

CONSTRUCTION DES CONCEPTS PHYSIQUES EN CLASSE : QUELLES APPROCHES D'UNE MISE EN ŒUVRE PERTINENTE AU SECONDAIRE ?

Ahodegnon Zéphyrin Magloire DOGNON

Laboratoire de didactique des disciplines (LDD), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin.

magloire.dognon@imsp-uac.org

Abstract

This article explores the implementation of the teaching of mathematical laws of physics such as Ohm's law, the law of terrestrial gravitation and Newton's second law of motion. Conceptual field theory (Vergnaud, 1990) supported by Vygotsky's concept construction theory (1986; 1997) provided the framework for this research. From a methodological point of view, a panel of physics teachers was interviewed about their approaches to constructing Ohm's law, the concept of weight and Newton's second law. The results showed that the majority of teachers favoured an approach based on the meaning of concepts, emphasizing their construction by a process of generalization rather than by constructing the meaning of the concept. This result deserves to be taken into account in the training of physics teachers.

Keywords: *Physical concept, generalization, conceptualization, didactic approach*

Résumé

Cet article explore la mise en œuvre de l'enseignement de lois mathématiques de la physique tel que la loi d'Ohm, la loi de la gravitation terrestre et la seconde loi du mouvement de Newton. La théorie des champs conceptuel (Vergnaud, 1990) appuyée par la théorie de construction des concepts de Vygotsky (1986 ; 1997) ont offert le cadre de cette recherche. Du point de vue de la méthodologie, un panel d'enseignants de physique a été interviewé à propos des approches de constructions de la loi d'Ohm, du concept de poids et de la seconde loi de Newton. Les résultats mettent en évidence que les enseignants, dans leur majorité, privilégient une approche axée sur la signification des concepts en mettant en avant leur construction par un processus de généralisation au lieu de procéder par la construction du sens du concept. Ce résultat mérite d'être pris en compte dans la formation des enseignants de physique.

Mots clés : *Concept physique, généralisation, conceptualisation, approche didactique.*

1. Introduction

Cette recherche vise à analyser les approches didactiques de construction des concepts et lois de la physique en classe de quatrième, troisième et en terminale. Elle vise à explorer leur pertinence dans le cadre de l'appropriation des lois mathématiques de la physique tel que la loi d'Ohm,

la loi de la gravitation terrestre et la seconde loi du mouvement de Newton. Nous présentons d'abord quelques travaux intérieurs portant sur l'enseignement et l'apprentissage des concepts physiques puis nous situons le cadre théorique et contextuel de la présente recherche dont nous formulons la question. Enfin nous exposons la démarche méthodologique et enfin nous présentons les résultats.

2. Le cadre théorique et la problématique

2.1. Le cadre théorique de l'étude

Notre étude s'inscrit dans le cadre plus vaste de la théorie des champs conceptuels (Vergnaud, 1990) offre un terreau favorable à l'étude de la construction des concepts. C'est est une théorie cognitiviste, qui vise à fournir un cadre cohérent et quelques principes de base pour l'étude du développement et de l'apprentissage des compétences complexes, notamment de celles qui relèvent des sciences et des techniques. Cette recherche s'appuie de façon plus restreinte sur la théorie de construction des concepts de Vygotsky (1986 ; 1997). Nous mènerons nos analyses à la lumière des concepts de sens et de signification en précisant les notions de conceptualisation et de généralisation. Selon Vygotsky, le langage contribue à la construction des concepts par deux processus : un processus de contextualisation et un processus de généralisation. La contextualisation renvoie au fait qu'une notion se conceptualise à travers ses différents usages dans des contextes d'action et de communication précis. La différence mais aussi la relation dialectique qui existent entre les processus de contextualisation et de généralisation dans la construction d'un concept se reflètent dans la distinction que Vygotsky fait entre sens et signification d'un mot. Le sens d'un mot c'est le contenu particulier qu'il acquiert dans un contexte donné. Par exemple, le même mot peut avoir des sens différents dans deux textes littéraires différents. La signification d'un mot inclut l'ensemble des sens que celui-ci acquiert dans des différents contextes. Elle a un statut plus généralisé que le sens. C'est la signification d'un mot qu'on trouve, par exemple, dans un dictionnaire.

Du point de vue didactique, la distinction entre sens et signification peut être utilisée pour comprendre que la construction d'un nouveau concept se fait à travers ses différents usages ce qui signifie que, dans ce processus, le sens d'un mot l'emporte sur sa signification. Si l'on veut enseigner à l'enfant un nouveau concept il est inutile de le faire par une définition,

une généralisation qui renvoie à la signification du mot correspondant. Le plus pertinent, c'est d'enseigner le concept par ses différents usages, dans des contextes précis pour aider l'enfant à en construire une représentation. La mise en œuvre d'une loi physique en classe ne devrait pas procéder par le principe de généralisation qui s'actualise par l'énoncé de la loi, ou la fourniture à l'élève de la signification de cette loi, l'explication de la loi avec grands renforts de répétition et d'effort de mémorisation. La construction d'une loi scientifique devrait procéder par un processus de conceptualisation qui privilégie l'exposé ou la donnée du sens général de la loi et sa mise en œuvre par ses différents usages dans des contextes précis.

1.2. La problématique

La loi d'Ohm est étudiée au Bénin en classe de quatrième et se positionne comme l'une des premières lois de la physique construite mathématiquement (Programmes d'études [PE] 4^{ème}, 2020). Le concept de poids (Programmes d'études [PE] 3^{ème}, 2020) et la seconde loi de Newton (Guide et Programme d'Études [GPE] T^{le} D, 2011) sont prescrits pour être mis en œuvre respectivement en troisième et en terminale scientifique. De nombreuses recherches menées en didactique de la physique à propos des concepts et lois de l'électrocinétique et de la mécanique ont mis en évidence de problèmes divers en ce qui concerne leur enseignement et leur apprentissage.

À propos de la relation en masse et poids

La relation entre poids et masse ($P=m.g$) a servi de prétexte à Baldy, Dusseau et Durand-Guerrier (2007) pour étudier la relation entre mathématique et physique. Elle a montré que la mise en formule du phénomène physique ne s'accompagne pas pour les élèves de la construction de sens. De plus, dans le choix actuel des programmes, la notion d'intensité de la pesanteur, notée g , n'a pas de sens physique. Elle est uniquement définie comme coefficient de proportionnalité et reste abstraite. L'étude suggère que les difficultés des élèves à manipuler correctement $P = mg$ peuvent être imputées à la confusion entre grandeurs et unités, à l'absence de relation entre les symboles et les concepts qu'ils représentent ou le phénomène physique qu'ils modélisent et à l'absence de sens de la formule.

Par ailleurs, Mullet et Gervais (1990) ont conçu trois expériences pour tester la maîtrise intuitive des concepts de masse et de poids par des élèves de l'enseignement secondaire. Les résultats indiquent que, quel que soit leur âge, les élèves possèdent deux concepts distincts correspondant à chacune de ces notions. Cependant, les termes « masse » et « poids » sont tous deux compris comme un seul concept, celui de poids, alors que le terme "quantité de matière" est clairement lié au concept de masse.

À propos de l'apprentissage de la deuxième loi de Newton

Oké, Kanffon et Kélani (2019) ont montré que lors des résolutions de problèmes portant sur la deuxième loi de Newton, le passage d'un système physique modélisé ou semi modélisé aux relations mathématiques semble poser des difficultés aux élèves et l'exploration de leur conduite révélé certaines de ces difficultés proviennent essentiellement de la non maîtrise de la plupart des invariants opératoires de type fonction propositionnelle, c'est-à-dire les *concepts-en-acte* et les *propriétés-en-acte*, sur lesquels repose tout le reste du raisonnement de l'application de cette loi. Robardet (1995) en s'appuyant sur l'élaboration d'un modèle explicatif de la relation logico-mathématique $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ a montré qu'en procédant à un enseignement/apprentissage par changement conceptuel progressif basé sur la résolution de situations-problèmes et l'élaboration de façon graduelle de modèles explicatifs, la majorité des élèves parvient à donner plus de sens à la deuxième loi de Newton. Il a fait également le constat selon lequel ce changement conceptuel est d'autant plus efficace que s'il s'opère à travers un ensemble cohérent de situations-problèmes dans une démarche de modélisation progressive au cours de laquelle on fait fonctionner les conceptions des élèves comme des pré-modèles au sens de Johsua (1989).

À propos des concepts clés de l'électrocinétique.

Des recherches menées par Dognon (2020) ont mis en évidence des problèmes d'appropriation des concepts clés de l'électrocinétique (Résistance, tension et intensité du courant électrique) et de la relation que ceux-ci entretiennent entre eux (loi d'Ohm). Une analyse praxéologique de l'enseignement de la loi d'Ohm (Dognon, Magbondé, Oké et Atikleme, 2021) fait ressortir, d'une part, le vide des Programmes d'Études et du Guide des Programmes sur les techniques et éléments de techno-

logies de la vérification de la loi d'Ohm. D'autres part, l'étude fait ressortir une grande variabilité dans la mise en œuvre de l'enseignement de la vérification de cette loi.

Ces études font ressortir des problèmes institutionnels d'organisation de l'enseignement-apprentissage des différentes lois et concepts en plus des difficultés d'appropriation par les apprenants et des incohérences dans les approches pédagogico-didactiques de leur mise en œuvre par les enseignants. Il nous a paru judicieux de poser la question de savoir quelles sont les approches dominantes de construction des lois physique du point de vue des enseignants afin de rechercher ce qui caractérise la mise en œuvre desdites lois et d'en apprécier leur pertinence au regard des indicateurs de l'approche théorique convoquée. Ce faisant, des recommandations seront faites pour la formation des enseignants.

3. Méthodologie

3.1. Le recueil des données

Le recueil des données a impliqué trois groupes différents de 30 enseignants de physique chacun provenant de dix établissements d'enseignement secondaire des départements de l'Atlantique et du Littoral. Les enseignants de notre panel ont tous une expérience minimum de 3 ans soit dans la classe de quatrième, dans la classe de troisième ou dans la classe de terminale scientifique. La technique de collecte d'informations est le questionnaire papier-crayon propice pour adresser un grand nombre d'individus et pour analyser le phénomène à cerner à partir d'informations portant sur eux. Pour minimiser la fragilité des réponses des enseignants (superficialité des réponses, dimensions idéologiques versus réaliste, etc.) nous avons proposé cinq différentes citations à cocher en guise de réponses possibles à l'unique question qui leur a été posée à savoir :

- Comment enseignez-vous la loi d'Ohm ? (Question posée au premier groupe d'enseignants spécialisé dans les classes de quatrième) ;
- Comment enseignez-vous le poids d'un corps ? (Question posée au groupe d'enseignants intervenant en classe de troisième);
- Comment enseignez-vous la deuxième loi de Newton ? (Question posée au groupe d'enseignants ayant l'habitude des classes de terminale scientifique).

Les réponses possibles à choisir par chaque enseignant sont les suivantes : (1) « *Énoncer/définir la loi (codée ELO)* » ; (2) « *Fournir la signification de la loi (codée FSL)* » ; (3) « *Fournir le sens général de la loi (codée FSG)* » ; (4) « *Expliquer la loi avec renforts de répétition et de mémoire (codée ELL)* » et (5) « *Mettre en œuvre la loi par ses différents usages dans des contextes précis (codée MEO)* ».

Ces différentes citations peuvent être regroupées en deux catégories de processus de construction des concepts scientifiques au sens de Vygotsky (Ibid). La définition ou l'énoncé d'une loi (citation ELO), la fourniture à l'élève de la signification d'une loi et son explication (citations ELO et ELL) renvoie à la signification de la loi et donc à un processus de généralisation. La présentation du sens général d'une loi (énoncé FSG) et sa mise en œuvre par ses différents usages dans des contextes précis (citation MEO) renvoient à la construction du sens de la loi et relèvent donc de la construction de la loi par un processus de conceptualisation

3.2. Le traitement des données

Dans un premier temps les réponses données par les enseignants de chaque groupe sont compilés dans un tableau qui présente les effectifs et pourcentage par citations des énoncés proposés au choix en réponse à la question de la mise en œuvre de la loi d'Ohm en 4^{ème}, la construction du concept de poids en 3^{ème} et la mise en œuvre de la 2nde loi de Newton en terminale scientifique (tableau 1). Dans un second temps une moyenne des réponses données par catégorie de processus de construction de nouveaux concepts scientifiques a été calculée et présentée pour l'analyse (tableau 2). Il est bien entendu que le processus de construction de nouveaux concepts par le sens donné aux concepts dans des contextes précis est celui qui est jugé pertinent pour le développement des compétences scientifiques et technologiques des élèves.

Tableau 1 : Résultats des énoncés donnés par les trois groupes d'enseignants en ce qui concerne la construction d'une loi

Source : enquête de terrain

		Comment enseigner la loi d'Ohm en 3ème ?		Comment enseigner la gravitation terrestre en 3ème ?		Comment enseigner la deuxième loi de Newton en Terminale ?	
Les différentes citations	Code des citations	Nombre de citations	% de citations	Nombre de citations	% de citations	Nombre de citations	% de citations
Énoncer de la loi	ELO	48	96%	40	80%	35	70%
Fournir la signification de la loi	FEL	50	100%	45	90%	47	94%
Fournir le sens général de la loi	FSG	20	40%	27	54%	19	38%
Expliquer la loi avec renforts de répétition et de mémoire	ELL	40	80%	45	90%	48	96%
Mettre en œuvre la loi par ses différents	MOE	30	60%	20	40%	17	34%

usages dans des con- textes précis							
--	--	--	--	--	--	--	--

Tableau 2 : *Moyenne des réponses données par catégorie de processus de construction*

Catégories du processus de construction des concepts	Loi d'Ohm	La chute d'un corps	La 2^{de} loi de Newton	% moyen
Processus de généralisation (PG)	92%	72%	86%	88%
Processus de conceptualisation (PC)	50%	47%	35%	44%

4. Analyses et résultats obtenus

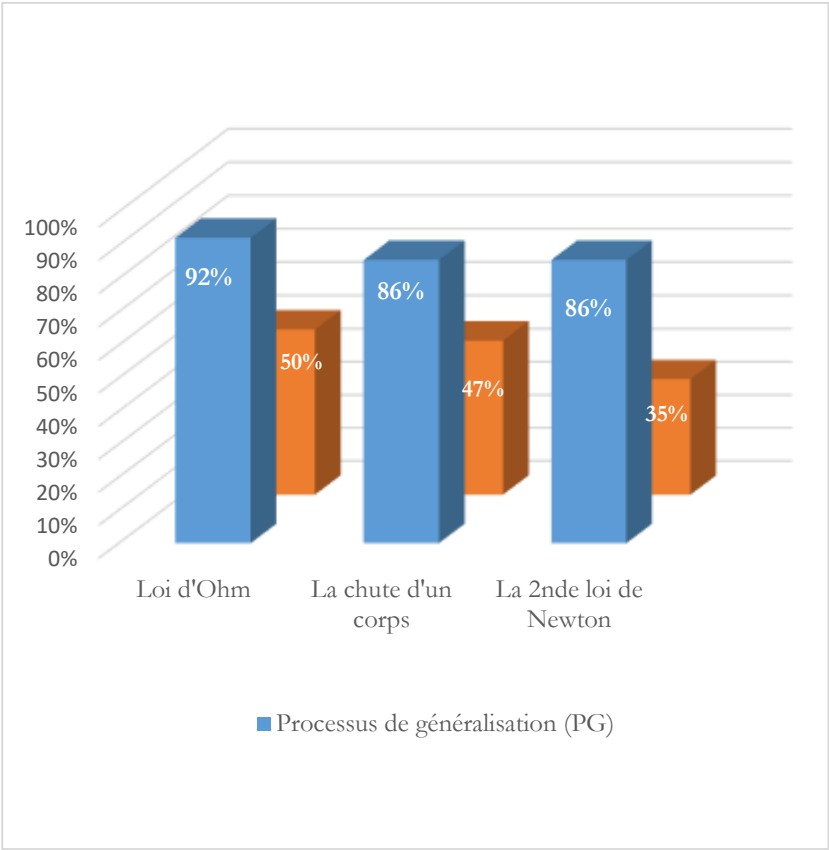
4.1. Construction des nouveaux concepts physiques par un processus de généralisation.

Rappelons que les énoncés ELO, FSL et ELL constituent les variantes de la construction d'un concept par le processus de généralisation du point de vue de Vigotsky (Ibid). Les résultats compilés dans le tableau 1 montre que la grande majorité des enseignants interrogés estiment que l'énoncé ou la définition d'une loi suffit à faire construire une loi physique. En effet, parmi les enseignants interviewés au sujet de la mise en œuvre d'une loi, 29 d'entre eux sur 30 (97%) penchent pour la citation ELO pour ce qui concerne la loi d'Ohm, 24 enseignants sur 30 (80%) pour la chute d'un corps au voisinage de la Terre et 21 enseignants sur 30 (70%) pour ce qui est de la deuxième loi de Newton. La moyenne pondérée de la citation ELO donne 83,8%. En clair, plus de 8 enseignants sur 10 estiment pouvoir faire comprendre une loi de l'électrocinétique et de la mécanique par sa définition ou de son énoncé. En ce qui concerne la citation FSL, tous les 30 enseignants interrogés y sont favorables pour faire construire la loi d'Ohm, 26 enseignants sur 30 pour la mise en œuvre

de la loi de la gravitation terrestre et 28 enseignants sur 30 pour la loi du mouvement de Newton. En moyenne, plus de 9 enseignants sur 10 (soit 93.6%) pensent qu'il est pertinent de faire apprendre une loi de la physique en fournissant aux élèves la signification de cette loi. Enfin ELL semble suivre les mêmes tendances que les deux premières présentées. En effet, 24 enseignants sur 30, 27 enseignants sur 30 et 28 enseignants sur 30 penchent pour ELL respectivement pour la loi d'Ohm ; le concept de poids et la seconde loi de Newton. Il vient donc que presque 9 enseignants sur 10 (moyenne pondérée de 0,88) misent sur les explications d'une loi pour garantir son appropriation par les élèves.

La figure ci-dessous donne une représentation graphique des résultats du tableau 2. Celui-ci affiche les moyennes des réponses données par catégorie de processus de construction.

Figure 1 : pourcentage moyen des réponses données par catégorie de processus de construction



Il fait apparaitre que la majorité des personnes interrogées optent pour une construction des lois physiques par le processus de généralisation. En effet 92% des enseignants des classes de 4^{ème}, 72% des enseignants des classes de 3^{ème} et 86% de ceux en charge des classes terminales scientifiques ont tendance à élaborer respectivement la loi d’Ohm, la relation entre poids et masse et la seconde loi de Newton par l’entremise d’une présentation de la signification de la loi. Cette signification n’est qu’une pierre dans l’édifice du sens à donner à la loi scientifique.

4.2. Construction des nouveaux concepts physiques par un processus de conceptualisation.

Les énoncés FSG et MOE sont deux indicateurs caractéristiques de la construction d'un concept par le processus de conceptualisation. L'examen des résultats de l'enquête montre que parmi les enseignants interviewés, 12 d'entre eux 30 (48%) optent pour la citation FSG pour ce qui renvoie à la mise en œuvre de la loi d'Ohm, 16 enseignants sur 30 (53%) pour ce qui concerne l'élaboration du concept de poids, et seulement 11 enseignants des classes de terminale sur 30 concernant la deuxième loi de Newton. Avec une moyenne pondérée de 46,9%, il vient que moins de la moitié des enseignants interrogés estiment pouvoir faire construire une loi scientifique en présentant à juste titre aux élèves le sens général de la loi. Les résultats semblent indiqués une tendance similaire pour ce qui concerne la réponse MOE avec une moyenne de 47,2 % de l'ensemble des enseignants interrogés. Ainsi, moins de la moitié des enseignants pensent qu'on peut mettre en œuvre une loi par ses différents usages dans des contextes précis.

Au total, en référence à la représentation graphique, à peine 4 enseignants sur 10 comprennent que la mise en œuvre d'une loi physique procède d'un processus de conceptualisation.

Il ressort clairement que la majorité des enseignants de notre panel pensent injustement construire ou faire apprendre de nouveaux concepts physiques en misant sur la signification des concepts en jeu. Or il est d'une quasi impossibilité de transmettre un concept directement et simplement de l'enseignant à l'élève, de transférer mécaniquement la signification d'un concept d'une tête dans une autre à l'aide d'autres mots ou d'autres concepts. On ne peut non plus, par des explications contraignantes, à grand renfort de répétitions et de mémoire, apprendre aux élèves, contre leur volonté, un nouveau concept comme on leur apprend le français. Il est bien plus pertinent de fournir à l'élève des occasions d'acquérir des concepts nouveaux à partir du sens général du concept. Comme l'écrit Vergnaud (Ibid : 135) :

un concept ne peut être réduit à sa définition, du moins si l'on s'intéresse à son apprentissage et à son enseignement. C'est à travers des situations et des problèmes à résoudre qu'un concept acquiert du sens pour l'enfant.

Si l'apprenant est confronté à une classe de situations dans le concept évolue, il commencera à se représenter confusément le nouveau concept

et finira par ressentir à l'occasion la nécessité de l'exploiter et alors, le concept deviendra sa propriété. En effet, un concept n'a de sens que dans un contexte donné et surtout dans ses relations avec d'autres concepts appartenant au même champ conceptuel. Il se fait que moins de la moitié des enseignants enquêtés semble avoir bien compris cela et une majorité d'entre eux semblent opter pour une construction généraliste des concepts.

5. Conclusion

La recherche a interrogé les approches dominantes de construction des lois physiques du point de vue des enseignants afin de rechercher ce qui caractérise la mise en œuvre desdites lois et d'en apprécier leur pertinence. Les résultats suggèrent que les enseignants, dans leur majorité, privilégie une approche axée sur la signification des concepts qui met en avant leur construction par un processus de généralisation au lieu de procéder par la construction du sens du concept. On ne doit pas s'étonner des difficultés d'appropriation des lois par les élèves en classe de physique dans l'enseignement secondaire. Ce résultat doit servir pour redimensionner la formation des enseignants de physique.

Bibliographie

BALDY Elise, DUSSEAU Jean-Michel et DURAND-GUERRIER Viviane, 2007, « Mathématiques et physique en classe de troisième : l'exemple de la proportionnalité », Repères – IREM, 2007, N° 66, pp.73-82

DOGNON Ahodegnon Zéphyrin Magloire, 2020. *Analyse didactique de l'enseignement de la loi d'ohm en quatrième : de la dynamique curriculaire aux pratiques de classe*, Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02959347>

DOGNON Ahodegnon Zéphyrin Magloire, MAGBONDE Koba Charles, OKE Eugène. & ATTIKLEME Kossivi, 2021, « Analyse praxéologique de l'enseignement de la loi d'Ohm en classe de quatrième au Bénin », Actes du colloque scientifique international « les sciences de l'éducation et la formation à l'école africaine : regards pluridisciplinaires », Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2021, pp. 361- 373, ISBN : 978-99982-947-9-0.

GALILI Igal, 2011, « Weight versus gravitational force: Historical and educational perspectives », *International Journal of Science Education*, 2011, Vol.23: 10, pp.1073 — 1093, DOI: 10.1080/09500690110038585 URL: <http://dx.doi.org/10.1080/09500690110038585>

GUIDE ET PROGRAMME DES ETUDES, 2011. *Physique, Chimie et Technologie Terminale D*, Direction de l'Inspection Pédagogique, Porto-Novo,

JOHSUA Samuel, 1989, « Le rapport à l'expérimental dans la physique de l'enseignement secondaire », *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 1989, n°8, pp. 29-53

MULLET Etienne et GERVAIS Hélène, 1990, « Distinction between the concepts of weight and mass in high school students », *International Journal of Science Education*, 1990, 12:2, pp 217-226, DOI: 10.1080/0950069900120210.

URL: <http://dx.doi.org/10.1080/0950069900120210>

OKE Eugène, KANFFON Aimé et KELANI Raphaël, 2019, « Exploration des conduites d'élèves lors de la mise en œuvre de la deuxième loi de Newton en terminale scientifique au Bénin », *Liens*, 2019, n° 27, volume1, pp 38-54.

PROGRAMME D'ÉTUDES, 2020. *Physique Chimie et Technologie, classe de 4^{ème}, version révisée et relue*, Institut national d'Ingénierie de Formation et de Renforcement des Capacités des Formateurs. Cotonou

PROGRAMME D'ÉTUDES, 2020. *Physique Chimie et Technologie, classe de 3^{ème}, version révisée et relue*. Institut national d'Ingénierie de Formation et de Renforcement des Capacités des Formateurs. Cotonou

ROBARDET Guy, 1995, « Situations-problèmes et modélisation ; l'enseignement en lycée d'un modèle newtonien de la mécanique. », *Didaskalia*, 1995, n° 7, pp. 129-143

VERGNAUD Gérard, 1992, « La théorie des champs conceptuels », *Recherches en didactique des mathématiques*. 1992, Vol. 10, n°2], pp.133-170

VYGOTSKI Lev Semionovitch, 1997. *The collected work of L.S Vygotski: Vol.3. Problems of the theory and history of psychology*, New York: Plenum.

VYGOTSKI Lev Semionovitch, 1986. *Thought and language*. Cambridge. MA: MIT Press.