé la réflexion de l'élève vers des réponses attendues. De plus, la plupart des concepts étudiés étant nouveaux, les élèves disposaient de peu de prérequis. Les méthodes (expositive et de redécouverte) et les techniques utilisées ne promouvant pas suffisamment une investigation intellectuelle autonome de l'élève, elles favorisent peu un développement de l'esprit scientifique tel que prévu dans les buts assignés à l'enseignement scientifique dans les classes de terminales C et D.

### 5.1.2 Les supports didactiques utilisés

Les supports utilisés par les enseignants pour l'enseignement de la gamétogénèse et de la fécondation sont des planches (documents édités ou photocopies de pages de manuels) et les schémas (réalisés par eux-mêmes en classe) avec une nette préférence pour les planches. En effet, tous les enseignants se sont servis de planches pour traiter les phénomènes biologiques tandis que les schémas réalisés par quatre enseignants sur les cinq ont concerné uniquement la méiose.

Dans l'ensemble, il s'agissait bien de planches portant avec précision sur les contenus de la gamétogénèse et de la fécondation, elles étaient bien adaptées au niveau des élèves et le plus souvent utilisées bien à propos avec les activités menées. Toutefois, sur une planche extraite du manuel de SVT de terminales C et D « Planète Vivante », un schéma de synthèse sur la spermatogénèse et l'ovogénèse laissait penser à l'existence d'une phase de différenciation dans l'ovogénèse. Si une telle représentation était acquise par les apprenants, elle serait un obstacle pour l'apprentissage des processus biologiques de l'ovogénèse.

Tous les schémas réalisés par les enseignants ont respecté les exigences de clarté et de conformité avec les contenus enseignés avec cependant une omission pouvant entamer l'exactitude scientifique du contenu. En effet, dans deux des schémas, l'intervention de la fécondation dans la reprise de la deuxième division de méiose n'est pas mentionnée. Le déroulement de l'ovogénèse étant entrecoupé de phases d'arrêt, une telle représentation tendrait à créer une confusion entre les processus de l'ovogénèse et de la spermatogénèse. Il est à noter qu'à l'exception d'un professeur qui a exploité les schémas pour étayer ses explications des différents concepts, les autres les ont montrés à titre illustratif.

### 5.1.3 La construction des connaissances

Les concepts de méiose, de gamète, de spermatogénèse, d'ovogénèse, de fécondation et de caryogamie ont été traités pendant les leçons. Ils ont été suffisamment bien développés par les enseignants et leur niveau de formulation était à la fois conforme au curriculum et convenable pour les élèves au regard de la qualité des interactions qui ont prévalu dans les classes. Ce bon niveau de formulation a sans doute contribué à résoudre les difficultés liées à l'insuffisance des prérequis des élèves sur les objets proposés en apprentissage. En termes d'ordre de présentation des concepts, à l'exception d'un seul enseignant, tous les autres ont d'abord étudié la méiose avant d'étudier la spermatogénèse et l'ovogénèse.

Cependant, les enseignants n'ont fait aucune mise en relation explicite entre la fécondation et la méiose. Cette relation, particulièrement importante dans le cas de l'ovogénèse, a été évoquée de façon implicite pendant l'étude de la fécondation : traitant de l'entrée du spermatozoïde dans l'ovocyte, les enseignants parlent d'un « réveil de l'ovocyte 2 », tout en ayant une ambiguïté de langage entre ovocyte 2 et ovule. En ne mettant pas en relation les deux phénomènes et en éludant la comparaison entre les stades caryotypiques du spermatozoïde et de l'ovocyte 2, il est possible de créer des connaissances erronées sur ces processus. En somme, si le niveau de formulation des concepts peut être jugé satisfaisant, chez tous les enseignants, des insuffisances ont été observées au niveau de la transposition didactique interne des concepts étudiés.

Pour l'ensemble des cinq enseignants, le résumé renferme bel et bien les concepts et mots clés au programme et le vocabulaire utilisé est précis et adapté au niveau des élèves de la classe de terminales C et D. Il est à noter qu'en lien avec les méthodes et techniques utilisées et la conduite des leçons, tous les résumés ont été préparés et dictés par les enseignants.

La question de la transposition didactique a particulièrement retenu l'attention lors des entretiens post-cours avec les enseignants. Tous reconnaissent des difficultés particulières en ce qui concerne l'ovogénèse et la fécondation et situent ces difficultés dans les insuffisances voire les contradictions qui existent dans les manuels concernant l'étude de ces deux concepts. En plus du manuel officiel, les enseignants ont recours à d'autres manuels. On retient de leurs propos, quatre points d'attention à retenir : la notion de gamète femelle, la variation de la structure et du nombre des chromosomes, la discontinuité du processus de l'ovogénèse et son achèvement, la caryogamie

- **La notion de gamète femelle.**

L'ovocyte 2 décrit comme étant le gamète femelle est de fait assimilé le plus souvent par les enseignants à l'ovule. Cette préoccupation est renforcée par une ambiguïté de langage qui consiste à la fois à parler d'ovule dans le processus de la fécondation et à indiquer par la suite que la reprise du processus méiotique après la fécondation permet d'achever celui de la production de l'ovule, gamète femelle. Ainsi, l'ovule n'existant qu'après la

fécondation, il est à  $n$  chromosomes (23 chromosomes). Les enseignants rapportent une question récurrente des élèves au moment où ils ont achevé cette partie de la leçon : *quelle est la garniture chromosomique de l'ovocyte 2* ? Une telle interrogation témoigne de la persistance d'une ambiguïté chez les apprenants sur les concepts étudiés.

- **La variation de la structure et du nombre des chromosomes**

Les enseignants évoquent fréquemment le fait que l'utilisation uniquement de planches pour les explications renforce le caractère abstrait des chromosomes. C'est pourquoi certains d'entre eux innove en ajoutant l'interprétation biochimique de la méiose afin de créer le lien entre la quantité d'ADN, le nombre  $2n$  ou  $n$  chromosomes et les différentes phases de la méiose. Mais alors, c'est aller bien souvent au-delà des prescriptions du curriculum.

- **La discontinuité du processus de l'ovogénèse**

De l'avis des enseignants, c'est le point qui demande encore plus d'explications pour faire comprendre aux élèves le processus qui conduit à l'achèvement de l'ovogénèse. Il ne s'agit pas seulement d'une compréhension de la chronologie des événements mais d'un changement de représentation des phénomènes biologiques, les élèves « *n'acceptant* » pas l'assertion selon laquelle il n'y a pas d'ovule à proprement parler tant qu'il n'y a pas de fécondation, et donc « *qu'une femme pourrait tout au long de sa vie ne jamais produire d'ovule* ». Plus qu'une question d'aides didactiques comme indiqué par les enseignants, une restructuration des contenus pourrait être nécessaire notamment pour rapprocher ovogénèse et fécondation.

- **La caryogamie**

Le problème posé concerne essentiellement l'identification des pronucléi pour lesquels le cours et les explications ne suffisent pas, de l'avis des enseignants, à faire comprendre le déroulement des phénomènes. Selon eux, la transposition didactique de cette notion abstraite n'épuise pas les interrogations des élèves et les confusions.

## **5.2 Les difficultés d'apprentissage des concepts portant sur la gamétogénèse et la fécondation**

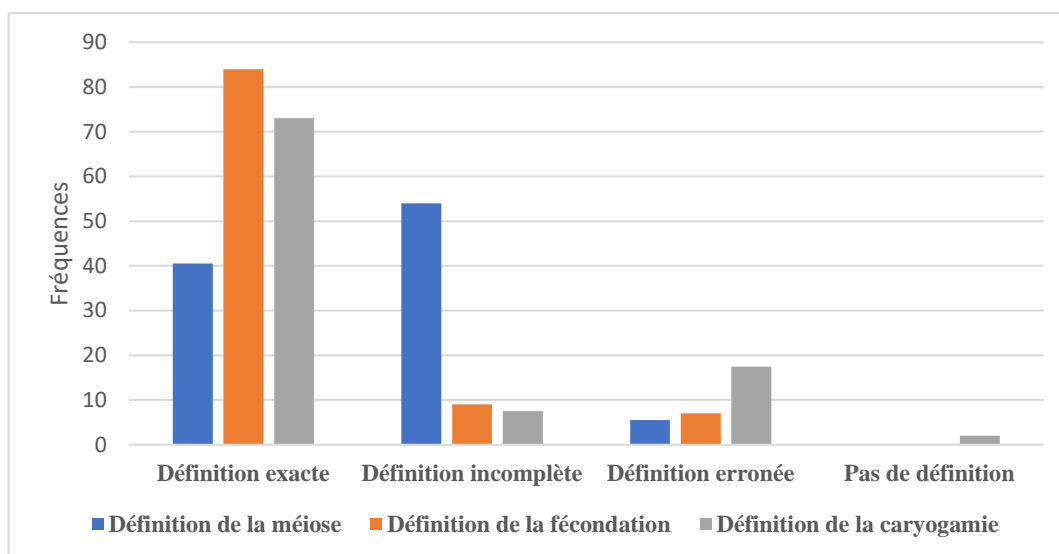
Il est rapporté ici les informations issues de l'enquête par questionnaire administrée aux élèves. Rappelons que deux cents élèves issus des cinq classes observées ont répondu à ces questionnaires.

### **5.2.1 L'appréciation de l'enseignement de la méiose et de la fécondation par les élèves**

L'analyse des réponses recueillies montre que 17% des élèves trouvent concret l'enseignement du concept de la méiose, alors que la grande majorité des élèves (83%) trouvent ce cours théorique. Concernant la fécondation, 24% des élèves trouvent l'enseignement de la fécondation concret, tandis que la grande majorité des élèves (76%) le trouvent théorique. Les élèves confirment donc que l'utilisation de la méthode de redécouverte ainsi que des techniques de questionnement et d'exploitation de documents donne un caractère dogmatique de l'enseignement de la méiose et de la fécondation.

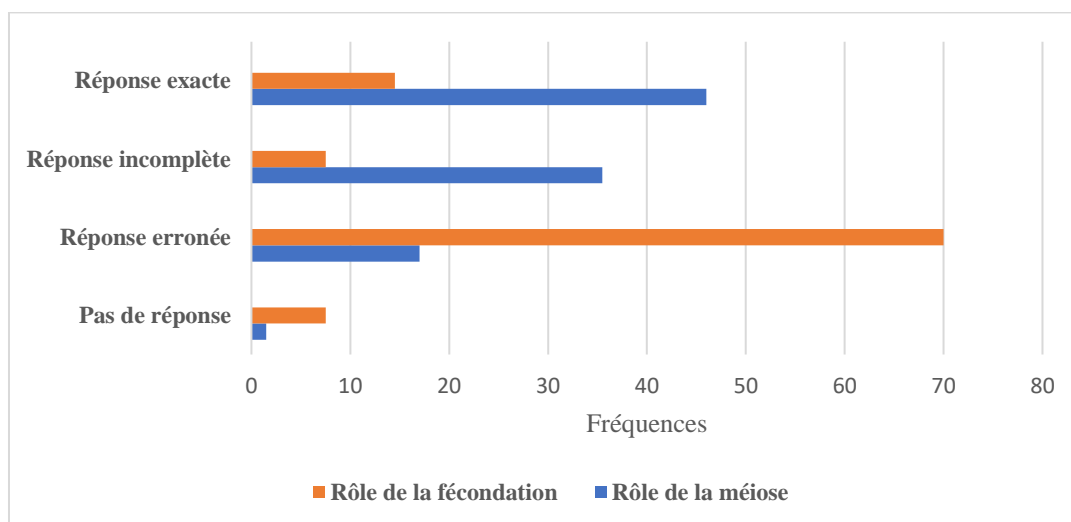
### **5.2.2 La connaissance des concepts par les élèves**

Les élèves ont été invités à définir la méiose, la fécondation et la caryogamie et à dire ce qu'ils savent des rôles des deux premières. Les réponses ont été appréciées selon leur exactitude par rapport ce qui est écrit dans le curriculum.



**Figure 1.** Appréciation des définitions des concepts formulées par les élèves

Les définitions exactes de la méiose, de la fécondation et de la caryogamie formulées par les élèves représentent respectivement 40,5 %, 84% et 73% des réponses obtenues. Plus de 50% de réponses concernant la méiose sont incomplètes.



**Figure 2.** Appréciation des rôles de la méiose et de la fécondation donnés par les élèves

Concernant le rôle de ces processus biologiques, ils sont respectivement 17% et 70% à avoir formulé des réponses erronées respectivement sur la méiose et sur la fécondation. Plus de 35% d'élèves donnent des réponses incomplètes sur le rôle de la méiose, ce qui fait passer de 17% à plus de 42% le nombre de réponses incorrectes. Les données concernant la méiose semblent cohérentes sur la définition et le rôle : presque autant d'élèves savent définir la méiose et en donner le rôle. En revanche, on constate qu'on a à la fois une forte proportion de définitions exactes de la fécondation (plus de 80%) et une forte proportion de réponses erronées sur le rôle de la fécondation (70%).

De ces deux séries de résultats, on retient que la contradiction manifeste qui existe entre la formulation d'une bonne définition et la connaissance des rôles des concepts permet d'appréhender la connaissance du véritable niveau d'appropriation des concepts par les élèves. Transparaissent comme facteurs explicatifs du faible niveau d'appropriation des connaissances, les insuffisances des pratiques enseignantes à la fois au niveau de la transposition didactique interne que du choix des méthodes et des aides didactiques. Les élèves mémorisent les définitions et les rôles donnés par l'enseignant tels que transcrits dans les résumés que celui-ci leur a dictés. La



restitution de la définition mémorisée est aisée à faire, mais la formulation des rôles dans le traitement d'un exercice d'application nécessite une appropriation, dans leur dimension opératoire, des concepts enseignés ; ce qui n'est pas acquis par les élèves à l'issue de la leçon.

Concernant particulièrement l'identification du gamète mâle et du gamète femelle, la difficulté se présente différemment dans les deux cas. La majeure partie des élèves enquêtés (95,5%) n'a pas eu de mal à nommer le gamète mâle. En revanche, on constate que la confusion ovocyte-ovule est bien présente car 78,5% des enquêtés ont nommé ovule le gamète femelle présenté au stade pré-fécondation tandis que 15% l'ont appelé ovocyte ou ovocyte 2. Des élèves (5,5% des répondants) n'ont pas pu nommer le gamète femelle. Le fait d'assimiler l'ovocyte 2 à l'ovule même par choix didactique est donc véritablement source de confusion des concepts chez les élèves.

Etant donné que le support documentaire le plus utilisé autant pour la préparation de la leçon par l'enseignant que pour les activités d'apprentissage de l'élève est le manuel officiel « Planète Vivante », il a été estimé pertinent de l'examiner pour voir si certaines erreurs portant sur le contenu ne viendraient pas de ce document.

### **5.3 La conformité du manuel officiel avec les prescriptions du curriculum.**

L'analyse documentaire a concerné le contenu du manuel de Sciences de la Vie et de la Terre des terminales C et D de la collection « Planète Vivante » (p. 60-68 et 88-90) portant sur la gamétogénèse et la fécondation.

#### **5.3.1 Sur le plan des orientations théoriques et pédagogiques**

Les activités proposées dans le curriculum sont orientées vers l'action et la construction des connaissances. Elles s'appuient donc sur une approche constructiviste mais ne visent pas explicitement le développement des compétences de l'élève. Dans la mesure où le curriculum prescrit n'est pas construit avec une formulation de compétences mais plutôt d'objectifs spécifiques, le manuel est cohérent avec le curriculum.

Dans le processus de construction des connaissances sur la gamétogénèse et la fécondation, le manuel met en avant la nécessité de s'appuyer sur les connaissances antérieures de l'élève en indiquant dès le début du chapitre les prérequis à mobiliser. Le problème réside dans le fait que dans les curricula des classes antérieures, ces prérequis ne sont pas tous inscrits dans la progression des connaissances d'une classe à l'autre. Par ailleurs, il manque une dimension opératoire sur cet aspect, le manuel ne donnant aucune indication sur la manière de vérifier les prérequis ou de sonder les représentations des élèves, représentations globalement passées sous silence.

En revanche, à travers un guide d'exploitation, le manuel propose le matériel didactique à utiliser comme ressource pour l'activité. Il n'y a pas d'indications sur l'utilisation d'autres ressources externes par l'élève. En outre, il existe dans le manuel au programme des synthèses conformes aux activités, brèves et précises. Les éléments à retenir sont organisés de manière à en faciliter l'assimilation.

#### **5.3.2 Sur le plan du contenu**

Dans le manuel, le chapitre sur la gamétogénèse et la fécondation est bien structuré, il présente une cohérence d'ensemble. Le chapitre comprend cinq (05) séquences à savoir les organes génitaux, la formation des gamètes ou gamétogénèse, la méiose, la fécondation, et le cycle méiose-fécondation. On constate une chronologie assez pertinente dans cette structuration des séquences mais différente de celle du curriculum de 2010 avec son organisation des contenus en micro-unités d'enseignement et en objectifs comportementaux. Elle a l'avantage de donner une meilleure appréhension de l'intervention de la fécondation dans l'achèvement de l'ovogénèse. Les concepts développés sont inscrits dans le programme officiel à l'exception de ceux portant sur les spermaphytes. Le contenu de la gamétogénèse et de la fécondation développé dans le livre est scientifiquement valide. Les concepts de fécondation, de méiose, de spermatogénèse et d'ovogénèse sont présentés pour l'essentiel de manière claire et précise, avec exactitude scientifique, et un ordre qui facilite leur compréhension. Les termes utilisés sont précis et bien adaptés au niveau des élèves des classes de Terminales C et D. Par ailleurs, on constate une chronologie dans les activités d'apprentissage qui respecte la logique de la discipline et une chronologie dans l'étude des concepts qui permet de percevoir les liens entre eux. Néanmoins, la confusion se retrouve aussi dans la notion de gamète femelle qui consiste à assimiler l'ovocyte 2 à l'ovule et vice versa. Les signes et les symboles officiels  $2n$  et  $n$ , traduisant respectivement l'état diploïde et l'état haploïde sont partiellement représentés.

### 5.3.3 Sur le plan des illustrations

Les illustrations sont bien élaborées, leurs contenus sont pertinents, en lien avec les activités proposées aux apprenants et leur permettent d'entrer aisément dans les activités, à l'exception de l'une d'elles. En effet, l'une des illustrations du manuel figurant en page 64 (celle du document n° 8 intitulée « la formation des gamètes ou gamétogénèse ») compare la spermatogénèse à l'ovogénèse avec un risque important d'induire en erreur les apprenants. En effet, le processus de l'ovogénèse y est représenté de manière linéaire comme celui de la spermatogénèse. Pourtant, l'ovogénèse n'est pas un processus linéaire car entrecoupée de phases d'arrêts. L'intervention de la fécondation dans la reprise de la deuxième division de méiose n'y est pas perçue. En outre, telle que présentée, la phase de différenciation propre à la spermatogénèse semble concerner aussi l'ovogénèse alors qu'elle se déroule en trois phases au lieu de quatre. Tous ces éléments peuvent créer des erreurs dans la compréhension du processus de l'ovogénèse ou des confusions entre les processus de spermatogénèse et d'ovogénèse.

## 6 Discussion

Comparativement aux contenus étudiés portant sur la reproduction dans les classes antérieures, c'est en classe de terminale C et D que les processus intimes des phénomènes sont traités. Les événements qui se produisent au cours de la fécondation au niveau cellulaire (rencontre des gamètes) et moléculaire (évolution de la quantité de l'ADN) qui rendent compte de la contribution à part égale du père et de la mère à la mise en place du patrimoine génétique de l'enfant (Beorchia et Lhoste, 2007). Ils constituent une part importante du savoir à acquérir par les élèves face aux connaissances erronées déjà accumulées sur les rôles et les importances respectives des parents dans la conception de l'enfant. Les observations faites dans la présente étude sont comparables à celles de Gueye (2005) qui constate chez des élèves sénégalais que « le père est souvent plus important que la mère dans la fabrication de l'enfant. Certains font même preuve d'un préformisme animalculiste tenace » (p. 180). Cela justifie la nécessité d'une prise en compte de l'épistémologie des sciences dans le curriculum de SVT.

La gamétogénèse comprend une alternance entre une phase haploïde et une phase diploïde ; la méiose fait passer les cellules à l'état haploïde tandis que la fécondation restaure la diploïdie (Denis et Collenot, 1993). Cet aspect compensatoire de ces deux phénomènes caractéristiques de la reproduction sexuée n'est pas véritablement perçu dans l'enseignement de ces concepts.

Lors des activités d'enseignement, les professeurs prennent appui sur le nombre et le comportement des chromosomes pour élucider les différentes phases et les phénomènes nucléaires qui y sont associés. La compréhension de ces concepts exige des élèves une très grande capacité d'abstraction. Pourtant, le cours administré est essentiellement formulé sous forme de discours théoriques accompagnés de quelques planches et schémas illustratifs. Pour Legendre (1994), le caractère formel et abstrait des connaissances scientifiques constitue une source de difficulté pour les apprenants.

L'étude a permis de situer les difficultés susceptibles de constituer des obstacles à l'apprentissage des phénomènes biologiques de la gamétogénèse et de la fécondation à trois niveaux : les méthodes et techniques utilisées par les enseignants, les supports didactiques et la construction des connaissances.

Les méthodes et techniques utilisées par les enseignants : les méthodes de redécouverte et expositive ainsi que les techniques qui leur sont associées sont plus ou moins dogmatiques. Leur mise en œuvre canalise la réflexion des élèves vers les réponses attendues étant donné qu'elles ne leur laissent que peu d'initiative dans les activités. Cela favorise chez les élèves, la mémorisation-restitution qui met uniquement à contribution la mémoire à court terme et ne forme pas l'esprit scientifique. Selon Goupil et Lusignan (1993, p. 53), « l'expérience pratique montre que l'enseignement magistral des concepts est impossible et infructueux ». En mettant l'accent sur la mémorisation, l'enseignant a tendance à court-circuiter le processus d'apprentissage de l'élève en lui fournissant des réponses toutes faites sans se soucier des questions qu'il se pose (Legendre 1994).

Les supports didactiques : ce sont premièrement les planches et en second lieu les schémas. Les enseignants ont une préférence pour les planches lorsqu'ils enseignent les phénomènes biologiques de la gamétogénèse et de la fécondation, puisque leur utilisation semble plus commode. Les planches montrent certes des schémas, mais les schémas ne contribuent bien aux acquisitions que lorsqu'ils sont réalisés en classe. Pour El Hnot, Cherai et Sibari (2017, p. 214), le schéma est « une représentation simplifiée qui permet de mettre en relief non la forme, mais les relations, voire le fonctionnement des éléments essentiels d'un objet ou d'un processus pour faciliter la

compréhension de sa composition, de son fonctionnement, et de son organisation ». Par conséquent, il constitue un outil didactique qui favorise « la sélection de l'information et attire l'attention sur l'essentiel et sur l'interaction des données à apprendre » (*ibid.*, p. 214). C'est pourquoi le schéma doit être soigneusement élaboré dans le cadre des apprentissages, tout en respectant l'exactitude scientifique pour faciliter l'acquisition des connaissances par les élèves. Le manuel officiel est à bien des égards, scientifique et didactique notamment, d'une qualité remarquable mais les insuffisances concernant les illustrations des phénomènes étudiés confortent les enseignants dans des approches susceptibles de créer des confusions dans la compréhension des concepts.

A propos des supports didactiques utilisées pendant la leçon, Gouanelle et Schneeberger (1996, p. 81), relèvent ceci dans une étude faite sur l'utilisation des schémas dans l'étude de la reproduction humaine :

« Souvent les images présentées ne donnent qu'une idée partielle du phénomène correspondant. Les photos de fécondation qui sont généralement proposées aux élèves montrent le plus souvent la rencontre entre un ovule et des spermatozoïdes (...) avec parfois la pénétration d'un spermatozoïde mais elles ne permettent pas de comprendre ce qui se produit au moment de l'union entre les deux cellules. Dans ces conditions, l'élève peut difficilement comprendre à quoi correspond véritablement le phénomène de la fécondation, certains le ramenant à une simple addition où chaque élément garde sa propre identité et sa structure. »

Ainsi, si les choix didactiques opérés par l'enseignant pendant le cours sont inappropriés, ils constitueront sans doute une source d'obstacles didactiques pour les apprenants.

La construction des connaissances : il ressort de l'étude que la plupart des enseignants dispensent les cours sur les phénomènes biologiques de la gamétogénèse et de la fécondation sans une fiche pédagogique qui témoigne de la planification du scénario, en amont, de construction et en aval de transmission du savoir aux apprenants. Cela prédispose l'enseignant aux improvisations et ou à la navigation à vue lors de son cours, ce qui peut être source de production d'erreurs. Très peu d'entre eux aussi proposent des activités qui permettent un réel investissement des élèves pour la construction des connaissances, confirmant ainsi le caractère dogmatique de la transmission des connaissances. La trace écrite, résultat de la transposition didactique interne des savoirs à enseigner est très variable dans sa structuration d'un enseignant à un autre. Ce fait témoigne des diverses manières dont les enseignants abordent le même contenu. Pour Roletto (1998, p. 12), « la façon d'enseigner les sciences dépendrait donc de la conception que les enseignants ont du savoir scientifique, quels que soient le domaine scientifique, le niveau de scolarité ou le contexte culturel ».

## 7 Conclusion

L'apprentissage de la gamétogénèse et la fécondation en classes de terminales C et D est affecté par des obstacles de type didactique ayant pour principales sources les méthodes et techniques et les aides didactiques utilisées ainsi que des insuffisances de compétences des enseignants sur la transposition didactique interne. Les situations didactiques et les pratiques des enseignants qui les élaborent limitent la qualité de l'apprentissage des phénomènes biologiques relatifs à la gamétogénèse et à la fécondation. Parce que la reproduction touche à la sexualité (même de manière implicite), son enseignement est fortement tributaire du contexte social et sociologique dans lequel il se fait, certaines familles et communautés étant moins enclines que d'autres à aborder la question de manière ouverte. Mais d'une façon générale, ce contexte a des effets sur les représentations des élèves et il est essentiel que les pratiques enseignantes soient efficaces pour changer les connaissances pré-acquises erronées. Cela est d'autant plus important qu'en classes de terminales C et D, l'étude de l'hérédité prend la suite de celle de la reproduction. La persistance d'une mauvaise compréhension des phénomènes biologiques relatives à la méiose et à la fécondation, associée à des représentations largement animalculistes de la reproduction humaine, peut être source d'obstacles épistémologiques à l'apprentissage de l'hérédité. Outre l'amélioration des compétences professionnelles des enseignants, la mise en œuvre de la pédagogie de l'intégration ne peut apporter de résultats factuels en apprentissage que si des moyens d'enseignement-apprentissage appropriés sont disponibles, les enseignants liant le choix des méthodes et techniques non pertinentes à l'insuffisance voire l'inexistence des aides didactiques dans les établissements.

## REFERENCES

- [1] Abdelli, S. (2017). Exploitation didactique de l'histoire et de l'épistémologie dans une perspective de formation des enseignants à l'éducation à la sexualité, *Tréma*, Récupéré sur Internet : <http://journals.openedition.org/trema/3639>. Consulté le 14 juin 2024.
- [2] Bachelard G. (2004). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin, 306 p.
- [3] Beorchia, F. et Lhoste, Y. (2007). La procréation : quelles problématisations du CP au collègue ? *Recherches en éducation*, 3, p. 29-50.
- [4] Brousseau, G. (1998). La théorie des situations didactiques. Récupéré sur Internet: <http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2011/06/MONTREAL-archives-GB1.pdf>. Consulté le 3 juin 2011.
- [5] Chevallard, Y. (1985). La transposition didactique : du savoir savant au savoir enseigné. Grenoble : La Pensée sauvage, 126 p.
- [6] Clément, P. (2013). Le Délai de Transposition Didactique (DTD) dans les Livres du Maître. Exemples en Biologie. Richard Etienne. 9<sup>e</sup> Journée Pierre Guibbert, Université Montpellier 3, 26 p.
- [7] Collectif (2007). Planète vivante SVT terminales C et D. Livre élève. Hatier.
- [8] Crahay, M. (1996). *Peut-on lutter contre l'échec scolaire ?* Bruxelles : De Boeck et Larcier, 322 p.
- [9] De Ketele, J.-M. et Roegiers, X. (2015). *Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observation, de questionnaire, d'interview et d'étude de documents*. De Boeck Supérieur, 5<sup>ème</sup> édition, 208 p.
- [10] Denis, H. et Collenot, A. (1993). L'origine et l'évolution de la reproduction sexuée. *Médecine/sciences*, 9, p. 1392-403
- [11] El Hnot, H, Cherai, B. et Sibari, H. (2017). Les Représentations schématiques des enseignants stagiaires en sciences de la vie et de la terre : quelles compétences pour une utilisation pédagogique ? Récupéré sur Internet <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n19p211>. Consulté le 20 juin 2023.
- [12] Farhane, F. (2016). Approches didactique et pédagogique de la biologie humaine au lycée en Tunisie Étude exploratoire, en contexte culturel tunisien, de l'intégration de l'autocorrection et de l'auto-évaluation en classe de terminale dans les cours sur la reproduction humaine. Thèse de doctorat, Université lumière Lyon 2.
- [13] Fortin, M.-F. et Gagnon, J. (2016). *Fondements et étapes du processus de recherche : Méthodes quantitatives et qualitatives (3<sup>e</sup> édition)*. Montréal, Québec : Chenelière éducation.
- [14] Giami, A. (2002). Les enjeux de l'éducation sexuelle : entre la morale et la santé. *La santé de l'homme*, 362, p. 27-29.
- [15] Gouanelle, C., Schneeberger, P. (1996). Utilisation de schémas dans l'apprentissage de la biologie à l'école : la reproduction humaine. *Aster*, n°22, p. 57-86.
- [16] Goupil, G. et Lusignan G. (1993). *Apprentissage et enseignement en milieu scolaire*. Montréal : Gaëtan Morin éditeur, 445 p.
- [17] Jonnaert, P. (2020). Elaborer et évaluer les manuels scolaires, module de formation. BACSE international, Orford, Québec, Canada, avril 2020. Récupéré sur Internet : <http://baceinternational.com>. Consulté le 18 mars 2023.
- [18] Lebrun, J. et Niclot, D. (2009). Les manuels scolaires : réformes curriculaires, développement professionnel et apprentissages des élèves. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(2), p. 7–14.
- [19] Legendre, M-F. (1994). Problématique de l'apprentissage et de l'enseignement des sciences au secondaire : un état de-là question. Récupéré sur Internet : <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politiquedutilisation/> Consulté le 16 décembre 2021.
- [20] MESS (2010). Programmes et instructions officielles des Sciences de la Vie et la Terre.
- [21] Oldache, M. et Houatis, D. (2018). Importance de l'épistémologie et l'histoire des sciences dans l'enseignement, *Didactiques*, 7(02), p. 59-78.
- [22] Paun, E. (2006). Transposition didactique : un processus de construction du savoir scolaire. *Carrefours de l'éducation*, 2(22), p. 3-13.
- [23] Pelpel, P. (1993). *Se former pour enseigner*. Paris : Dunod, 3<sup>ème</sup> édition, 384 p.

- [24] Piaget, J. (1928). Les trois systèmes de la pensée de l'enfant. *Bulletin de la Société française de Philosophie. Comptes rendus des séances, séance du 17 mai 1928*, p. 97-141.
- [25] Ravel, L. (2003). Etude de la transposition didactique interne. Exemple de l'arithmétique en Terminale S spécialité mathématique. Récupéré sur Internet : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00162790>. Consulté le 3 octobre 2022.
- [26] Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques : Points de vue de futurs enseignants. *Aster*, n°26, p. 11-30. Récupéré sur Internet [https://www.persee.fr/doc/aster\\_0297-9373\\_1998\\_num\\_26\\_1\\_1115](https://www.persee.fr/doc/aster_0297-9373_1998_num_26_1_1115). Consulté le 15 juillet 2024.
- [27] Silva, P A. (2021). Pratique pédagogique des enseignants. *Revisita Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. 02, Vol. 06, p. 117-125. Récupéré sur Internet : <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/education-fr/pratique-pedagogique>. Consulté le 11 mars 2023.
- [28] von Glasersfield, E. (1994). Pourquoi le constructivisme doit-il être radical ? *Revue des Sciences de l'éducation*, vol. XX, n°1, p. 21-27