

Enseigner les ondes mécaniques comme jeux d'apprentissage sur simulation

AHMED BEN JEMAA^{1,2}, JEAN-MARIE BOILEVIN²

¹Université de Tunis
Tunisie
Ahmed_ben_jemaa@yahoo.fr

²EA 3875 CREAD
Université de Bretagne Occidentale
France
jean-marie.boilevin@espe-bretagne.fr

RÉSUMÉ

Nous proposons de présenter dans cet article une approche d'enseignement fondée sur une démarche d'investigation dénommée Prévission, Confrontation, Discussion et Résolution (PCDR). Nous avons formé à cette approche un enseignant novice dans les démarches d'investigations et nous lui avons proposé un scénario pédagogique complet. Nous avons ensuite observé l'enseignant au cours de la mise en œuvre de cette approche sur la simulation des ondes mécanique avec des élèves de terminale scientifique en Tunisie. L'analyse de cette séance est réalisée dans le cadre de la théorie de l'action conjointe en didactique (TACD), la méthodologie d'analyse adoptée repose sur des descripteurs des situations et de leurs mises en œuvre (jeux épistémiques, jeux d'apprentissage, contrat et milieu didactique).

MOTS-CLÉS

Jeux d'apprentissage, jeux épistémiques, contrat, milieu, simulation, ondes mécaniques, démarche d'investigation

ABSTRACT

In this paper, we propose to present a teaching approach based on an investigation process. This approach entitled teaching by Prevision, Confrontation, Discussion and Resolution (PCDR). We then had trained a novice teacher in the Inquiry-based activity and we provide through a full educational scenario for him. We have subsequently observed the teacher applying the new approach on simulation of mechanical waves in the secondary science class. The analysis of this session is part of the theory of joint action in didactics (JATD); the methodology adopted is based on analysis of the descriptors at the situations and their implementations. The descriptors are epistemic games, learning games, didactic contract and didactic setting.

KEYWORDS

Learning games, epistemic games, contract, setting, simulation, mechanical waves, inquiry process

INTRODUCTION

Ce travail fait partie d'une étude doctorale en cours. Il s'agit d'une étude circonscrite en partie dans un courant de recherches sur les difficultés des élèves au cours de l'enseignement des ondes mécaniques au lycée. Parmi ces travaux, ceux de Maurines (Maurines & Mayrargue, 2001; Maurines, 2002, 2003) ont repéré deux conceptions principales développées par les élèves pendant l'enseignement des ondes : la conception « hybride capital » et la conception de « l'onde serpente ». La première conception considère que l'onde est vue par les élèves comme un mélange de force et d'énergie. Maurines et Mayrargue (2003, p. 75) ont choisi cette dénomination de *concept hybride CAPITAL car il a de nombreux points communs avec le capital de force introduit par Viennot..... pour interpréter les réponses d'étudiants en dynamique élémentaire* ». L'autre conception, « l'onde serpente », est ainsi appelée car les élèves considèrent que l'onde avance par ajout de bosses et non pas la bosse (le front d'onde) qui avance.

Nous essayons par ce travail de créer un changement conceptuelle chez les élèves et cela par confrontation de leurs conceptions (Onde serpente et hybride capital) par simulation des ondes mécaniques. Pour cet intérêt, nous avons opté un travail de recherche qui comporte quatre étapes. Une première étape consiste à observer une classe tunisienne de 21 élèves de terminale scientifique, lors de l'enseignement ordinaire des ondes mécaniques avec leur professeur pour s'assurer que les élèves ont bien un contact avec le savoir concerné. Dans une deuxième étape, nous proposons à l'enseignant un scénario pédagogique sur simulation des ondes, scénario reposant sur une démarche d'investigation au sens de Morge et Boilevin (2007, p. 45). Ajoutons que nous avons formé l'enseignant pour qu'il s'approprie cette démarche. La troisième étape a lieu au début de la séance de TP. Nous demandons aux élèves de répondre à quatre questions (pré-test) portant sur la vitesse de propagation d'une onde, sur le déplacement du front d'onde, sur le sens de déplacement de la source et sur l'aspect de la corde. La quatrième étape concerne le post-test pour évaluer les retombées du scénario proposé. Celui-ci s'appuie sur le recueil des réponses des élèves à un exercice inséré dans un devoir de contrôle (exercice que nous avons proposé à l'enseignant). Les résultats des analyses sont d'ores et déjà significatifs (Ben Jemaa & Boilevin, 2016). Nous présentons les plus intéressantes dans ce tableau:

TABLEAU 1

Extrait des résultats obtenus (Ben Jemaa & Boilevin, 2016)

Questions	Sur la vitesse de propagation de l'onde	Déplacement du front d'onde
Concept en jeu	Hybride capital	Onde serpente
Questions du pré-test	21,1%	26,3%
Questions du post-test	73,7%	73,7%

Prenons l'exemple de la question sur la vitesse de propagation de l'onde qui concerne la conception d'hybride capital, le pourcentage des réponses correctes a grimpé de 21.1% au cours du pré-test à 73.7% au cours du post-test. « *La démarche d'investigation suivie lors de la séance de TP semble montrer son efficacité sur les deux concepts : la célérité de l'onde et le front d'onde* » (Ibid).

Nous nous intéressons dans la suite de cet article à l'analyse du contenu de la séance de travaux pratiques sur simulation des ondes mécaniques. Plus précisément, nous analysons ce qui se produit au cours de la séance et qui pourrait expliquer le changement conceptuel sur environ

50% des élèves qui ont répondu correctement aux questions de post-test. Et cela parmi les 21 élèves qui ont assisté à la séance de TP.

CADRE THÉORIQUE ET QUESTIONS DE RECHERCHES

Présentation de l'approche d'enseignement par "PCDR"

Avant de passer à la partie empirique de cette recherche, nous avons développé la séance de travaux pratiques sur simulation des ondes mécanique. Cette séance est le fruit d'une ingénierie didactique au sens de Brousseau (1998), c'est une ingénierie fondée sur une démarche d'investigation au sens de Morge et Boilevin (2007). Cela a donné comme résultat une approche d'enseignement par "PCDR". C'est une approche qui comporte quatre moments d'enseignement avec des tâches d'ordre conceptuel qui nécessitent une interaction entre l'élève et la simulation. Les quatre moments d'enseignement sont successivement **Prévision**, **Confrontation**, **Discussion** et **Résolution** d'où la dénomination approche d'enseignement par « PCDR » (Ben Jemaa & Boilevin, 2016). La séance est alors organisée systématiquement comme suit :

- *Prévision* : C'est un moment qui consiste à demander aux élèves de répondre à des questions portant sur un concept particulier. Ces questions de type prévision sont « *des questions que la didactique a montrées comme "sensibles" et pouvant déboucher sur des conflits cognitifs* » (Richoux & Beaufils, 2005, p. 302). La réponse à chaque question va être considérée comme hypothèse de l'élève vis-à-vis du concept considéré.
- *Confrontation* : Les élèves vont ensuite confronter leurs hypothèses (la réponse à la question de prévision) à une simulation informatique. Il s'agit en l'occurrence d'une animation Flash où le mouvement d'une corde est entretenu par une source d'onde, l'utilisateur pouvant communiquer à la corde des impulsions d'amplitude et de fréquence réglables, ralentir le mouvement ou même l'arrêter.
- *Discussion* : Suite à cette confrontation s'installe entre les élèves, qui travaillent en groupe de deux par ordinateur, une discussion sur le résultat. De son côté, l'enseignant est chargé de créer une ambiance favorable au débat scientifique entre l'ensemble des élèves dans la salle. Cela doit permettre une première validation ou non des hypothèses des élèves.
- *Résolution* : L'action de l'enseignant vise à encadrer un nouveau débat en aidant les élèves à résoudre les conflits cognitifs par les lois de la physique déjà étudiées pendant les séances du cours sur les ondes.

Nous attendons à travers ces différentes tâches un changement conceptuel au niveau du raisonnement des élèves, ce qui pourrait participer au développement de leur esprit critique.

Cadre théorique

Nous étudions dans cet article les interactions professeur-élèves à l'aide de la théorie de l'action conjointe en didactique (Sensevy, 2011). « *Cette théorie -notée TACD- est centrée sur le processus d'enseignement et d'apprentissage, vu principalement comme processus communicationnel centré sur un jeu de savoir* » (Cross & Grangeat, 2014, p. 158).

Notions de contrat et de milieu dans la TACD

Selon Brousseau (1998), le contrat didactique correspond à l'ensemble des attentes comportementales de l'enseignant et réciproquement l'ensemble des attentes comportementales de l'élève. Cette définition est reprise et approfondie par Sensevy (2007) au cours de l'élaboration de la TACD. Cet auteur considère que « *le contrat didactique propre à une situation didactique peut alors se concevoir comme un système d'habitudes engendrant lui-même un système d'attentes, système actualisé par cette situation particulière* » (Sensevy, 2007 p. 19).

Le milieu est l'ensemble des objets physiques et des composantes immatérielles mis en jeu au cours de la construction du savoir. L'élève, le savoir, les appareils de mesures, les interactions avec l'enseignant, sont donc des éléments qui constituent le milieu didactique (Cross et Grangeat, 2014). Le milieu est alors le support qui porte les actions des élèves et de leur enseignant. À l'instar de Sensevy (2011), nous constatons alors que le milieu et le contrat sont inséparables, donc que le changement du milieu nécessite un changement du contrat.

Notion de jeu d'apprentissage

Selon Sensevy (2007), au cours d'une séance d'enseignement, on assiste à une succession de scènes, en suivant la métaphore théâtrale, qu'on peut considérer comme des jeux d'apprentissage. Santini (2012) propose un classement dans la TACD de la notion du jeu selon leurs spécifications. La première spécification est celle du jeu didactique, la deuxième est celle du jeu d'apprentissage, la troisième est celle du jeu épistémique. Ce dernier jeu est lié aux pratiques sociales de référence développées par Martinand (1986). Les jeux épistémiques permettent d'avoir une idée claire sur la transposition didactique des savoirs par une étude fine du jeu épistémique source qui prend en compte les pratiques des savoirs dans le monde social et les jeux épistémiques émergent qui prennent en compte les savoirs faire acquis par l'action dans la classe (Cross & Grangeat, 2014).

Questions et hypothèse de la recherche

Les résultats du tableau 1 décrits précédemment (Ben Jemaa & Boilevin, 2016) montrent que l'enseignement ordinaire des ondes mécaniques en classe de terminale laisse des séquelles inattendues. En effet, les élèves peuvent développer des conceptions erronées telles que la conception hybride capital et celle de l'onde serpente. Dans le prolongement de cette étude, nous cherchons donc à étudier ce qui s'est passé réellement en classe lors de l'enseignement par "PCDR" et à identifier le processus de la mise en œuvre de cette approche en classe.

Notre hypothèse de travail, c'est de placer l'élève en situation de recherche assisté en partie par l'enseignant, c'est une situation où l'élève doit tester son hypothèse choisie préalablement dans l'étape de prévision, alors l'élève se trouve obligé de se positionner par rapport aux résultats obtenus par simulation, ce positionnement lui permettra un déclenchement critique, cela permettra aussi de créer les conditions du changement conceptuel attendu c'est un changement au niveau du leur raisonnement. L'approche par PCDR pourra constituer ainsi un type efficace de démarche d'investigation.

Cette hypothèse de recherche va être étudiée en fonction des interactions des élèves avec le milieu dans le cadre du contrat didactique, elle est étudiée aussi en fonction du déroulement des jeux d'apprentissage et des jeux épistémiques attendus et des jeux qui subissent des régulations au cours de l'enseignement.

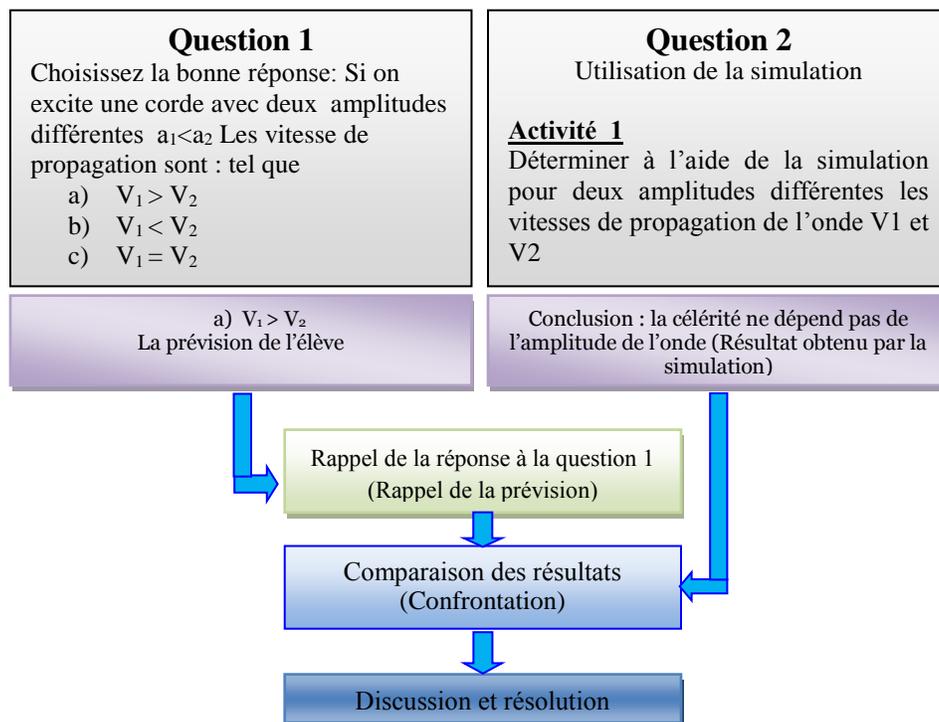
MÉTHODOLOGIE

Nous suivons une méthodologie déjà adoptée par Cross et Grangeat (2014). Nous observons un enseignant expérimenté au cours de l'enseignement par PCDR. Cet enseignant n'a pas au départ d'idée précise sur la démarche d'investigation qui ne fait pas partie du curriculum tunisien. Nous l'avons formé sur l'approche d'enseignement par PCDR et nous avons mis à sa disposition le scénario pédagogique complet et les fiches du TP qui vont être distribuées aux élèves au début de la séance. De plus, nous avons déjà observé ce même enseignant avec les mêmes élèves d'une classe de terminale scientifique lors de l'enseignement ordinaire des ondes. Nos données sont constituées d'enregistrement vidéo de la séance d'enseignement sur simulation des ondes où la camera suivait en permanence l'enseignant en plus des enregistrements audio des échanges verbaux dans chaque groupe d'élèves en total quatre groupes. L'enregistrement vidéo est intégralement transcrit et analysé à l'aide du logiciel Transana, les enregistrements audio sont analysés manuellement. La méthodologie consiste à comparer deux types d'analyse : la situation comme nous l'a prévue et la situation telle qu'elle est faite en classe. « *Cette analyse de ce qui est prévisible est comparée à ce qui s'est passé effectivement, en termes de jeux d'apprentissage. Cette façon de procéder nous permet de mettre en évidence l'action conjointe dans la mise en œuvre des démarches d'investigation* » (Cross & Grangeat, 2014, p. 164).

RÉSULTATS

Présentation de la situation

FIGURE 1



Exemple d'une séquence d'enseignement prévue

La séance présente plusieurs parties, chaque partie se déroule tout autour d'un concept particulier et chaque partie de la séance est constituée de quatre étapes de l'approche par PCDR. Dans cet article nous allons étudier une seule première partie celle autour du concept de célérité de l'onde et son indépendance de l'amplitude. Nous faisons tout d'abord une brève présentation de la séance, et nous analysons ensuite en fonction de jeux d'apprentissages et de jeux épistémiques, l'articulation entre les deux et la dialectique contrat-milieu.

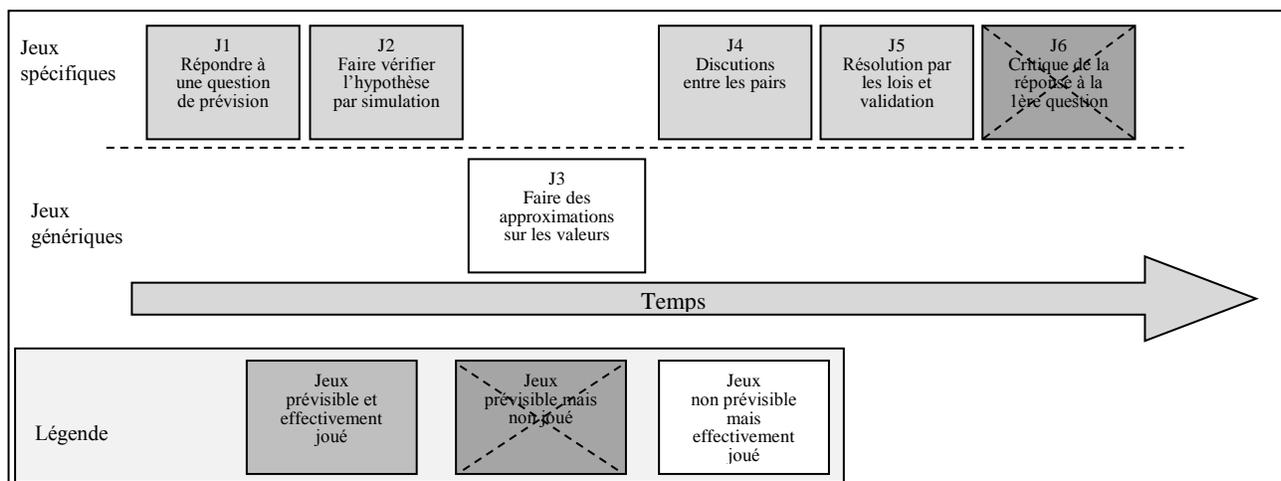
L'enseignant distribue les fiches du TP, il rappelle que ce TP est une continuité du cours sur les ondes. Il annonce aux élèves qu'ils doivent répondre individuellement aux questions posées. Par exemple: Choisir la bonne réponse. Si on excite une corde avec une source d'onde par deux amplitudes différentes $a_1 < a_2$ Les vitesses de propagation sont : tel que (a) $V_1 > V_2$, (b) $V_1 < V_2$ et (c) $V_1 = V_2$.

Le professeur annonce la fin de cette première étape et demande aux élèves de commencer à manipuler la simulation sur les ordinateurs. Il explique le mode opératoire de la simulation au tableau par un « data show » ; il montre les différents modes possibles (modes continu et d'impulsion) et les barres stabilisatrices qui permettent de prendre des mesures en cm, et enfin le chronomètre s'ils ont besoin. Les élèves doivent manipuler la simulation et mettre à l'épreuve leurs hypothèses. Il s'agit donc d'exciter la corde et de déterminer la célérité de l'onde qui se propage le long de la corde et refaire la même expérience pour une autre amplitude différente. Le travail consiste à choisir une amplitude et de placer les deux barres stabilisatrices de la simulation en deux points distincts de la corde, de noter la distance qui sépare ces deux points et en suite débiter la simulation de onde le long de la corde et à l'aide du chronomètre prendre la durée du temps entre les deux passages de l'onde par les deux barres stabilisatrices, la célérité de l'onde est alors le rapport de la distance séparant les deux points choisis par la durée du temps. Les élèves doivent refaire le même travail pour une autre valeur d'amplitude.

Analyse en jeux d'apprentissage

Le découpage de cette partie de la séance en jeux d'apprentissage montre qu'il y a apparition du jeu 3 (J3) que nous n'avions pas prévu et la disparition du jeu 6 (J6).

FIGURE 2



Déroulement des jeux d'apprentissage en fonction du temps

L'apparition du jeu 3 provient de l'intervention d'un élève lorsqu'il annonce que les résultats des célérités ne sont pas les mêmes. L'enseignant ne s'aperçoit pas au début qu'on doit faire des approximations sur les valeurs trouvées, il demande à l'élève de refaire l'expérience au tour de parole 5 (Tdp5, fig. 2), et de même au tour de parole 7 (Tdp7, fig.2), l'enseignant insiste et demande aux élèves de refaire les calculs. L'enseignant se rend compte à ce moment des approximations nécessaires et s'adresse à tous ses élèves pour faire les calculs jusqu'à trois chiffres après la virgule. Ce changement de jeu est initié par un élève, il est imposé par l'expérience même si elle s'appuie sur une simulation. Nous nous apercevons à notre tour que dans le cadre de l'approche par PCDR il n'y a pas de changement du contrat didactique lors du passage de l'expérimentation sur paillasse à l'expérimentation sur simulation. Le jeu 6 est abandonné par les élèves ; ce jeu consiste à écrire une critique vis-à-vis de sa réponse sur la question prévision si elle est incorrecte. Les élèves laissent la case vide et l'enseignant n'a pas insisté sur ce jeu. Dans un entretien après la séance avec l'enseignant, il estime que cette question va prendre beaucoup de temps car les élèves ne sont pas habitués à ce genre de question.

FIGURE 3

Tdp	Locuteur	Production verbale
1	P	<i>Calculer les valeurs de la vitesse pour les deux amplitudes</i>
2	E1	<i>Les distances en mètre monsieur ?</i>
3	P	<i>on a besoin d'une vitesse en m par seconde. Convertir les vitesses en mètre par seconde, il faut convertir les distances en m</i>
4	E1	<i>Les valeurs ne sont pas égales</i>
5	P	<i>Répétez l'expérience réfléchit un peu (en arabe)</i>
6	E3	<i>0,02 monsieur</i>
7	P	<i>refaire les calculs, allez les autres</i>
8	E4	<i>sont différentes</i>
9	P	<i>montre moi les calculs aller... aller... <...> voila a peut près 0.03 c'est bon... Allez Prenez trois chiffres après la virgule. Aller...</i>
10	E3	<i>C'est 0.026</i>
11	P	<i>... c'est bon presque 0.03</i>
12	E1	<i>Oui monsieur presque égales</i>
13	P	<i>A priori qu'est-ce que vous constatez.</i>
14	E1	<i>les vitesses restent presque constantes.</i>
15	p	<i>Même si on change...l'amp...</i>
16	E4	<i>Même si on change l'amplitude la vitesse reste constante</i>

Transcription du début du jeu d'apprentissage 3

Jeux d'apprentissage/jeux épistémiques

Du jeu 1 au jeu 5 on constate que les jeux d'apprentissage sont très proches des jeux épistémiques. Les erreurs de calcul d'ordre expérimental ont obligé l'enseignant à créer un nouveau jeu 3, qui n'était pas prévu au départ, mais qui s'avère nécessaire au déroulement de la séance pour « gagner aux autres jeux ». C'est un jeu épistémique présent dans la plupart des travaux pratiques ordinaires en laboratoire (expériences sur paillasse). La séance telle qu'elle est conçue est une succession de jeux épistémiques, qui présente une souplesse facilitant la création de nouveaux jeux gagnants.

Dialectique contrat-milieu

Dans cette séance, on constate qu'il y a des changements du milieu. Les élèves travaillent sur des ordinateurs dans une salle d'informatique et non pas dans leur laboratoire habituel. De plus, l'expérimentation a lieu sur un monde virtuel, ce qui nécessite de mobiliser des savoir faire qui ne sont pas spécifiques aux sciences physiques. Ce changement fait penser implicitement à un changement du contrat didactique. Or, la création du jeu 3 montre que ce changement du contrat existe mais de manière partielle et que les comportements vis-à-vis des résultats des calculs sur paillasse sont les mêmes qu'avec les résultats obtenus par simulation car l'approche d'enseignement par PCDR ne se limite pas à l'observation des faits de la simulation des ondes mais passe jusqu'à l'étude expérimentale et aux calculs des célérités.

CONCLUSION

Cross et Grangeat (2014) ont montré que la mise en œuvre des démarches d'investigation est un processus complexe «*Cette complexité génère une large disparité dans la conception et la mise en œuvre pratique de ces démarches. Pour comparer l'efficacité de ce type d'enseignement il faut donc disposer de descripteurs des situations et de leurs mises en œuvre afin de pouvoir comparer ce qui est fait avec une plus grande validité* » (p. 177). Cela nous a permis d'utiliser des descripteurs de notre séquence d'investigation de type PCDR et de conclure que l'approche d'enseignement étudié présente une souplesse d'exécution par l'enseignant où l'élève est capable d'intervenir et d'introduire un nouveau jeu d'ordre épistémique. De même, l'enseignant peut créer des régulations pour continuer l'enchaînement des autres jeux. La formation rapide (deux séances de deux heures chacune) reçue par l'enseignant sur l'approche d'enseignement par PCDR paraît satisfaisante pour qu'il se l'approprie, bien qu'il soit novice sur les démarches d'investigation. La simulation comme support didactique peut, dans notre situation, apparaître semblable à un support d'expérimentation sur paillasse. Le jeu 3 montre que les élèves se comportent comme si l'expérience était réelle, alors les élèves considèrent que les valeurs trouvées de la célérité de l'onde doivent être soumises à des approximations qui paraissent nécessaires. Ce constat nous a permis de conclure qu'il n'y a pas de changement global du contrat didactique même s'il y a un changement fondamental du milieu. Il reste alors à vérifier cette approche d'enseignement par PCDR sur des expériences sur paillasse et voir de près ce qui se passe.

RÉFÉRENCES

- Ben Jemaa, A., & Boilevin, J.-M. (2016). Impact de la démarche d'investigation par simulation des ondes mécaniques sur le raisonnement des élèves. In *Actes des 9èmes rencontres de l'ARDIST* (pp.7-12). Lens: Université d'Artois.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage.
- Cross, D., & Grangeat, M., (2014). Démarche d'investigation : analyse des relations entre contrat et milieu didactiques. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 10, 155-182
- Martinand, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne: Peter Lang.
- Maurines, L. (2002). Le raisonnement des étudiants dans la physique des ondes. *Bulletin de la Société Française de Physique*, 137, 30-46.

Maurines, L. (2003). Analyse des difficultés des étudiants à propos des concepts de phase et de surface d'onde, du principe de Huygens. *Didaskalia*, 22, 9-39.

Maurines, L., & Mayrargue, A. (2003). Regards croisés de l'histoire des sciences et de la didactique de la physique sur le concept d'onde. In *Actes de l'université d'été « La pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques, tome 1 : Histoire des sciences* (pp. 73-85). Poitiers: IREM-CRDP.

Morge, L., & Boilevin, J.-M. (Dir.) (2007). *Séquences d'investigation en physique-chimie, recueil et analyse de séquences issues de la recherche en didactique des sciences*. Clermont-Ferrand : SCEREN - CRDP d'Auvergne.

Richoux, H., & Beaufils D. (2005). Simulation en mécanique au lycée : conception et analyse d'activités sur modèle, In *Actes de la 4èmes Rencontres Scientifiques de l'ARDIST* (pp. 301-308). INRP: Lyon.

Santini, J. (2012). Densité, spécificité et distance dans la dialectique jeu d'apprentissage/jeu épistémique et efficacité des pratiques professorales une étude de cas en géologie à l'école primaire. In B. Gruson, D. Forest & M. Loquet (Eds), *Jeux de savoir étude de l'action conjointe en didactique* (pp. 19-45). Rennes: PUR.

Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Éds), *Agir ensemble l'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 13-49). Rennes: PUR.

Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Eléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles : De Boeck.