

EST-IL-INDISPENSABLE D'ETRE UN SPECIALISTE EN MATHÉMATIQUE POUR ETRE UN ENSEIGNANT DE BIOLOGIE ?

ABOU RAAD * Nawal – CHATILA ** Hanadi

Résumé – L'objet de cet article est de présenter brièvement les difficultés d'un groupe d'enseignant(e)s de biologie dans l'outillage des concepts mathématiques afin de promouvoir l'interdisciplinarité dans les formations universitaires. A partir d'entretien et d'une pratique d'une des activités de biologie en classe de troisième, nous avons pu déceler l'importance de la formation interdisciplinaire.

Mots-clefs : interdisciplinarité, biologie, mathématique.

Abstract – The purpose of this article is to present the difficulties faced by a group of biology teachers in the usage of mathematical concepts to promote interdisciplinarity in teaching preparation programs. The importance of the interdisciplinary teachers' training programs was highlighted from the teachers' interviews and the analysis of a biology activity from grade nine.

Keywords interdisciplinarity, biology, mathematics.

I. INTRODUCTION

"La nature des relations existantes entre la biologie et les mathématiques est à la fois polémique et complexe" (Lange, 2000). La biologie est la science du vivant : elle s'étend du niveau moléculaire à celui de la cellule, de l'organisme jusqu'au niveau de la population et de l'écosystème. Elle est un sujet très vaste et très varié ; elle a cessé d'être une science descriptive au cours du vingtième siècle pour devenir une science potentiellement mathématisable (Meyer, 2012). Alors que les mathématiques sont un ensemble de connaissances abstraites qui sont engendrées de raisonnement logique appliqué à des objets de savoir divers tels que les nombres, les formes, les structures et les transformations. Elles ne sont pas le réel mais donnent des éléments de compréhension et d'appréhension du réel en interrogeant d'autres sciences (Aldon, 2008). Tous les biologistes ont besoin d'avoir une compréhension basique, fondamentale de la chimie, de la physique, et surtout des mathématiques et des statistiques. Les enseignants de la biologie ont-ils besoin d'être spécialistes dans tous ces domaines ? En ce qui concerne les mathématiques, sujet de notre étude, les enseignants de biologie, au Liban, à partir de la classe de cinquième (élève de 12-13 ans), ont besoin de certaines connaissances qui leur donnent une base solide pour enseigner la biologie. La complexité des problèmes posés dans le champ de la biologie conduit souvent à favoriser des raisonnements scientifiques inductifs moins adaptés à une formalisation mathématique. Pour étudier la génétique, il suffit de comprendre les concepts de base des probabilités ; pour tester les hypothèses, calculer la moyenne, la médiane et le mode, les statistiques ont leur place. La plupart des activités et des documents à analyser demandent une connaissance basique de l'algèbre et des graphiques. Atlan (1979) souligne

Il arrive que le langage mathématique soit utilisé par les biologistes de façon incorrecte et que pourtant 'ça marche'. C'est parce qu'il s'agit le plus souvent de métaphores et que cette utilisation correspond à des besoins - ou à des blocages - proprement biologiques, c'est-à-dire à des questions posées par le développement de la biologie elle-même.

1 * Université Libanaise, Faculté de Pédagogie - Liban - nabouraad@ul.edu.lb

2 ** Université Libanaise, Faculté de Pédagogie - Liban - hanadi.chatila@ul.edu.lb

La biologie et les mathématiques peuvent être considérées comme complémentaires. Dans l'enseignement, la maîtrise des savoirs à enseigner doit se concevoir en fonction de l'usage de ces savoirs dans une situation d'enseignement déterminée, donc de leur transposition didactique. La maîtrise de la transposition didactique (Chevallard, 1980) fait partie des savoir-faire professionnels d'enseignement qui comportent des connaissances et savoir-faire sur les objectifs et contenus de programme. La transposition se fait à partir de pratiques, qui mettent en œuvre non seulement des savoirs, mais une culture, un habitus, des attitudes, des savoirs être.

Former des enseignants suppose qu'à partir des pratiques enseignantes, on reconstitue les savoirs et les compétences nécessaires (Arsac et al, 1994). Le curriculum de la formation professionnelle, au niveau du master professionnel "Enseignement d'une discipline", de la Faculté de Pédagogie-Université Libanaise, comporte un volet théorique et un volet pratique (stage). Sa conception est de ne pas se limiter à la simple transmission des connaissances, il tente de développer aussi des savoir-faire et de faire émerger chez le futur enseignant des savoir-être (attitudes, habitus, valeurs, éthique). Les savoirs sont organisés par disciplines, ils n'ont pas exploré les réalités de l'interdisciplinarité, ou de la transdisciplinarité, ainsi que la multidisciplinarité, termes à la mode depuis des années en Europe. Un tel curriculum permet aux futurs enseignants d'acquérir des connaissances et de développer un type de pensées disciplinaires nécessaires à l'exercice "compétent" de la profession, par une articulation alternée des savoirs académiques et des savoirs d'expérience propres à la discipline. Signalons que le programme de la Biologie et de la Didactique de la Biologie (modules primaires pour le master) ne permettent pas d'acquérir des connaissances et des méthodes de travail en mathématiques. De même le curriculum de la Faculté des Sciences-Université Libanaise ne présente aux étudiants de Licence en Science de la vie et de la Terre (Biologie) qu'une formation préliminaire en mathématiques. Dans le cursus universitaire, deux modules de mathématiques sont omniprésents en première année de licence. Un de ces modules est "les Statistiques" dont le contenu est une répétition du contenu scolaire et l'autre est "l'Algèbre" dont le contenu groupe les connaissances de base pour travailler avec les nombres.

Nous abordons dans ce travail la nécessité d'une approche interdisciplinaire de la conceptualisation. Nous voulons rechercher la place que les enseignant(e)s de biologie accordent aux liens interdisciplinaires dans leur enseignement. D'après notre expérience empirique et les curricula libanais universitaires et de formation, nous supposons que les enseignant(e)s de biologie ne peuvent pas transposer ou transférer une conception mathématique afin d'intégrer les acquis de leurs élèves puisqu'ils ne l'ont pas vécue eux-mêmes dans leur parcours de formation professionnelle et universitaire qui est loin d'être interdisciplinaire. D'où nos questionnements :

1. l'enseignement et l'apprentissage de la biologie est-il décloisonné ?
2. l'enseignant(e) de biologie perçoit-il (elle) et met-il (elle) des liens interdisciplinaires, en particulier aux mathématiques, dans son enseignement ?
3. la formation universitaire et professionnelle d'un(e) enseignant(e) de biologie comble-t-elle des besoins interdisciplinaires ?

En enseignement, selon Gauthier et al. (1997), la base de connaissances est l'ensemble de savoirs, de connaissances, d'habiletés et d'attitudes dont tout enseignant a besoin pour accomplir son travail de façon efficace dans toute situation d'enseignement. Ils postulent que, dans l'acte d'enseigner, plusieurs savoirs sont mobilisés

Il est beaucoup plus pertinent de penser l'enseignement comme la mise en action de nombreux savoirs composant une sorte de réservoir dans lequel l'enseignant puise pour répondre à certaines demandes précises de sa situation d'enseignement (Gauthier et al. p.25).

Ces chercheurs se sont interrogés, comme d'autres, sur la nature des savoirs nécessaires à l'enseignant dans sa professionnalisation. Ils ont trouvé que ces savoirs sont composés principalement :

- de savoirs disciplinaires constitués par les contenus spécifiques de la discipline,
- de savoirs curriculaires définis dans les programmes scolaires par les responsables politiques de l'Éducation Nationale,
- de savoirs issus des sciences de l'éducation acquis par l'enseignant au cours de sa formation ou dans le cadre de l'exercice de sa profession,
- de savoirs de la tradition pédagogique liés à la représentation que s'est forgée l'enseignant à propos de l'école,
- de savoirs d'expérience liés à la pratique quotidienne et routinière du métier, et enfin,
- de savoirs d'action pédagogique constitués de savoirs d'expérience rendus publics, validés à la fois par l'expérience du terrain et par la recherche. (Gauthier et al.p.24)

II. LE SYSTEME EDUCATIF SCOLAIRE LIBANAIS

Au Liban, les écoles sont de deux types : publiques et privées. Ces dernières sont aussi de deux types : laïques ou missionnaires. Certaines sont anglophones et d'autres francophones. Dans toutes les écoles, les sciences ainsi que les mathématiques, sont enseignées depuis les petites classes en l'une des langues étrangères. Les mathématiques s'étendent en matière singulière, sur tous les niveaux de l'Education de Base, alors que les sciences sont partagées en biologie, physique et chimie à partir de la classe de cinquième.

Les programmes libanais publiés par le décret n° 10227 le 8 mai 1997, ont été élaborés de manière à garantir la plus grande cohérence entre le contenu, les méthodes et l'évaluation des acquis. Ils visent parmi d'autres à donner à l'apprenant les connaissances et compétences nécessaires, à développer l'esprit scientifique et les valeurs qui s'y rattachent, à enrichir ses connaissances terminologiques et à assurer les connaissances et les principes scientifiques et mathématiques. Ils sont cloisonnés en matières indépendantes. Ils présentent une entrée par objectifs d'apprentissage ayant comme finalité des compétences à atteindre. La compétence est représentée comme « un ensemble intégré d'objectifs spécifiques ». Certaines de ces compétences sont liées au développement cognitif (mémoriser, gérer le temps d'étude, collecter, sélectionner, tirer des informations, prendre conscience de ses manières d'apprendre, etc.); d'autres renvoient à des opérations mentales comme (déduire, induire, synthétiser, comparer, etc.) ou encore à des mécanismes intellectuels qui figurent dans la taxonomie de Bloom (comprendre, appliquer, analyser, interpréter, synthétiser, évaluer, ...) et à des savoir-faire méthodologiques (prendre des notes, structurer un discours, chercher une information, outiller un concept,...). Nous pensons que ce processus d'intégration devrait dépasser les limites d'une seule discipline, et s'étendre sur un champ interdisciplinaire ; d'où la nécessité de mettre en place et de mobiliser des compétences transversales interdisciplinaires. Ces programmes sont suivis dans toutes les écoles sauf les écoles conventionnées et homologuées par des pays étrangers, comme la France. En revanche, le manuel scolaire national est adopté par toutes les écoles publiques, alors que les écoles privées ont la liberté du choix du manuel scolaire. Les mathématiques constituent une activité de l'esprit qui prend les dimensions d'une grande aventure humaine. Elles sont un champ fertile au développement de la pensée critique, à la formation de l'habitude à l'honnêteté scientifique, à l'objectivité, à la rigueur et à la précision. Elles offrent aux élèves des connaissances nécessaires à la vie sociale et des moyens efficaces pour comprendre et explorer le monde réel quel qu'en soit le domaine : physique, chimique, biologique, astronomique, social, psychologique, informatique, etc.. Alors que les objectifs généraux de la Biologie ne sont que des objectifs conceptuels, techniques et méthodologiques. Ils se

focalisent sur la compréhension des principes scientifiques en relation avec la vie quotidienne dans les domaines de la santé, de l'environnement, de la technologie et de l'éthique.

Une étude des manuels scolaires nationaux libanais de biologie, à partir de la classe de cinquième, nous a révélé que les concepts mathématiques nécessaires à la résolution des activités proposées sont, les nombres, les probabilités, les statistiques, les fonctions (linéaires, affines, hyperboliques, sinusoïdales,...) ainsi que leur graphe.

III. METHODOLOGIE ET ANALYSE

Dans l'objectif de répondre à notre problématique, nous avons procédé à une série d'entretiens auprès d'une vingtaine d'enseignant(e)s de biologie en exercice (4 ans d'expérience au minimum) dans différentes écoles publiques libanaises anglophones et francophones. Ces enseignant(e)s ont une licence en Science de la vie et de la Terre au sein de la Faculté des Sciences, et ont suivi, derrière, pour un an, une formation professionnelle pour l'obtention du CAPES (Certificat d'Aptitude Pédagogique pour l'Enseignement Secondaire), dans l'enseignement de la Biologie au sein de la Faculté de Pédagogie - Université Libanaise. Nous présentons un exemplaire de nos questions :

1. Considérez-vous qu'il soit facile d'établir des liens interdisciplinaires dans votre enseignement ?
2. Comment évaluez-vous votre compétence à mettre en œuvre dans votre enseignement les liens entre la biologie et les mathématiques ?
3. Quelles sont les difficultés qui peuvent freiner la modélisation mathématiques dans l'enseignement d'une activité en biologie ?
4.

Ces entretiens visent à savoir

1. les conditions et les difficultés que ces enseignant(e)s associent à la mise en œuvre des liens interdisciplinaires dans leur enseignement ;
2. comment ces enseignant(e)s entreprennent les activités qui demandent une modélisation mathématique ;
3. s'il est nécessaire d'acquérir des connaissances mathématiques pour être un(e) enseignant(e) de biologie compétent(e) ;
4. les ressources de référence pour dépasser la difficulté de l'interdisciplinarité avec les mathématiques.

L'analyse de ces entretiens a révélé a) que les liens entre la biologie et les mathématiques ne sont pas prédominants dans les pratiques de ces enseignant(e)s, certain(e)s les qualifient même de difficiles; b) pour ces enseignant(e)s, le problème de la mise en œuvre des liens interdisciplinaires est à associer aux contraintes organisationnelles et institutionnelles; c) que le manque de connaissances en mathématique de certain(e)s enseignant(e)s influe sur leurs interprétations d'un résultat en biologie ; d) certain(e)s enseignant(e)s se considèrent des enseignant(e)s de biologie uniquement et non pas comme des enseignants qui prennent en charge des disciplines scientifiques; e) l'ignorance de la part des enseignant(e)s de biologie des règles de traitement du graphique en mathématique; f) que les enseignant(e)s de biologie s'éloignent du traitement mathématique dans les activités et surtout dans le traitement des graphes; g) le travail des enseignant(e)s de biologie se limite à guider leurs élèves uniquement dans le domaine de la biologie en laissant la charge à certains braves élèves de nouer les liens entre la biologie et les mathématiques.

Pour mieux cerner nos constats, nous allons reprendre et discuter des propos de ces enseignant(e)s. Signalons que leurs verbalisations sont reproduites telles quelles sont dites et que nous avons traduit celles qui sont en anglais.

- La majorité (16 des 20) des enseignant(e)s considère que les mathématiques sont un besoin pour enseigner la biologie, mais ils peuvent s'en tirer sans trop s'y attarder. L'important, pour eux, est que l'élève mémorise la stratégie de résolution sans s'enfoncer dans le concept mathématique non déjà rencontré. Pour exemplifier *"il n'est pas nécessaire qu'un enseignant de biologie connaisse les concepts mathématiques à fond, il lui suffit de savoir un peu d'algèbre"*; *"les mathématiques sont existant sûrement, mais je ne sens pas la nécessité de les connaître à fond, savoir la biologie est très suffisant"*; *"Pour moi; les mathématiques sont existant surtout dans les graphes et les histogrammes, mais je ne m'occupe que de la variation et je pousse mes élèves à reconnaître le composé qui croît et celui qui décroît"*. Les quatre autres enseignant(e)s ont confirmé le besoin des connaissances mathématiques pour réussir leur enseignement *"c'est vrai je suis enseignant de biologie ; mais je dois maîtriser les mathématiques pour résoudre tous les problèmes proposés et ne pas fuir certains comme font des collègues"* ; *"Connaître les mathématiques à fond est un grand besoin didactiquement parlant"*.
- 19 enseignant(e)s ont déclaré le besoin d'outiller uniquement les formules mathématiques impliquées. Pour eux, l'élève en biologie n'est pas censé reconnaître les bases mathématiques non déjà apprises avec l'enseignant des mathématiques. Pour exemplifier *"moi, je passe sur un graphe, sans importance sur la nature de la fonction, si elle est une hyperbole par exemple, je n'insiste pas sur le fait qu'elle ne touche pas x, puisque moi je ne sais pas pourquoi?"*; *"la probabilité est trop dure pour moi et pour mes élèves, je cherche des exercices typiques des examens officiels"*; *"Je force mes élèves à comprendre le concept de la biologie, et d'appliquer la formule, plus tard quand l'enseignant des mathématiques passe sur le concept déjà présent l'élève le comprendra, comme exemple la probabilité en génétique"*. La 20^{ème} enseignante affirme, contrairement aux autres, *"pour être un bon enseignant de biologie ; il faut être capable de modéliser mathématiquement ; donc connaître bien les concepts mathématiques"* :
- 12 des 20 enseignant(e)s n'ont éprouvé aucune difficulté vis à vis des connaissances mathématiques, puisqu'ils considèrent que dans leur enseignement il ne faut pas puiser dans ces connaissances, pour eux une formule est bien suffisante. Pour exemplifier : *"Pour le calcul de la vitesse de propagation du message nerveux, j'écris la formule et je montre la technique du calcul que les élèves devront appliquer"* ; *"le choix de l'échelle dans un graphe n'est pas important, je le trace à main levée, c'est la variation qui m'intéresse le plus"*.
- 3 enseignant(e)s coopèrent parfois avec les enseignant(e)s des mathématiques pour qu'ils anticipent dans leurs explications, ce qui facilitera la tâche à l'élève dans le cours de biologie, et parfois pour avoir une aide dans l'étude d'un graphe ou dans la recherche d'une échelle. Deux autres font appel à leur habitus d'étudiant : *" moi, je n'ai aucune difficulté à outiller des concepts mathématiques car depuis toujours je suis bonne en math"*. Une enseignante a fait recours aux connaissances mathématiques de ses élèves. Elle a dit *"si l'élève est bon en math, il peut appliquer sans aucun problème, si non, tant pis, l'enseignant de math lui expliquera"*. Les autres confirment, que malgré leurs difficultés à anticiper un concept mathématique pour enseigner un savoir de leur discipline, ils n'ont jamais pratiqué un travail interdisciplinaire et n'ont jamais fait appel aux collègues enseignant(e)s des mathématiques. Ils font recours à des techniques suivant les indications des livres du maître.

Les avis varient en ce qui concerne les difficultés mathématiques dans l'enseignement de certaines activités en biologie. Certain(e)s se sentent mal à l'aise et évitent de traiter des

représentations graphiques. Ils focalisent l'attention de leurs élèves sur la forme et non pas sur le fond. Ce qui nous laisse dire que l'occupation primordiale de ces enseignant(e)s est la représentation visuelle et non pas celle conceptuelle. Ils ne coopèrent pas (ou peu) avec les enseignants des mathématiques.

IV. UNE ACTIVITE PORTANT SUR UNE DIFFICULTE MATHEMATIQUE

"La science est une activité qui consiste à poser et à résoudre des problèmes, et l'apprentissage scientifique doit permettre aux élèves de développer cette compétence" (Orange, 1997). En tant que didacticiennes, et avec une posture critique, nous avançons notre réflexion à travers une situation d'apprentissage (Document 1), tirée du manuel scolaire national de la classe de troisième (élèves de 14-15 ans), dans le but de repérer; à partir du débat scientifique (Johsua et Dupin, 1989), un problème didactique: à quel point un(e) enseignant(e) de biologie est capable d'organiser les nécessités mathématiques pour apprendre aux élèves à appréhender un graphe ?

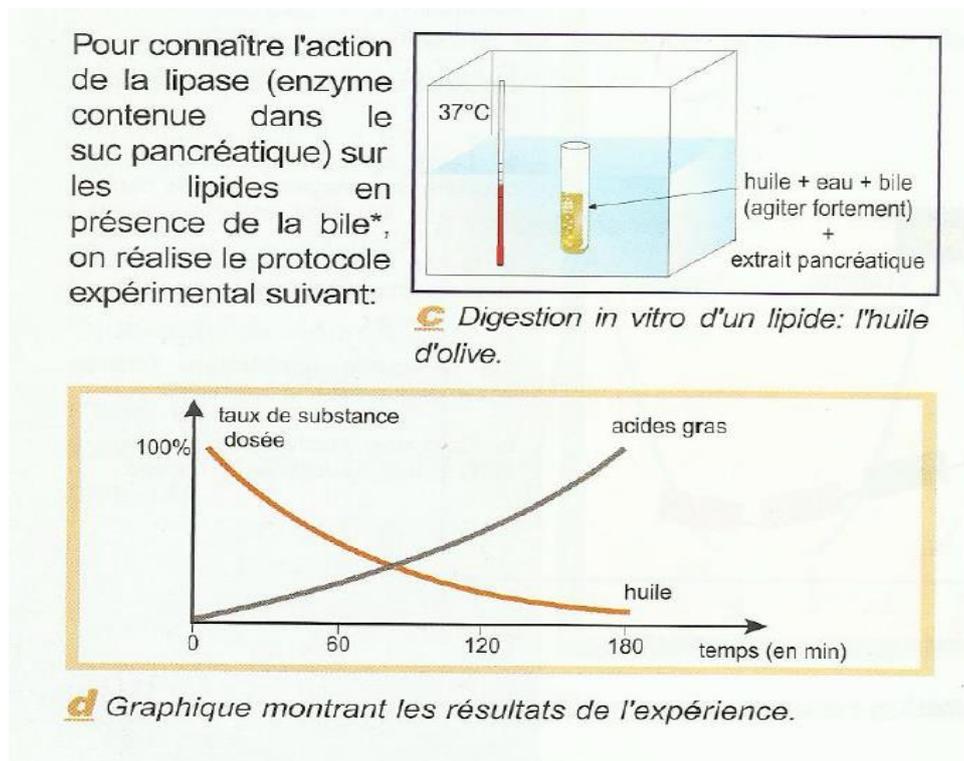


Figure 1

L'une des difficultés de l'enseignement de cette activité réside dans la quantité des mathématiques nécessaires pour que l'enseignant(e) de biologie comprenne ce que cette expérience propose et puisse répondre aux interrogations de ses élèves sur les allures de ces deux courbes.

En nous référant à la nature des savoirs nécessaires à l'enseignant(e) dans sa professionnalisation (Gauthier et al, 1997), nous pouvons proposer la description suivante : les savoirs disciplinaires tournent autour de la digestion de l'huile en présence de la lipase. Cette activité fait partie du chapitre " La digestion" qui est défini dans les programmes

scolaires au niveau de la classe de troisième. L'enseignant(e), dans son cursus scolaire et universitaire, a acquis une formation sur une telle connaissance.

Les enseignant(e)s interrogé(e)s dans l'explication du graphe sont convaincu(e)s qu'il ne s'agit que de confronter la variation de l'huile avec celle de l'acide gras. Ils suivent les indications du livre du maître : *"Le taux de l'huile diminue tandis que celui des acides gras augmente ; conclusion : les acides gras proviennent de l'huile"*. Ici tous les enseignant(e)s ont annoncé le manque d'une connaissance biologique : le glycérol qui se produit en même temps que l'acide gras et qui est absent du graphe. Par contre, aucun d'eux (d'elles) n'a une argumentation sur le point de rencontre des deux courbes que l'un des enseignant(e)s l'a appelée "hyperbole" et une autre enseignante l'a désignée par « $y=ax + b$ ». Cette intersection en mathématique désigne la solution commune aux deux fonctions; mais dans ce cas pouvons-nous dire que le taux de substance dosée est le même que la quantité d'acide gras produite au temps t indéfini sur le graphe, tel que $60 \leq t \leq 120$, ainsi que le taux? Pour $t = 0$ min, le taux de l'huile est 100% et celui de la lipase 0%. En revanche, au $t = 180$ min, il semble que le taux de la lipase est 100%; alors que celui de l'huile qui devrait être 0% ne l'est pas ; la courbe ne touche pas l'axe des abscisses. Il paraît que cette courbe tend vers l'infini. En questionnant les enseignant(e)s sur ce graphe, nous n'avons eu aucune réponse de confrontation des connaissances interdisciplinaires. Aucun(e) des enseignant(e)s n'a pu argumenter l'allure des courbes, est-ce-que la disparition de l'huile et la production de l'acide gras sont proportionnelles ? Quelle est la signification de ce point d'intersection ? Pour eux (elles), l'élève doit retenir de ce graphe que l'huile diminue pour former de l'acide gras et du glycérol. Nous nous posons la question suivante : pourquoi présenter les résultats de l'expérience sur un graphe tant que ce graphe ne sera pas interprété par référence aux connaissances mathématiques qui sont en lien avec les connaissances de la biologie ? La modélisation mathématique doit prendre sa bonne place pour toute interprétation scientifique : Ne faut-il pas se concentrer sur le conceptuel pour donner du sens à l'apprentissage ?

IV. CONCLUSION

Cette étude, non exhaustive rapporte le manque de formation disciplinaire et didactique à l'interdisciplinarité : Elle montre l'importance pour les enseignants de biologie d'avoir des connaissances du champ des mathématiques leur permettant de comprendre les interactions entre les deux disciplines. Elle montre aussi l'influence de la culture disciplinaire des enseignant(e)s et prêche en faveur d'une approche interdisciplinaire. Les enseignant(e)s de biologie, dans leurs pratiques, rencontrent des difficultés à travailler avec leurs élèves des activités dont les stratégies de résolution nécessitent certains concepts mathématiques, ils manquent de références pour les traiter. Ils sont peu préparés à la modélisation mathématique et leurs interactions avec les enseignants des mathématiques sont limitées. Aussi, elle met à jour le problème de la formation initiale et continue des enseignants de biologie pour les préparer ou les accompagner à recourir dans leur enseignement à une approche interdisciplinaire entre mathématiques et sciences. Elle pourrait aussi contribuer à une réforme des curricula et un renouvellement des contenus de l'enseignement de la biologie (Coquidé et al, 2011 ; Abou Raad et Chatila, 2016). Notre point de vue, est qu'une réflexion didactique sur les pratiques enseignantes et la façon de les transposer d'un niveau d'enseignement à un autre est prioritaire et liée à la formation à l'enseignement. Cette formation doit s'inscrire dans une perspective d'interdisciplinarité et permettre de bien saisir l'apport des matières à la compréhension d'une situation donnée.

REFERENCES

- Abou Raad N. & Chatila H. (2016) Investigating Lebanese grade seven biology teachers' mathematical knowledge and skill: A case study. *International Journal of Research in Education and Science (IJRES)*, 2(2), 428-437.
- Aldon G. (2008) *Modéliser, simuler en mathématiques*. Dossiers de l'ingénierie éducative n° 63-64.
- Arsac G., Chevallard Y., Martinand J.-L., Tiberghien A. (1994) *La transposition didactique à l'épreuve*. Grenoble : La Pensée sauvage Éditions.
- Atlan H. (1979) *Entre le cristal et la fumée*. Paris : Le Seuil.
- Chevallard Y. (1980) *La transposition didactique : La pensée sauvage* : Grenoble
- Coquidé M. et al. (2011). Espace et temps dans les sciences du vivant : nouvelles perspectives pour la recherche en didactique : *Recherche en didactique des sciences et des technologies*. 4 ; 139-160
- Gauthier C. et al. (1997) *Pour une théorie de la pédagogie, Recherches contemporaines sur le savoir des enseignants*. Québec : Les Presses de l'Université Laval.
- Johsua S. et Dupin J.-J. (1989) *Représentations et modélisations : le « débat scientifique » dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne : Peter Lang.
- Lange J.M (2000) Rencontres entre les disciplines, *ASTER* N° 30. 2000.
- Martinand J.-P. (1989) *Pratiques de référence, transposition didactique et savoirs professionnels en sciences techniques*. Les sciences de l'éducation, pour l'ère nouvelle, 2, 23-29
- Meyer P. (2012) Comment mathématiser la biologie ? *Rue Descartes*, 74, (2), 20-23.
- Orange C. (1997) Problèmes et modélisation en biologie : quels apprentissages pour le lycée. Paris : *Presses universitaires de France*.