

# Modélisation et simulation dans l'enseignement scientifique : usages et impacts

**Maryline Coquidé**, UMR STEF (ENS Cachan, INRP); maryline.coquide@inrp.fr

**Jean-François Le Maréchal**, UMR ICAR, groupe COAST (CNRS,  
université Lumière-Lyon 2, ENS Lyon, INRP, ENS-LSH); lemarch@ens-lyon.fr

---

La modélisation et la simulation représentent un vaste champ pour les recherches relatives à l'enseignement scientifique et technologique, exploré depuis plusieurs décennies déjà (Giordan & Martinand, 1987). Les travaux les plus anciens concernant la modélisation en sciences ont été listés par Drouin (1992) qui proposait près de 250 références basées sur l'épistémologie, sur la psychologie cognitive ou sur la didactique des sciences. Plusieurs outils didactiques ont été élaborés : outil d'analyse didactique basé sur la modélisation considérée comme pouvant catégoriser savoir savant, savoir enseigné et fonctionnement de l'élève face à ces savoirs (Tiberghien, 1994), schéma distinguant des registres et modélisant des contraintes pour un projet d'enseignement de la modélisation (Martinand, 1992, 1994).

L'apprentissage par la modélisation dans l'enseignement des sciences a, depuis, été le thème d'un numéro spécial de l'*International Journal of Science Education* (2000). Dans la revue de questions sur les apports de la technologie informatique pour l'enseignement des sciences, réalisée par Linn (2003), « *la visualisation de phénomènes scientifiques* » et « *les modèles scientifiques et la simulation* » représentent deux des principaux domaines parmi ceux abordés par l'auteur. Nombreuses sont les revues qui publient régulièrement articles et contributions de recherches, d'innovations ou de développements de la modélisation et de la simulation pour l'enseignement scientifique et technologique. Les questions abordées dans ce numéro d'*Aster*, consacré à la modélisation et à la simulation dans l'enseignement scientifique, sont donc pleinement d'actualité.

L'appel à contribution orientait l'écriture des articles pour mieux connaître la manière dont on peut enseigner et faire apprendre en concevant, en construisant, en manipulant et en adaptant des objets (réels ou virtuels) dans un but de modélisation scientifique. Ce numéro visait donc à proposer un état des lieux des recherches actuelles sur ces questions. L'association des termes

modélisation et simulation a probablement orienté la réception de propositions qui étaient majoritairement centrées sur des modélisations et des simulations informatiques. Distinguer enseignement de la modélisation et enseignement par la modélisation et la simulation, n'est par ailleurs pas toujours aisé. Un enseignement de la modélisation prend aussi en charge des contenus scientifiques, tandis qu'un enseignement par la modélisation et par la simulation prend souvent en compte la nature des modèles. Hogan et Thomas (2001) ont, par exemple, étudié l'utilisation, par des élèves de lycée, du logiciel de modélisation dynamique quantitative *Stella*<sup>®</sup> pour construire des modèles dynamiques d'écosystèmes et pour favoriser le développement d'une pensée systémique. Les articles réunis ici montrent la diversité des cadres théoriques utilisables dans les différents contextes de recherche, qu'ils abordent la thématique de cet ouvrage selon des registres plutôt épistémologique, psychologique ou pédagogique. Ils incitent à réfléchir aux fonctions de la modélisation et de la simulation. De même l'enseignement de la modélisation et par la modélisation et la simulation est discuté ; cela montre la nécessité d'une poursuite de recherche dynamique dans ce domaine.

## **I. Diversité de travaux, de cadres théoriques et de visées**

### ***I.1. Contexte actuel d'usages et de fonctions dans les laboratoires et dans les classes***

Des schémas de molécules qui tournent et se déploient sur l'écran, des modèles qui miment l'évolution du climat, des images animées qui représentent les interfaces entre pointe microscopique et surface... : dans les laboratoires, la puissance numérique des technologies informatiques permet de multiplier les dimensions, d'accélérer le temps, d'accéder à des représentations visuelles ou bien de modéliser des phénomènes complexes. L'extraordinaire puissance du calcul et d'analyse des données offertes par l'ordinateur autorise des traitements statistiques sur des masses énormes de données. La simulation informatique facilite la mise en scène et la lisibilité des résultats. Tout cela implique un nouveau type d'expérience. Dans de nombreuses activités scientifiques et technologiques contemporaines, l'ensemble indissociable théorie, modélisation, simulation et expérimentation est omniprésent. Les modélisations numériques et les simulations informatiques fournissent l'occasion de renouveler le débat du statut épistémologique de la modélisation et de celui de la simulation. Elles questionnent les notions de phénomène, d'expérimentation et même de laboratoire, et il apparaît indispensable de conserver constamment à l'esprit qu'une simulation ne permet d'accéder qu'à la phénoménologie du modèle qu'elle contient.

Dans l'enseignement scientifique, les usages de la modélisation et de la simulation se multiplient. En France, le chapeau commun aux programmes de *sciences physiques et sciences de la vie et de la Terre* (SVT) pour le lycée souligne que

« l'exercice de modélisation du réel est sans doute la démarche la plus importante et aussi la plus difficile dans la démarche scientifique ». Paradoxalement, les programmes d'enseignement des différentes disciplines scientifiques pour le secondaire restent, ensuite, discrets à ce sujet tandis que le décret relatif au socle commun de connaissances et de compétences semblerait plus explicite (2006). Le volet culture scientifique et technologique envisage ainsi que l'élève soit capable de « pratiquer une démarche scientifique », « savoir regarder, questionner, observer, formuler une hypothèse et la valider, argumenter, modéliser de façon élémentaire ; comprendre le lien entre les phénomènes de la nature et le langage mathématique qui s'y applique et aide à les décrire ». Ces compétences visées restent cependant peu commentées et l'on pourrait s'interroger sur la signification, et la faisabilité éventuelle, de « modéliser de façon élémentaire ». L'élève devrait par ailleurs être aussi capable de « manipuler et d'expérimenter » et, entre autres, de « percevoir la différence entre réalité et simulation ».

Les différentes contributions du présent numéro d'Aster montrent la variété des activités, scolaires ou non scolaires, qui font usage de modélisation et de simulation.

## **1.2. Des contributions variées**

Les articles retenus font se côtoyer divers cadres théoriques, différentes approches, différentes visées, différents domaines scientifiques, différents contextes et niveaux d'enseignement.

Quatre articles soumettent des travaux empiriques, deux réalisés auprès de lycéens ou d'étudiants, et deux autres auprès de jeunes élèves ou enfants.

L'étude de François-Xavier Bernard, Annick Weil-Barrais et Michel Caillot, réalisée dans un contexte muséologique, étudie ainsi l'impact sur les apprentissages d'enfants de 3 à 5 ans, d'un dispositif de simulation de mélange de couleurs exposé à la *Cité des sciences et de l'industrie* (Paris). Elle montre que l'âge de 4 ans semble constituer un palier pour que les enfants soient capables de mettre en œuvre les procédures acquises au moyen du simulateur dans des conditions favorables d'accompagnement. L'article de Berktañ Bodur et Jack Guichard, de son côté, étudie la modélisation auprès d'élèves de 8-10 ans et compare les modélisations et les simulations les plus favorables à leur compréhension de la flexion-extension du bras. En effet, la possibilité d'utiliser la modélisation chez les plus jeunes élèves ne fait pas unanimité et a été débattue (Tytler & Peterson, 2004). Ceux qui avancent une impossibilité se recommandent de Piaget pour qui les opérations formelles (à laquelle l'activité de modélisation peut-être assimilée) ne peuvent advenir avant l'adolescence (Inhelder & Piaget, 1955). Les activités scientifiques pour les plus jeunes sont alors considérées comme devant se centrer uniquement sur des activités de classification, de description et de manipulation d'objets matériels (Metz, 1995). Des études, défendant le même point de vue, ont montré que, avant

l'adolescence, l'enfant distinguait difficilement preuve expérimentale et théorie (Kuhn *et al.*, 1988; Kuhn, 1997). À l'opposé, Canal *et al.* (1992) ont montré que des élèves de primaire étaient susceptibles d'avoir une activité de modélisation. Par ailleurs, de jeunes élèves semblent pouvoir distinguer preuve et croyance (Sodian *et al.*, 1991), ou coordonner preuve et théorie lors de situations de covariance (Ruffman *et al.*, 1993).

Trois autres articles adoptent davantage une perspective d'analyse critique ou de contribution théorique. L'article de Béatrice Desbeaux-Salviat et Dominique Rojat, considère ainsi les productions scientifiques et la modélisation sous une forme inhabituelle qui croise les entrées théoriques. Il dialectise la relation fait-théorie et étudie le statut des documents dans l'enseignement des SVT en soulignant ses tentations empiristes.

## 2. Fonctions de la modélisation et de la simulation

Sorte d'expérience, outil intellectuel ou théorique d'analyse, ou bien intermédiaire entre théorie et expérience et source d'information sur la nature des choses, le statut épistémologique des simulations est controversé parmi les scientifiques et les épistémologues (Parrochia, 2000; Varenne, 2006). Bien que leur statut épistémologique fasse débat, modélisation et simulation peuvent, dans l'enseignement scientifique, fonctionner comme un pont entre théorie scientifique et monde réel et être soumises à l'expérience (Gilbert, 2004). Si on s'intéresse non pas au statut mais aux fonctions des modèles et de la simulation, le débat peut se révéler bien constructif. C'est avec une vision élargie, et qui lui est propre, de la notion d'expérience que l'article de Muriel Ney discute ainsi différentes fonctions pédagogiques des modèles et des simulateurs, et l'importance théorique d'une composante « *expérientielle* » dans ces enseignements. Instruments pour explorer la réalité, les modèles peuvent, en effet, avoir des rôles très différents : ils peuvent décrire, expliquer, prévoir ou aider à une prise de décision. Legay (1997) distingue ainsi les « *modèles d'hypothèse* », les « *modèles de mécanisme* » (actuellement les plus répandus), et les « *modèles de décision et de prévision* » (les moins développés mais les plus demandés par la société). De même, les fonctions de la simulation peuvent varier dans chaque domaine concerné et dans chaque cas. Le sommaire du numéro spécial de *Clefs CEA* (2002), revue du Commissariat à l'énergie atomique, consacré à la simulation, propose ainsi « *simuler pour comprendre* », « *simuler pour concevoir* » et « *simuler pour agir* ». L'approche sociologique, de son côté, considère la construction sociale de la preuve. C'est à une découverte de l'épistémologie de Nancy Cartwright (1983; 1999) que nous invite l'article de Gérard Sensevy et Jérôme Santini, avant d'en discuter les conséquences didactiques. Cette épistémologie considère de façon originale l'activité scientifique, elle intègre l'aspect social de la modélisation et elle valorise l'importance de l'expérience, de la situation et des instruments dans la production des modèles.

### 3. Enseigner la modélisation, enseigner par la modélisation et la simulation

Nous avons commenté la difficulté de la distinction entre enseignement de la modélisation et enseignement par la modélisation et la simulation. Dans ce numéro d'Aster, plusieurs articles se situent plutôt dans une visée d'enseignement-apprentissage par la modélisation et par la simulation ; seul l'article de Muriel Ney prend explicitement pour objectif principal une analyse de l'enseignement de la modélisation. Un état des lieux de l'enseignement de la modélisation dans une formation en biologie en université y est présenté.

Dans l'enseignement par la modélisation et la simulation, l'objectif pédagogique principal est que les élèves construisent des savoirs en modélisant des phénomènes scientifiques. Les cadres théoriques sollicités peuvent être divers.

Dans le *model-based learning* de la littérature anglophone, il s'agit de faire évoluer les modèles mentaux des élèves vers des modèles plus scientifiques. Dans ce cadre théorique, un aspect essentiel de l'apprentissage des sciences (Hodson, 1992) consiste alors en la construction par les élèves ou les étudiants de modèles mentaux aussi proches que possible des modèles scientifiques et historiques. Ces différents modèles, modèles mentaux et modèles scientifiques, ne sont absolument pas du même ordre, registre psychologique pour les uns, épistémologique pour les autres. Se pose alors la question de savoir comment peut s'envisager le passage de l'un vers l'autre. Les versions simplifiées des modèles scientifiques, issues de ces études, peuvent faire partie des programmes scolaires et être appelées « *modèles enseignés* » (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000). Pour Clément (2000), cette théorie de l'apprentissage s'inscrit dans le développement d'une théorie du changement conceptuel.

L'utilisation de la simulation en classe peut aussi remettre en question l'idée que l'on se fait de la notion d'échafaudage ou échafaudage (*scaffolding*). Rappelons que l'échafaudage, issu du modèle socioconstructiviste vygotkien de l'apprentissage, doit permettre à l'élève ou à l'étudiant d'exercer une activité cognitive au-delà de capacités acquises. Il est considéré comme intervenant dans un contexte d'interactions sociales (Vygotski, 1978). Vergnaud (2000) précise que les processus de médiation dans la théorie de Vygotski présentent deux dimensions distinctes mais non indépendantes : la médiation par l'adulte et la médiation par les signes. Dans un contexte scolaire, c'est généralement l'enseignant qui joue le rôle de personne-guide. Avec les usages scolaires des technologies informatiques, une nouvelle interrogation émerge : savoir si l'implantation du modèle au sein d'une simulation peut contribuer à cet échafaudage. Plusieurs travaux avaient apporté des éléments de discussion (Guzdial, 1995 ; Linn, 1995 ; Bell & Davis, 2000). Dans le projet d'apprentissage qu'il avait mis en œuvre, Guzdial avait, par exemple, proposé à des étudiants des « *blocs* » de modèle pouvant être utilisés « *comme un tout* », plutôt que de les faire modéliser à partir de rien.

### **3.1. Évaluer un impact**

Il peut s'agir de mieux connaître les usages scolaires de l'enseignement, et l'impact sur les apprentissages, de la modélisation et de la simulation. Ainsi, de nombreuses études avaient, de longue date, comparé les effets sur l'apprentissage d'un enseignement basé sur une simulation, par rapport à celui réalisé de façon transmissive sous forme d'exposé. Des domaines tels que la biologie (Rivers & Vockell, 1987), la mécanique (Rieber, Boyce & Assad, 1990), ou bien encore l'électricité (Carlsen & Andre, 1992), avaient notamment été abordés. D'autres travaux (de Jong *et al.*, 1999) montraient que l'apprentissage au moyen de la simulation était plus efficace dans un environnement qui offrait des possibilités d'investigation et de découverte.

L'environnement informatique original pour la formation à la mécanique, présenté dans la recherche de Martin Riopel, Gilles Raïche, Frédéric Fournier et Pierre Nonnon, intègre l'enregistrement automatique des cheminements des étudiants. Ces données, associées à l'analyse des commentaires de ces derniers peut contribuer à appréhender leurs raisonnements lors des différents épisodes. Les recherches françaises semblent explorer davantage les procédures d'enseignement ou de médiation ayant recours à de la simulation. L'article de François-Xavier Bernard, Michel Caillot et Annick Weil-Barrais, et celui de Berktañ Bodur et Jack Guichard, montrent ainsi l'importance du contexte d'enseignement ou d'apprentissage et la nécessité d'une médiation adaptée, en particulier pour les plus jeunes élèves.

### **3.2. Contribuer à une recherche développement**

Il peut s'agir aussi de participer à la recherche-développement d'un logiciel, d'un simulateur ou d'un projet éducatif d'ensemble. L'article de Jean-François Le Maréchal et Karine Bécu-Robinault analyse ainsi un projet de recherche et développement de la simulation pour l'enseignement de la chimie. Une analyse, du point de vue de la modélisation et de la représentation des connaissances, conduit à une proposition de catégorisation des simulateurs.

Celui de Martin Riopel, Gilles Raïche, Frédéric Fournier et Pierre Nonnon présente une recherche de développement d'un environnement informatisé d'apprentissage de la mécanique qui associe un système d'expérimentation assistée par ordinateur et un système de simulation. Cet environnement original permet aux étudiants de comparer séquence vidéo animée et simulation, grâce à une superposition directe d'images d'objets réels et virtuels.

## **4. Des besoins de recherche**

La mise en œuvre de démarches de modélisation et le développement de la simulation en classe supposent aussi de mieux connaître les usages qu'en font les

enseignants et les exigences ou contraintes d'utilisation pour des apprentissages. L'appel à communication pour ce numéro incitait à des propositions sur ces questions. Il s'agissait de s'interroger sur les facteurs qui déterminent la conception des outils pédagogiques pour la modélisation et la simulation, sur les contraintes d'usage, sur les conceptions des enseignants, sur les compétences requises, sur les formations éventuelles. Plusieurs articles ont déjà été publiés sur ces questions : analyse des conceptions sur la modélisation d'élèves (Treagust *et al.*, 2002) ou d'enseignants (Van Driel & Verloop, 2002 ; Justi & Gilbert, 2003), impact d'une formation d'enseignants (Crawford & Cullin, 2003), analyse des difficultés et de la faisabilité d'un enseignement de modélisation compartimentale (Orange, 1997), analyse de contraintes d'usage de la modélisation et de la simulation informatique (Beaufils *et al.*, 1999 ; Buty, 2003 ; Beaufils & Ramage, 2004), mais de nombreuses questions demeurent en suspens. Quelles difficultés la modélisation pose-t-elle aux élèves ? Comment les aider à appréhender le statut de la modélisation et celui de la simulation ? La mise à disposition et l'adaptation, pour l'enseignement, de pratiques et d'outils scientifiques permettent, en outre, de bâtir de nouvelles situations d'apprentissage utilisant les simulations. Comment se font ces adaptations ? Avec quelles règles de conception ? Sous quelles contraintes ? Avec quelles perspectives d'usage ? ■

## **BIBLIOGRAPHIE**

- BEAUFILS D. & RAMAGE M.-J. (2004). Simulation informatique et enseignement de la physique : regards didactiques. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 866, p. 1081-1090.
- BEAUFILS D., RICHOUX H. & CAMGUILHEM C. (1999). Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique. *Aster*, n° 28, p. 131-148.
- BELL P. & DAVIS E.A. (2000). Designing Mildred: Scaffolding students' reflection and argumentation using a cognitive software guide. In S. O'Connor-Divelbiss (Éd.). *Proceedings of the fourth international conference of the learning sciences*. Mahwah, NJ: Erlbaum, p. 142-149.
- BUTY C. (2003). Richesses et limites d'un modèle matérialisé informatisé en optique géométrique. *Didaskalia*, n° 23, p. 29-64.
- CANAL J.-L., GENZLING J.-C., PIERRARD M.-A. & SARRAZIN L. (1992). La modélisation à l'école élémentaire. In J.-L. Martinand (dir.). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, p. 55-117.
- CARLSEN D. & ANDRE T. (1992). Use of a microcomputer simulation and conceptual change text to overcome students preconceptions about electric circuits. *Journal of Computer-Based Instruction*, n° 19, p. 105-109.

- CARTWRIGHT N. (1983). *How the laws of physics lie*. Oxford: Oxford University Press.
- CARTWRIGHT N. (1999). *The dappled world: a study of the boundaries of sciences*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Clefs CEA (2002), n° 47, hiver 2002-2003.
- CLEMENT J. (2000). Model based learning as a key research area for science Education. *International Journal of Science Education*, vol. 22, n° 9, p. 1041-1053.
- CRAWFORD B. & CULLIN M. (2003). Supporting prospective teachers' conceptions of modelling in science. *International Journal of Science Education*, vol. 26, n° 11, p. 1379-1402.
- DROUIN A.-M. (1992). Cheminement bibliographique. In J.-L. Martinand (dir.). *Enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP, p. 23-53.
- GILBERT J.K. (2004). Models and modelling: routes to more authentic science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, n° 2, p. 115-130.
- GILBERT J.K., BOULTER C.J. & ELMER R. (2000). Positioning models in science Education and in design and technology Education. In J.K. Gilbert & C.J. Boulter (Éd.). *Developing models in science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 3-18.
- GIORDANA A. & MARTINAND J.-L. (Éd.) (1987). Modèles et Simulation. *Actes des IX<sup>e</sup> Journées Internationales sur l'Éducation Scientifique*. Paris : UER de didactique des disciplines, université Denis-Diderot-Paris 7.
- GUZDIAL M. (1995). Software-realized scaffolding to facilitate programming for science learning. *Interactive Learning Environments*, n° 4, p. 1-44.
- HODSON D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science Education. *International Journal of Science Education*, vol. 14, n° 5, p. 541-562.
- HOGAN K. & THOMAS D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modelling in ecology. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 10, n° 4, p. 319-345.
- INHELDER B. & PIAGET J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent*. Paris : PUF.
- International Journal of Science Education* (2000), vol. 22, n° 9.

- JONG (de) T., MARTIN E., ZAMARO J.M., ESQUEMBRE F., SWAAK J. & JOOLINGEN W.R. (1999). The integration of computer simulation and learning support: an example from the physics domain of collisions. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 36, n° 5, p. 597-615.
- JUSTI R. & GILBERT G. (2003). Teacher's views on the nature of models. *International Journal of Science Education*, vol. 25, n° 11, p. 1369-1386.
- KUHN D. (1997). Developmental psychology and science Education. *Review of Educational Research*, 67, 141-150.
- KUHN D., AMSEL E. & O'LOUGHLIN M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. London: Academic Press.
- LEGAY J.-M. (1997). *L'expérience et le modèle : un discours sur la méthode*. Paris : INRA Éditions.
- LINN M.C. (1995). Designing computer learning environments for engineering and computer science: The scaffolded knowledge integration framework. *Journal of Science Education and Technology*, n° 4, p. 103-126.
- LINN M.C. (2003). Technology and science Education: starting points, research programs and trends. *International Journal of Science Education*, vol. 25, n° 6, p. 727-758.
- MARTINAND J.-L. (dir.) (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- MARTINAND J.-L. (dir.) (1994). *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris : INRP.
- METZ K. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, n° 65, p. 93-127.
- ORANGE C. (1997). *Problèmes et modélisation en biologie*. Paris : PUF.
- PARROCHIA D. (2000). L'expérience dans les sciences : modèles et simulation. In Y. Michaud (dir.). *Qu'est-ce que la vie ?* vol. I. Paris : Éd. Odile Jacob, p. 193-203.
- RIEBER L.P., BOYCE M. & ASSAD C. (1990). The effects of computer animation on adult learning and retrieval tasks. *Journal of Computer-Based Instruction*, n° 17, p. 46-52.
- RIVERS R.H. & VOCKELL E. (1987). Computer simulations to stimulate scientific problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, n° 24, p. 403-415.

- RUFFMAN T., PERNER J., OLSON D. & DOHERTY M. (1993). Reflecting on scientific thinking: Children's understanding of the hypothesis-evidence relation. *Child Development*, n° 64, p. 1617-1736.
- SODIAN B., ZAITCHICK D. & CAREY S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child Development*, n° 62, p. 753-766.
- TIBERGHEN A. (1994). Modeling as a basis for analysing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, vol. 10, n° 4, p. 71-87.
- TREAGUST F., CHITTLEBOROUGH G. & MAMIALA T. (2002). Students understanding of the role of scientific models in learning. *International Journal of Science Education*, vol. 24, n° 4, p. 357-368.
- TYTLER R. & PETERSON S. (2004). From "Try-it and See" to strategic exploration: characterizing young children's scientific reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 41, n° 1, p. 94-118.
- VAN DRIEL J.H. & VERLOOP N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science Education. *International Journal of Science Education*, vol. 24, n° 12, p. 1255-1272.
- VARENNE F. (2006). *Les notions de métaphore et d'analogie dans les épistémologies des modèles et des simulations*. Paris : Éd. Pétra.
- VERGNAUD G. (2000). *Lev Vygotsky. Pédagogue et penseur de notre temps*. Paris : Hachette.
- VYGOTSKY L.S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.