

# L'usage de la simulation numérique dans l'enseignement : cas des ondes sonores

KAMEL ABDELLI<sup>1</sup>, AHMED BEN JEMAA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ECOTIDI, ISEFC  
Université Virtuelle de Tunis  
Tunisie  
ebdellikamely@gmail.com

<sup>2</sup>EA 3875 CREAD  
Université de Bretagne Occidentale  
France  
ECOTIDI, ISEFC  
Université Virtuelle de Tunis  
Tunisie  
abj.2007@yahoo.fr

## ABSTRACT

*In this work, we propose a qualitative analysis of the impact of digital technology on the learning of the phenomenon of sound propagation among students in the final year of secondary education, experimental sciences section. The adopted analysis methodology, which falls within the framework of the modeling process, is based on data collection before and during the use of the digital simulator.*

## KEYWORDS

*Digital technology, digital simulator, sound waves, modeling process*

## RÉSUMÉ

*Dans ce travail, nous proposons une analyse qualitative sur l'effet de l'intégration de la simulation numérique sur l'enseignement du phénomène de la propagation d'une onde sonore pour les élèves de la classe terminale de l'enseignement secondaire, section sciences expérimentales. Notre méthodologie d'analyse s'inscrit dans un cadre de processus de modélisation et repose sur un recueil des données avant et pendant l'utilisation de la simulation numérique.*

## MOTS-CLÉS

*Simulation numérique, propagation, onde sonore, processus de modélisation*

## INTRODUCTION

L'enseignement des sciences physiques possède un aspect expérimental très rigoureux. D'autre part, certaines expériences exigent des conditions bien délicates qui rendent l'étude expérimentale inappropriée pour quelques phénomènes physiques, ou impossibles à réaliser. Dès lors, pour étudier certains phénomènes spécifiques nous mettons en évidence l'évolution des nouvelles technologies (Durey & Beaufils, 1998; Johsua, 1989; Richoux, 2000). Aussi,

« *La simulation se situe aujourd'hui au même niveau que l'expérimentation* » (Durey & Beaufiles, 1998, p. 71) et les situations de recherche ou de développement dont nous appuyons sur la simulation sont de plus en plus nombreuses.

L'intégration des simulations numériques dans l'espace éducatif a pour objectif d'améliorer le rendement didactique et d'acquérir des nouvelles compétences chez les élèves en sciences comme observer, mesurer, prédire, contrôler des variables, formuler des hypothèses et interpréter des résultats (Droui & El Hajjami, 2014).

De nombreux recherches ont montré que les élèves éprouvent des difficultés dans l'apprentissage du phénomène de la propagation ondulatoire, vu sa rapidité et sa progression au cours du temps, et le raisonnement des élèves a été mis en évidence (Maurines, 1998, 2002, 2003; Vince, 2000; Vince & Tiberghien, 2000). Ce concept est enseigné en secondaire et aussi à l'université, l'étude se limite généralement à un raisonnement mathématique et/ou analytique, alors il reste toujours abstrait aux lycéens qu'aux étudiants (Mazouze & Lounis, 2015).

Le travail que nous présentons ici s'inscrit dans le champ des recherches concernant l'intégration des nouvelles technologies dans une activité du cours dans le but de faciliter l'apprentissage des ondes sonores au lycée.

## PROBLÉMATIQUE

Nous pensons que la construction du savoir chez les élèves est basée sur la production des idées qui peuvent être issu d'un raisonnement naïf. « *Un certain nombre d'"erreurs" de raisonnements ou d'idées "erronées" reviennent avec une reproductibilité déconcertante chez les élèves, même après plusieurs séquences successives d'enseignement* » (Giordan, 2002, p. 109). Ces raisonnements "erronées" résistaient à un simple enseignement des "bons modèles", et l'une des hypothèses fut qu'il convenait d'amener les élèves à découvrir les limites de leurs représentations, notamment en les confrontant à des activités de résolution de problèmes (Durey & Beaufiles, 1998). Dans l'enseignement du phénomène ondulatoire nous avons pu repérer (Abdelli, 2020) deux conceptions principales développées par les élèves, une conception appelée « hybride capital » et une autre sous l'appellation de « l'onde serpente ».

La première considère que l'onde est un mélange de force et d'énergie. Pour la deuxième, les élèves considèrent que l'onde avance par ajout de bosses et non pas la bosse (le front d'onde) qui avance (Benhassoun, 2004; Ben Jemaa 2013, 2017; Maurines, 1998, 2002, 2003). Les difficultés sont dues au fait que les expériences classiques « réelles » ne permettent pas d'observer ce phénomène, vu sa rapidité (Ben Jemaa, 2017).

Nous pensons que ce problème peut agir directement sur l'apprentissage du phénomène de propagation ondulatoire et peut être l'un des sources des raisonnements erronés. Dans ce travail nous nous intéressons à la remédiation de ces difficultés dont les élèves construisent la conception appelée onde serpente. Pour cela, nous nous appuyons sur une simulation numérique dans un enseignement du phénomène sonore pour les élèves d'une classe terminale de l'enseignement secondaire tunisiens. Alors, les questions qui imposent sont :

- Quelle sont les difficultés des élèves dans l'apprentissage du phénomène de l'onde sonore?
- Quelle est l'impact de la simulation numérique sur les activités cognitives des élèves face du phénomène de la propagation sonore ?

À cet effet, nous visons dans ce travail la mise en évidence de certaines difficultés rencontrées par les élèves dans l'apprentissage de la propagation sonore. Pour cela, nous

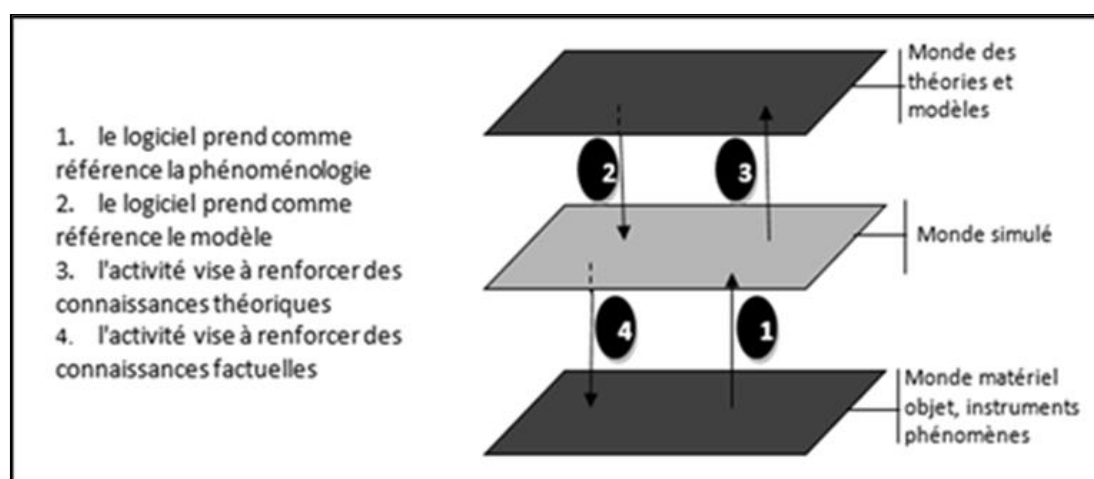
considérons à titre d'hypothèses que ces difficultés proviendraient de l'effet que la plupart des élèves ne peuvent pas repérer et appréhender les deux éléments de connaissance ; le mouvement vibratoire et le mouvement de propagation.

## CADRE THÉORIQUE

Notre cadre théorique est fondée sur les interactions qui peuvent être établit entre les niveaux de savoir. Il existe deux principaux niveaux de savoir dans le processus de modélisation (Tiberghien, 1994) ; la théorie inclut le cadre explicatif de la modélisation (monde des théories et des modèles) et le champ expérimental correspond aux situations expérimentales (monde des objets et des évènements).

Plusieurs chercheurs ont introduit un niveau intermédiaire des objets et événements simulés dérivant de l'utilisation de l'outil informatique (Beaufils & Richoux, 2003; Buty, 2000; Séjourné, 2003).

FIGURE 1



*Relations possibles pouvant s'établir entre les différents plans (Beaufils & Richoux, 2003)*

Alors, notre cadre théorique sert en premier lieu à organiser les contenus scientifiques dans l'hypermédia (transformer les théories et les modèles dans une présentation animée dont l'élève peut intervenir à travers des commandes sur l'interface du simulateur) et en deuxième lieu pour analyser les activités des élèves à travers les liens qui peuvent établir entre le monde des théories et des modèles et le monde des objets et des évènements.

## MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

Notre méthodologie consiste à recueillir des données après un enseignement suivi sur les ondes mécaniques, et plus précisément sur les ondes sonores. Dans ce travail nous avons utilisé deux outils : le premier est un questionnaire pour dévoiler les raisonnements erronés chez les élèves sur la conception de l'onde serpente (l'onde avance par ajout de bosses). Le deuxième outil est un entretien dont nous avons posé des questions sur les élèves pendant qu'ils sont en train de réaliser une activité sur simulation informatique.

### ***Élaboration du questionnaire***

Nous avons élaboré six tâches à réaliser par les élèves et ceci en se référant aux raisonnements erronés ciblés par les encadrés de Maurines (1998, 1999). Le questionnaire étant anonyme de façon à ce que les élèves répondent plus librement et spontanément et les questions sont basées sur la compréhension du phénomène sonore et ne nécessitent pas le recours aux formalismes mathématiques. Les questions sont semi ouvertes où l'élève est invité à choisir une réponse parmi celles proposées et à justifier son choix.

### ***Élaboration des questions de l'entretien***

Afin de pouvoir dévoiler l'apport de la simulation numérique sur la compréhension des élèves du phénomène de la propagation sonore, nous avons élaboré une activité sur un simulateur dont le travail demandé consiste à répondre à des questions, d'ordre qualitatif, en exploitant les choix dans la simulation numérique. A cet effet, nous avons mené un entretien composé de dix questions avec 5 élèves à titre de volontariat pendant l'utilisation de la simulation numérique. Les questions portent sur la compréhension de la propagation sonore et le rôle du milieu. Elles sont ouvertes, fermés et semi-ouvertes.

### ***Choix de l'échantillon***

Notre échantillon est au nombre de 20 élèves, d'une tranche d'âge entre 18 et 20 ans d'une classe de la terminale d'une section de sciences expérimentales dans un lycée de banlieue de Tunis. L'enseignant est expérimenté (plus de 18 ans) et il a 5 ans dans l'enseignement des classes terminales.

### ***Passation du questionnaire et réalisation des entretiens***

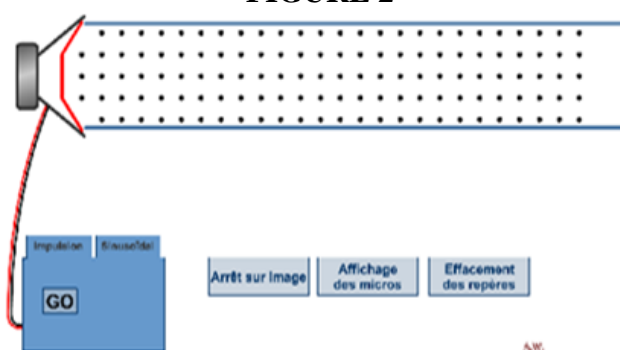
La passation du questionnaire a eu lieu après enseignement du chapitre des ondes. Pour les entretiens nous nous sommes assistés à une séance de travaux pratiques au cours de laquelle les élèves sont appelés à réaliser une activité que nous avons déjà préparée sur les ordinateurs et que chaque élève dispose d'une fiche de description du travail demandé.

Notons ici que nos données sont réparties comme suit ; des traces écrites des élèves pour le questionnaire et un enregistrement audio des entretiens de 10 à 15 min avec chaque élève pendant la réalisation d'une activité avec la simulation numérique. Les entretiens se composent des questions ouvertes, semi-ouvertes et fermés.

### ***Présentation du modèle et description du simulateur***

Le modèle choisit est le modèle particulière. La simulation est réalisée par Adrien Willm (professeur de physique-chimie au Lycée Beaupré d'Haubourdin, Académie de Lille) et diffusé dans le site Ostralo (site dédié à l'apprentissage de la physique et de la chimie), le modèle est dénommé « Propagation d'une onde sonore plane ».

**FIGURE 2**



*Interface utilisateur de la simulation*

Cette simulation permet aux élèves d'observer la propagation d'une onde sonore, d'observer les mouvements des particules et les variations de pression.

### *Activités et analyse à priori*

Nous avons établi deux activités à réaliser pour répondre aux questions concernant ; le front d'onde, le déplacement de la matière, l'ébranlement et la possibilité de la propagation dans le vide.

#### *Première activité : sens de déplacement du front d'onde*

Pour cette tâche les élèves doivent déterminer le sens de propagation de l'onde sonore. Le but est d'identifier les mouvements aller-retour des particules d'air et d'établir le lien par rapport à la vibration de la source (haut parleur) et par rapport au front d'onde, qui se déplacent horizontalement et dans le même sens que la source. Nous nous attendons que les élèves fassent une analyse simple sous forme d'une autocritique par rapport au raisonnement de type mécaniste qui se base sur la matérialisation du signal sonore. A travers le simulateur numérique, les élèves seront amenés à conclure que la propagation du signal ne résulte pas du capital stocké dans le corpuscule mais d'une interaction entre un point du milieu et ses voisins par l'intermédiaire du champ interne de forces élastiques (Maurines, 1998; Ben Jemaa 2013, 2017).

#### *Deuxième activité : propagation du son dans le vide*

Dans cette activité les élèves doivent se référer au rôle des particules d'air transmettant l'onde sonore. Cette question se base sur l'appréciation du rôle de la matière dans la propagation du son, alors, les élèves sont amenés à faire une synthèse concernant le rôle primordiale du milieu dans la propagation du signal sonore, caractéristique majeur des ondes mécaniques. Nous nous attendons à ce que les élèves valorisent le rôle du milieu dans la propagation du signal sonore, contrairement au raisonnement du type mécaniste qui indique que le milieu est un support passif et inutile (Maurines, 1998; Vince 2000).

Dans notre recherche nous nous sommes concentrés à mieux exploiter les avantages du numérique pour que les élèves puissent intensifier les liens entre les deux niveaux du savoir ; celui des théories et des modèles, et celui des objets et des événements. Dans les activités proposées, nous nous attendons à ce que les élèves mobilisent et mettent en relation deux éléments de connaissance, qui sont :

- a) Mouvement vibratoire : le mouvement de la source (la vibration de la membrane du haut-parleur) et les mouvements d'aller-retour des particules du milieu (l'air).
- b) Mouvement de propagation : Transmission du mouvement vibratoire à travers les particules du milieu.

Le premier élément révèle du champ expérimental, alors que la deuxième révèle du niveau de la théorie-modèle. Les élèves vont rencontrer des difficultés en particulier celle de transfert de l'énergie, au cours de la propagation du signal sonore, et non pas de la matière. C'est un raisonnement de type mécaniste qui est l'origine des raisonnements erronés ; les élèves se centrent sur le signal ou l'onde en déplacement et les traitent comme des objets matériels mis en mouvement par la source qui les a créés, le milieu n'étant qu'un support passif et inutile (Maurines, 1998).

## RÉSULTATS

Les résultats du questionnaire dont nous avons mis les six situations ont donné que : 80% des élèves interrogés prouvent des raisonnements erronés. L'analyse de ces derniers repose sur les différentes justifications apportées par les candidats.

Exemple de réponses :

**Situation 1** : Trois enfants sont alignés à une même distance l'un par rapport à l'autre.

Trois enfants Y, S et F sont alignés sur une route rectiligne dans la campagne ; Y et F sont à 100 mètres de S.

Y et F regardent S et commencent à chanter au même instant. Ils chantent tous les deux la note « la » pendant une seconde mais Y chante plus fort que F.

Y                      S                      F

**Choisir la bonne réponse et justifier :**

**Question 1 :**

S commence à entendre Y et F au même instant

S commence à entendre Y en premier

S commence à entendre F en premier

**Justification:** ... parce que Y et F et S commencent à chanter au même instant ...

**Question 2 :**

S entend Y et F pendant la même durée

S entend Y plus longtemps

S entend F plus longtemps

**Justification:** ... parce que Y chante plus fort ...

Dans l'entretien avec les élèves au moment de l'utilisation du simulateur sur ordinateur, 60 % des élèves interrogés ont relié l'existence des particules d'air et le mouvement aller-retour (vibratoire), du champ expérimental, avec celui des théories et des modèles concernant les caractéristiques de l'onde sonore comme étant une onde mécanique. Entre outre, ils ont établi un lien entre le champ expérimental ; mouvement des particules / mouvement vibratoire dans la même direction parallèle, champ théorique ; l'onde sonore est longitudinale.

Nous donnons ci-dessous un extrait de la transcription de l'entretien avec un élève pendant son utilisation du simulateur numérique concernant l'activité n°1 :

**TABLEAU 1**

*Extrait de l'analyse d'un entretien avec un élève*

Élève	Extraits	Niveaux de savoir		
		Monde des Objets et des Evènements	Monde des Théories et des Modèles	Relation entre le monde des objets et des événements et le monde des théories et des modèles
S	« ...càd.. / d'habitude je pense que euh ... le son est un objet/comme la matière qui passe..., euh ... ouais/ ... maintenant je sais après cette simulation que le son est une chose qui/ ... passe dans un / ... la matière et n'est pas un objet càd...comme ça... »	- un objet - la matière - passe - une chose	- le son	- le son est une chose qui passe dans la matière et n'est pas un objet.

	« ...ce sont les molécules de... euh de/ l'air, càd... et c'est eux qui le son passe à travers / càd. Mais/... euh mais ici on voit que ces points/ ... font aller et retour càd ils reprennent leurs places.... ben/ c'est tout/ »	- passe - ces points - aller et retour - reprennent leurs places	- les molécules - l'air - le son	- ce sont les molécules de l'air, et c'est eux qui le son passe à travers - on voit que ces points font aller et retour càd ils reprennent leurs places
--	---	---	--	--

Dans cet extrait l'élève met en relation le mouvement de la source, le mouvement des particules de l'air et la propagation sonore. Il a établi des liens entre les objets et les événements qu'il a pu repérer sur le simulateur (un objet, la matière, points, aller-retour...), et le monde des théories et des modèles (le son, les molécules, l'air...), donc il a conclu que le son est une onde qui se propage à travers les particules de l'air, et que ces dernières reprennent leurs places après chaque propagation. L'essentiel dans cette activité est que l'élève a construit un sens en mettant des liens entre les objets et événements associées à la vibration et les théories et le modèle sonore.

D'autre part, l'analyse des différents entretiens nous avons élaboré pour chaque élève un tableau d'analyse comme le tableau précédent, ces différentes analyses regroupées ont donné les résultats suivantes, les activités sur simulation informatique sur les ondes sonores a aidé 80% des élèves à appréhender le caractère majeure de l'onde mécanique, celui du milieu, contrairement au raisonnement du type mécaniste qui indique que le milieu est un support passif et inutile (Maurines, 1998; Vince & Tiberghien, 2000).

Enfin, l'analyse des réponses des élèves lors de l'entretien nous a permis de dévoiler un nombre important des interactions et des liens établis par les élèves entre le modèle présenté à travers le simulateur (modèle particulière du son) et les modèles et les théories étudiés. Il est pour nous essentiel de montrer que la situation d'enseignement que nous avons conçue permet, au moins aux élèves d'observer et de construire du sens aux notions du phénomène sonore.

## CONCLUSION

Dans notre travail, nous avons adopté une méthodologie qui nous a permis de déceler les difficultés, à travers un questionnaire, inspiré des travaux de Maurines (1998, 2000, 2002). Les résultats ont montré que le raisonnement erroné dans la compréhension du phénomène ondulatoire persiste encore chez les élèves interrogés avant l'utilisation de la simulation. Pour la remédiation, nous avons proposé une séance des travaux pratiques basée sur l'utilisation d'un simulateur sur ordinateur. Le travail était individuel ; chaque élève réalise les activités en utilisant le modèle numérique, cependant nous a organisé un entretien pour chaque élève qui était en totale 5 élèves dont les questions ont été ouvertes, semi-ouvertes et fermés.

La méthodologie d'analyse des résultats a été inspirée des travaux de Vince et Tiberghien (2000) et des travaux de Séjourné et Tiberghien (2004). Une analyse des réponses fournies par les élèves, à travers un entretien au moment de leurs activités sur simulation informatique d'onde sonore, ce qui a montré un apport positif ; en effet 80% des élèves ont réclamé leurs satisfactions en vue de leur apprentissage du phénomène de la propagation du son à travers la simulation numérique. Aussi, nous avons pu mentionner que l'efficacité de la simulation numérique réside dans l'intensification des liens entre les deux mondes (le monde des objets et des événements et le monde des théories et des modèles), ce qui a permis aux élèves de construire des idées pour mieux comprendre les éléments du savoir liés à la propagation des ondes sonores.

En tenant compte des résultats trouvés, l'intégration de la simulation numérique dans l'enseignement du concept sonore au lycée peut être une solution pour mieux appréhender un phénomène abstrait au cours de l'enseignement. Cette idée confirmée aussi par d'autres travaux de recherches (Beaufils & Richoux, 2003; Ben Jemaa, 2017; Vince & Tiberghien, 2000).

## RÉFÉRENCES

- Abdelli, K. (2020). *Impact de l'usage de la simulation numérique sur l'apprentissage du concept des ondes sonores: Cas des élèves tunisiens en terminale sciences expérimentales*. Mémoire de master de recherche, Université Virtuelle du Tunis, Tunisie.
- Beaufils, D., & Richoux, B. (2003). Un schéma théorique pour situer les activités avec des logiciels de simulation dans l'enseignement de la physique. *Didaskalia*, 23, 9-38.
- Ben Jemaa, A. (2013). *Un scénario dynamique pour le suivi et l'analyse de l'activité sur simulation en onde mécanique*. Mémoire de master, Université Virtuelle de Tunis, Tunisie.
- Ben Jemaa, A. (2017). *Une ingénierie didactique fondée sur une démarche d'investigation avec simulation pour enseigner les ondes mécaniques au lycée*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale et Université Virtuelle de Tunis, Rennes-France et Tunis-Tunisie.
- Benhassoun, S. (2004). *Enseignement apprentissage des ondes dans les lycées tunisiens: Un essai de remédiation*. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard Lyon, France.
- Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement*. Thèse de doctorat, Université Lyon 2, France.
- Droui, M., & El Hajjami, A. (2014). Simulations informatiques en enseignement des sciences : Apports et limites. *EpiNet*, 164. Retrieved from <https://www.epi.asso.fr/revue/articles/a1404e.htm>.
- Durey, A., & Beaufils, D. (1998). L'ordinateur dans l'enseignement des sciences physiques : Questions de didactique. In *Actes du 8èmes Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques* (pp. 63-74). Paris: UdP et INRP.
- Giordan, A. (2002). *Une autre école pour nos enfants*. Paris: Delagrave.
- Johsua, S. (1989). Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire. *Aster*, 8, 29-53.
- Maurines, L. (1998). Les élèves et la propagation des signaux sonores. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 800, 1-22.
- Maurines, L. (1999). Les étudiants et les ondes en dimension trois : Analyse des difficultés des étudiants quant au modèle-géométrico-ondulatoire. *Didaskalia*, 15, 87-122.
- 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. *Didaskalia*, 22, 9-39.
- Mazouze, B., & Lounis, A. (2015). Résolution de problèmes et apprentissage des ondes : Quels types de difficultés rencontrent les élèves ? *Review of Sciences, Mathematics and ICT Education*, 9(2), 4-25.
- Richoux, H. (2000). *Rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée*. Thèse de Doctorat, Université Paris 7 - Denis Diderot, France.



Séjourné, A. (2003). Éléments théoriques pour la conception d'un hypermedia en sciences physiques et pour l'analyse de l'activité des élèves : Le cas des phénomènes sonores. *Didaskalia*, 23, 65-99.

Séjourné, A., & Tiberghien, A. (2004). Conception d'un hypermédia en physique et étude des activités des élèves du point de vue de l'apprentissage. In *Cinquième colloque hypermédiats et apprentissages* (pp. 103-118). Grenoble, France.

Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4(1), 71-87.

Vince, J. (2000). *Approches phénoménologiques et linguistiques des connaissances des élèves de seconde sur le son. Contribution à l'élaboration et l'analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation*. Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon, France.

Vince, J., & Tiberghien, A. (2000). Simuler pour modéliser. Le cas du son. *Sciences et Techniques Éducatives*, 7(2), 333-366.