

# Activités de conception et prototypage rapide en éducation technologique

Patrice Laisney

► **To cite this version:**

Patrice Laisney. Activités de conception et prototypage rapide en éducation technologique. Actualité et perspectives des recherches en didactique des sciences et des technologies, A paraître. hal-01903089

**HAL Id: hal-01903089**

**<https://hal-amu.archives-ouvertes.fr/hal-01903089>**

Submitted on 24 Oct 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Activités de conception et prototypage rapide en éducation technologique**

Laisney, Patrice  
EA 4671 ADEF, ESPE AMU – France

## **Introduction**

Depuis les premières prescriptions jusqu'aux programmes actuels des cycles 3 et 4 en éducation technologique, la conception recouvre l'ensemble des tâches permettant d'aboutir aux choix définitifs des solutions satisfaisant des exigences fonctionnelles et des performances attendues. Cette activité constitue une réponse à un Cahier Des Charges Fonctionnel (CDCF) et porte sur l'analyse et le choix définitif des solutions répondant aux fonctions. Une relation étroite est nécessaire entre conception, fabrication et utilisation afin de pouvoir intégrer très tôt les fonctions d'usages et les contraintes qui y sont associées. Dans cette perspective, l'étude des solutions est effectuée par les élèves au cours de tâches de conception concrétisées sous la forme de dessins d'avant-projet mettant en œuvre la plupart du temps des outils informatisés tels que des logiciels de CAO (Conception assistée par ordinateur) et de CFAO (Conception et fabrication assistée par ordinateur) pilotant des machines-outils. Enfin, l'évaluation des solutions doit permettre d'effectuer un choix selon les points de vue des coûts, de la faisabilité, des risques et de leur combinaison. Cette phase peut nécessiter un travail de prototypage.

## **Contexte de l'étude**

Les travaux réalisés dans le cadre d'une thèse (Laisney, 2012a, 2012b ; Laisney & Brandt-Pomares, 2014) ont permis l'étude de l'activité des élèves lorsqu'ils sont confrontés à des situations de résolution de problèmes de conception dans le cadre de l'enseignement de la

technologie au collège. Nous envisageons quelques éléments permettant de poursuivre ce travail de thèse. En particulier, dans cette étude nous proposons de valider nos résultats de thèse à travers une nouvelle situation et d'étudier le rôle des imprimantes 3D comme contrainte de réflexion dans la phase de conception.

## **Approche théorique de l'activité de conception**

L'acquisition des savoirs relève de la construction de sens au travers des situations proposées aux élèves. En éducation technologique, les élèves sont amenés à devoir réaliser des tâches prescrites par l'enseignant dans des environnements d'apprentissage censés leur permettre de construire une compréhension du monde à partir des objets, physiques ou conceptuels, qu'ils manipulent et sur lesquels ils réfléchissent. Cette approche repose sur la théorie de l'activité telle qu'elle a été élaborée à partir des travaux de la psychologie soviétique par Galperine (1966) et Leontiev (1976). En mettant à l'étude l'articulation entre la tâche et l'activité, il est possible de comprendre cette construction. De nombreux travaux (Collis & Margaryan, 2004 ; Engeström & Sannino, 2010 ; Ginestié & Tricot, 2013 ; Jonassen, 2002) montrent tout l'intérêt de ce paradigme pour penser les situations d'enseignement dans les domaines scientifiques et technologiques.

### **Modélisation de l'activité de conception créative**

À défaut d'un « modèle opérationnel » permettant de comprendre l'activité d'un élève de collège en situation de résolution de problèmes de conception, nous avons proposé dans notre travail de thèse une modélisation (Figure 1) qui prend en compte le modèle théorique de la conception créative de Lebahar (1983) ainsi que les travaux de Rabardel et Weill-Fassina (1992) sur les systèmes graphiques. Alors que le modèle de Lebahar a été créé à partir de l'analyse de l'activité des designers et des architectes, nous l'utilisons dans cette étude au collège dans une perspective d'enseignement apprentissage en y intégrant les outils de représentations traditionnels et informatiques. Cette « adaptation » a pour objectif l'élaboration d'une modélisation qui nous permet d'avoir une meilleure compréhension du processus de conception dans le contexte de la technologie au collège. Tester, valider et faire évoluer ce nouveau modèle pourraient être un prolongement à cette étude.

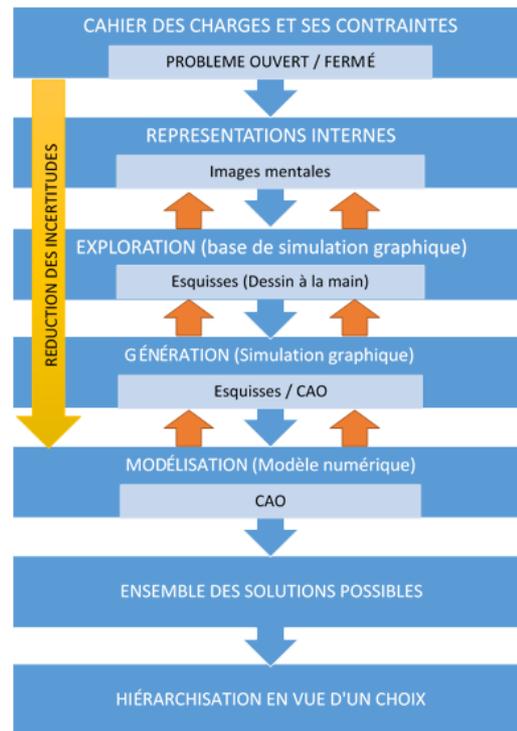


Figure 1. Modélisation de la conception créative (Laisney, 2012b)

Ce modèle fait apparaître les phases d'un processus de conception créative depuis la prise en compte du cahier des charges et de ses contraintes (dans le sens des flèches bleues, figure 1) jusqu'à la hiérarchisation des solutions en vue d'un choix. Ce processus est itératif, il intègre de possibles allers-retours (selon les flèches orange, figure 1) dans les premières phases d'exploration, de génération et de modélisation.

### Le rôle des intermédiaires graphiques

L'apport des travaux de Rabardel et Weill-Fassina (1992) sur la mise en œuvre de systèmes graphiques, nous permet d'envisager l'analyse des intermédiaires graphiques qui interviennent dans chacune des phases du modèle de la conception créative selon un triple point de vue fonctionnel, sémiologique et cognitif. Les intermédiaires graphiques constituent des objets sémiotiques intégrés à des tâches complexes ayant un caractère fonctionnel par rapport au travail à accomplir. Par exemple, pour chacune des fonctions du CDCF, la forme, les dimensions, la matière, la structure ou le fonctionnement sont autant d'aspects que le concepteur aura à prendre en charge dans son action. Ainsi, le dessin est un outil que le sujet instrumente pour résoudre des problèmes de conception. La conception est alors considérée comme un processus créatif d'objet par élaboration progressive et intriquée d'une représentation mentale et de la figuration de cet objet par le sujet.

## **De nouvelles perspectives de recherche**

### **Quels rôle et influence des imprimantes 3D ?**

Comme nous l'avons vu précédemment, concevoir un objet relève de processus complexes qui consistent à prévoir une matérialité pour un objet qui n'existe pas encore et n'existe que dans l'esprit de ceux qui le conçoivent (Lebahar, 2008). Ainsi, le mode d'existence des objets techniques repose en grande partie sur la capacité de l'homme à organiser son activité en l'orientant vers une fin. Le concepteur devra finaliser son action dans la production d'un objet (Lebahar, 2009 ; Vérillon & Andreucci, 2006). Le processus de conception est assimilé à une stratégie de résolution de problèmes ouverts vers plusieurs solutions où les interactions entre fonctionnement-fonction-structure-forme-matière, les coûts et les normes supposent des niveaux de description et d'intégration des contraintes (Andreucci & Chatoney, 2009). Selon Visser (2004, 2009), les représentations occupent une place centrale dans l'activité du concepteur. Pour ce même auteur, la construction de représentations se traduit par trois types d'activité : la génération, la transformation et l'évaluation des représentations de l'artefact. Visser (2004, 2009) y associe également le raisonnement analogique, l'inférence, la déduction, l'induction... comme jouant un rôle important dans chacune de ces activités. Cette approche « *qui met l'accent sur les aspects constructifs de l'activité et sur l'importance des différentes formes de représentations* » permet « *de rendre mieux compte de la richesse des activités et structures cognitives mises en œuvre en conception* » (Visser, 2004, p. 73). Ces représentations peuvent être internes, telles que des images mentales, mais aussi externes (Gibson, 1979 ; Huot, 2005 ; Bonnardel, 2006 ; Lebahar, 2007 ; Safin, 2011) et utiliser différents systèmes sémiotiques : modalités verbales, gestuelles ou graphiques sous forme de dessins, mais aussi de maquettes ou de prototype réalisé avec des moyens de production (CFAO).

### **Problématique et hypothèses de recherche**

Nous proposons à présent d'étudier le rôle que jouent les imprimantes 3D dans le processus de conception-fabrication des objets techniques en envisageant l'étude des possibilités offertes par le prototypage rapide. Sachant que les imprimantes 3D permettent de fabriquer des objets, la question que nous posons dans cette étude est de déterminer si elles peuvent être envisagées comme moyen de conception par les élèves. Permettent-elles aux élèves de

mettre à l'épreuve leurs idées, contribuant ainsi à leurs recherches pour élaborer une ou plusieurs solutions au problème ?

Contrairement aux machines-outils à commande numérique (MOCN) utilisées habituellement dans les laboratoires de technologie au collège, qui procèdent par enlèvement de matière, les imprimantes 3D permettent d'obtenir des objets complexes par ajout de matière. Les contraintes d'obtention de forme comme les « contres dépouilles »<sup>1</sup> et la prise en compte du rayon de l'outil n'existent plus dans ce cas et les élèves, « libérés » de celles-ci, ont une plus grande latitude dans leur recherche de solution. Nous l'avons vu précédemment, notre travail de thèse a permis d'identifier les difficultés que rencontraient les élèves pour prendre en compte et anticiper les contraintes liées aux procédés de fabrication. De plus, pour une même pièce, les temps d'usinage avec une MOCN peuvent être supérieurs au temps de réalisation avec une imprimante 3D. Notamment, il n'est plus nécessaire d'utiliser des montages d'usinage et l'impression de la pièce se fait en une seule phase. Ces nouvelles possibilités offertes par le prototypage rapide à l'aide d'imprimante 3D nous amènent à formuler les hypothèses suivantes : les imprimantes 3D...

- permettent de passer rapidement du virtuel (représentation numérique 3D) au réel (objet matériel fabriqué) ce qui favorise la phase de modélisation et l'intégration des contraintes du cahier des charges,
- contribuent à une recherche de solutions plus larges et plus variées.

## **Méthodologie de l'étude**

### **Choix méthodologiques pour analyser l'activité**

L'enjeu méthodologique de cette recherche relève de l'analyse de l'activité des élèves confrontés à des situations de conception. Nous privilégions l'articulation tâche-activité (Ginestié, 2008 ; Leplat & Hoc, 1983) comme analyseur des situations didactiques :

L'analyse de la tâche (celle que l'élève doit réaliser) permet de préciser et de caractériser ce qui est prescrit aux élèves. Pour cela, il est nécessaire d'analyser les consignes et les moyens donnés aux élèves pour aboutir au résultat attendu qui constitue l'objectif de la tâche.

---

<sup>1</sup> Inclinaison des faces verticales d'une pièce inverse de la dépouille rendant impossible le passage d'un outil.

L'activité, relève de l'étude de la mise en œuvre de la tâche par le sujet. L'analyse de l'activité rend compte de la distance entre la tâche prescrite et la tâche effectivement réalisée. En ce sens, elle permet d'interroger l'efficacité des organisations proposées en distinguant ce qui relève des effets immédiats (qui n'ont pas spécifiquement de caractère permanent) des effets à long terme (évolution durable d'une représentation, franchissement d'obstacle, etc.).

L'analyse de l'activité attendue permet de préciser ce qui est en jeu pour la réalisation de la tâche, les savoirs que les élèves doivent mettre en œuvre pour réaliser la tâche prescrite. Selon la situation proposée, nous étudierons les connaissances nécessaires à la résolution des sous-problèmes dans les champs de compétences qui ont trait, à la conception mécanique, à la communication graphique, au travail en groupe et à l'utilisation de l'ordinateur comme outil.

Notre analyse porte sur les traces de l'activité des élèves dans ce qu'elles représentent en termes de résultat de la réalisation d'une tâche. L'activité est entendue comme une suite d'actions circonscrites à la réalisation d'une tâche. En conséquence, notre méthodologie relève de méthodes cliniques et de méthodes qui vont de pair avec l'objet à observer. Les sujets utilisent des outils qui leur permettent de transformer leur milieu et par là même de développer leur activité.

Pour mettre à l'épreuve nos hypothèses, nous expérimentons une séquence d'enseignement dans laquelle les élèves devront résoudre un problème de conception en ayant recours à une imprimante 3D. Il s'agira d'analyser l'activité de conception des élèves et d'enrichir notre modèle de la conception créative en introduisant le prototypage rapide à l'aide d'une imprimante 3D.

### **Analyse de la tâche de conception**

Nous proposons de tester une ingénierie didactique (Musial, Pradère, & Tricot, 2012), communicable et reproductible. Les élèves sont amenés à concevoir et fabriquer une protection (coque) pour téléphone mobile à l'aide d'une imprimante 3D. À partir d'un modèle de téléphone préalablement choisi par le professeur et ses élèves, il s'agit de concevoir et de réaliser une protection qui puisse s'adapter à celui-ci.

Le cahier des charges initial communiqué aux élèves pourra évoluer au cours du processus de conception. Les élèves pourront proposer notamment des fonctions de service complémentaires. Ils disposeront des outils traditionnels de dessin (papier/crayon), d'un

logiciel de CAO ou modéleur 3D couramment utilisé en technologie au collège (SolidWorks ou Google SketchUp) et d'une imprimante 3D.

La planification des séances a été élaborée à partir de notre modélisation de la conception créative. Chaque séance permet d'envisager les allers-retours possibles entre chacune des phases permettant l'élaboration des solutions au problème dans un processus itératif (Figure 1) :

- La séance 1 correspond à la phase d'exploration : Il s'agit pour les élèves de prendre connaissance collectivement du cahier des charges initial qui constitue la commande et de procéder individuellement à la recherche de solutions en ayant recours aux outils de dessin traditionnels (esquisses réalisées « à la main »).
- La séance 2 correspond à la phase de génération : Après une revue de projet collective des esquisses réalisées, les élèves peuvent revenir sur la définition du cahier des charges initial, le faire évoluer et l'enrichir. Ils poursuivent ensuite individuellement leur recherche de solutions à l'aide des outils de dessin traditionnels et du logiciel de CAO.
- La séance 3 correspond à la phase de modélisation : Les élèves réalisent le modèle numérique précis de leurs solutions à l'aide du logiciel de CAO et les présentent en vue d'un choix.
- La séance 4 : Les élèves finalisent leur modèle numérique et l'impriment. Une reconception éventuelle s'en suit pour arriver au choix définitif.

Ainsi posé, il s'agit d'un problème ouvert sur plusieurs solutions possibles que les élèves pourront explorer. Dans ce cas, les élèves sont confrontés aux choix de la forme, des dimensions et de la structure. Pour cela ils devront mobiliser des connaissances relatives aux caractéristiques physiques des matériaux et à leurs procédés de mise en forme ainsi que des capacités liées à l'usage des outils du dessin traditionnel et de CAO.

La tâche décrite précédemment va être à l'origine d'une activité déployée par les élèves. Ils devront pour surmonter leurs difficultés et réaliser les tâches, réfléchir, inventer et proposer des solutions à l'aide des ressources et des outils de représentation mis à leur disposition en tenant compte des contraintes telles qu'elles sont décrites dans le cahier des charges. Nous avons montré dans la première partie de ce travail qu'il n'existe pas *a priori* de formalisation qui puisse rendre compte de façon unique, sous la forme d'une procédure, de la manière d'élaborer une solution à ce type de problème de conception. Pour autant, notre modélisation de la conception créative (Figure 1) nous donne les principales phases d'un processus itératif et nous permet de cibler les moments privilégiés du processus de conception que sont

l'exploration, la génération et la modélisation des solutions possibles au travers de la production d'intermédiaires graphiques. Complétée par des moyens de fabrication rapide, notre modélisation devrait nous permettre de voir quand et comment les élèves ont recours aux imprimantes 3D.

## Recueil et analyse des données

La situation d'enseignement est proposée à des professeurs de technologie au collège volontaires qui utilisent des imprimantes 3D avec leurs élèves. Cette expérimentation, concernant 10 classes de troisième soit plus de 270 élèves répartis sur 5 collèges, a eu lieu au cours de l'année scolaire 2015-2016. Comme nous l'avons vu précédemment, cette tâche de conception relève d'un problème « ouvert », c'est-à-dire qu'il s'agit d'un problème présentant des solutions variées. Pour étudier la variété présente dans les productions des élèves, particulièrement lorsqu'ils sont confrontés à un problème ouvert, nous distinguons trois champs notionnels définis par Rabardel et Vérillon (1987) et Rabardel (1989) : la géométrie, la technologie et le code. La géométrie permet de penser les formes des objets représentés, la technologie permet de penser les caractéristiques de la matière, les mouvements relatifs des pièces constituant, leur structure et les fonctions des formes. Et enfin le code, qui s'articule avec les deux précédents champs notionnels en associant les deux plans des signifiants et des signifiés.

Fonction du CDCF	Champs notionnels	Critères de choix des solutions		
		Forme	Structure	Matériaux
Protéger le smartphone des chocs dus à une utilisation normale	Géométrie			Épaisseur maxi
	Technologie	Zones sensibles du smartphone à protéger Absorption des chocs Solidaire du smartphone	Absorption des chocs Nombre de pièces Mobilité des pièces	Propriétés mécanique Absorption des chocs (ABS)
	Code	Représentation graphique 2D/3D		Texture
S'adapter au smartphone sans l'endommager	Géométrie	Respect des dimensions du smartphone		
	Technologie	Se mettre en place et se retirer facilement du smartphone	Nombre de pièces Mobilité des pièces	Propriétés mécanique (flexibilité, rugosité)
	Code	Représentation graphique 2D/3D	Représentation graphique 2D/3D	Texture
Autres fonctions...	...	...	...	...

Tableau 1. Indicateurs d'analyse des solutions

Dans cette optique, l'ensemble des traces écrites (esquisses, schémas...), numériques (représentation 3D) et des prototypes fabriqués à l'aide de l'imprimante 3D ont été relevés et analysés. Le tableau 1 donne pour exemple les indicateurs pris en compte pour l'analyse des solutions au regard des champs notionnels relatifs à deux fonctions CDCF. Chaque fonction a fait l'objet d'une analyse au regard des champs notionnels.

L'analyse de ces traces de l'activité (Tableau 2) des élèves permettra de vérifier nos hypothèses. Le « passage rapide » du modèle numérique 3D à l'objet matériel fabriqué favorise-t-il la phase de modélisation et l'intégration des contraintes du cahier des charges ? L'usage de l'imprimante 3D (et des logiciels associés) contribue-t-il à une recherche de solution plus large et plus variée ?

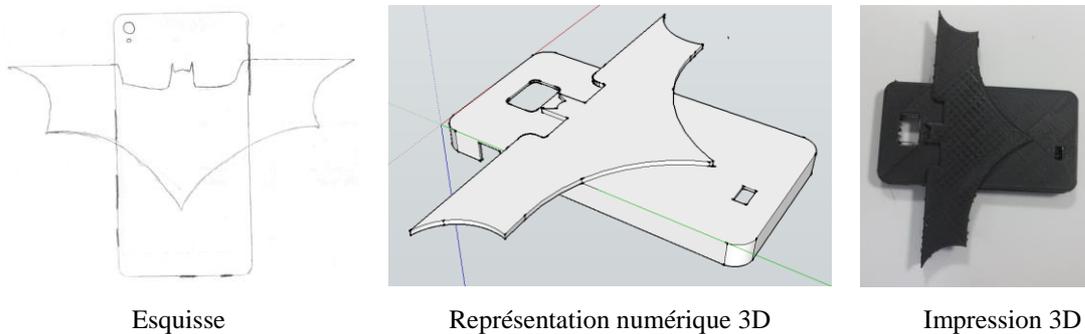


Tableau 2. Exemples de traces

## Principaux résultats

Quantitativement (tableau 3), on constate que le nombre de solutions modélisées par les élèves est inférieur au nombre de solutions esquissées. Ce premier résultat vient corroborer nos précédentes études (Laisney, 2012a, 2012b ; Laisney & Brandt-Pomares, 2014). De la même manière, le nombre de solutions imprimées est inférieur au nombre de solutions modélisées. Cela s'explique par le fait qu'ils ont dû faire des choix en équipe suite à des revues de projet lors des séances 2 et 3, conformément au dispositif prévu. Ils ont donc été amenés à éliminer certaines solutions. Mais la plupart du temps ce choix ne s'est pas fait uniquement sur des critères de pertinence au regard du cahier des charges mais en fonction de la complexité ou non des formes esquissées qu'ils devaient modéliser. Lors de la séance 4, les élèves impriment les solutions choisies et seul un enseignant (collège C) a mis les élèves en situation de reconception pour modifier leurs modèles numériques et procéder à une nouvelle et dernière impression.

Collèges	Solutions esquissées	Solutions modélisées	Solutions Imprimées	Solutions reconçues
A (2 classes, 54 élèves)	52	22	8	0
B (2 classes, 52 élèves)	48	30	10	0
C (2 classes, 50 élèves)	47	17	11	2
D (2 classes, 58 élèves)	52	25	12	0
E (2 classes, 56 élèves)	51	26	10	0
Totaux	250	120	51	2

Tableau 3. Solutions élaborées par les élèves

En termes de « forme » (tableau 4), il n'existe pas de différence significative au niveau de la technologie mais on note de fortes différences au niveau de la géométrie et du code que l'on attribue aux spécificités des outils utilisés, par exemple, la faible proportion d'esquisses cotées (6 %) alors que la réalisation des modèles numériques 3D suppose de fait un dimensionnement.

Forme	Esquisses (n = 250)	Modèles 3D (n = 120)
Géométrie		
Absence de cotation	57 %	0 %
Cotation partielle	37 %	0 %
Cotation complète	6 %	100 %
Respect des dimensions du smartphone	85 %	78 %
Respect des dimensions de l'imprimante 3D	90 %	78 %
Technologie		
Protection de l'ensemble du smartphone	88 %	96 %
Protection des zones sensibles	12 %	4 %
Optimisation du volume	11 %	7 %
« Innovation »	21 %	11 %
Code		
2D	46 %	0 %
3D	54 %	100 %
Informations textuelles	36 %	0 %

Tableau 4. Résultats en termes de « forme »

En termes de « structure », (tableau 5), il existe des différences significatives entre les solutions esquissées et les solutions modélisées, tant au niveau de la géométrie que de la

technologie. L'empan des solutions élaborées par les élèves est plus grand, explorant ainsi plus largement l'espace du problème posé. À l'aide du modèleur 3D, les solutions se concentrent exclusivement sur une pièce unique avec une structure d'« enveloppe ». Ces résultats viennent confirmer ceux de notre travail de thèse. Il existe une plus grande variabilité de solutions lorsque les élèves utilisent les outils de dessin « traditionnel » (esquisses à la main) par rapport à l'usage du modèleur 3D.

Structure	Esquisses (n = 250)	Modèles 3D (n = 120)
Géométrie		
« Pochette »	12 %	0 %
« Enveloppe »	76 %	100 %
« Squelette »	8 %	0 %
« Clapet »	4 %	0 %
Technologie		
1 pièce	94 %	78 %
2 pièces	5 %	0 %
3 pièces	1 %	0 %
Mobilités des pièces	4 %	0 %
Absorption des chocs	4 %	4 %
Fonctions complémentaires	24 %	11 %
Code		
2D	46 %	0 %
3D	54 %	100 %
Informations textuelles	26 %	0 %

Tableau 5. Résultats en termes de « structure »

## Conclusion et discussion

Premièrement, cette étude confirme nos résultats obtenus dans le cadre de nos précédentes études. En termes de forme et de structure, on observe plus de variabilité des solutions élaborées dans la phase d'exploration à l'aide d'esquisses et moins de variabilité des solutions modélisées. Le recours aux esquisses (dessin à la main) offre plus de liberté dans la phase d'exploration (moins de contrainte de forme). Cela peut représenter un avantage pour permettre aux élèves d'explorer plus facilement l'ensemble des solutions possibles au problème posé. Par contre se posent toujours les difficultés rencontrées par les élèves dans la phase de modélisation car ils sont confrontés à une double tâche, d'une part utiliser un

logiciel complexe qu'ils ne maîtrisent pas et d'autre part résoudre le problème de conception. On constate que de nombreuses solutions élaborées sur support papier sont abandonnées lors de la phase de modélisation. Deuxièmement, on note peu ou pas de reconception suite à l'impression. Les allers-retours que sont censés permettre les imprimantes 3D ne sont que très peu mobilisés par les élèves contraints par les enseignants qui ne favorisent pas cette pratique coûteuse en termes d'organisation. Dans la situation observée, l'impact des imprimantes 3D sur le processus de conception reste faible.

Des prolongements à cette étude peuvent être envisagés. D'une part, cette étude centrée sur l'élève devra être complétée par une analyse de l'activité de l'enseignant pour préciser son rôle dans la conduite de l'action des élèves. Et d'autre part, en recentrant sur l'étude de quelques cas les plus significatifs d'une reconception, nous pourrions analyser de façon plus qualitative le processus de conception de l'élève lorsqu'il a recours à l'imprimante 3D pour évaluer les solutions qu'il propose.

## Bibliographie

- Andreucci, C., & Chatoney, M. (2009). Enseigner la technologie pour réinventer la roue à l'école primaire. In P. Charland, F. Fournier, M. Riopie, & P. Potvin (Eds.), *Apprendre et enseigner la technologie : Regards multiples* (pp. 61-72). Québec: Éditions multimondes.
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques*. Marseille: Solal.
- Collis, B., & Margaryan, A. (2004). Applying Activity Theory to Computer-Supported Collaborative Learning and Work-Based Activities in Corporate Settings. *Educational Technology Research and Development*, 51(4), 38-52.
- Engeström, Y., & Sannino, A. (2010). Studies of expansive learning: Foundations, findings and future challenges. *Educational Research Review*, 5, 1-24. doi: 10.1016/j.edurev.2009.12.002
- Galperine, P. (1966). *Essai sur la formation par étapes des actions et des concepts, Recherches psychologiques en URSS*. Moscou: Édition du Progrès.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Ginestié, J. (2008). From task to activity, a re-distribution of the roles between the teacher and the pupils. In J. Ginestié (Ed.), *The cultural transmission of artefacts, skills and knowledge: Eleven studies in technology education* (pp. 225-256). Rotterdam: Sense Publishers.
- Ginestié, J., & Tricot, A. (2013). Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologique. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 8, 9-22.
- Huot, S. (2005). *Une nouvelle approche pour la conception créative : De l'interprétation du dessin à main levée au prototypage d'interactions non-standard*. (Doctorat), Université de Nantes, Nantes.
- Jonassen, D. H. (2002). Learning as Activity. *Educational Technology*, 42(2), 45-51.

- Laisney, P. (2012a). Intermédiaires graphiques et CAO en technologie au collège. *Skholê*, 17, 173-182.
- Laisney, P. (2012b). *Intermédiaires graphiques et Conception Assistée par Ordinateur - Étude des processus d'enseignement-apprentissage à l'œuvre en technologie au collège*. Université de Provence, Marseille. Retrieved from [http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=u6u9sch81mlmn3eea89shtcnd2&view\\_this\\_doc=tel-00955099&version=1](http://tel.archives-ouvertes.fr/index.php?halsid=u6u9sch81mlmn3eea89shtcnd2&view_this_doc=tel-00955099&version=1)
- Laisney, P., & Brandt-Pomares, P. (2014). Role of graphics tools in the learning design process. *International Journal of Technology and Design Education*, 25(1), 109-119. doi: 10.1007/s10798-014-9267-y
- Lebahar, J.-C. (1983). *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*. Roquevaire: Éditions Parenthèses.
- Lebahar, J.-C. (2007). *La conception en design industriel et en architecture. Désir, pertinence, coopération et cognition*. Paris: Hermès-Lavoisier.
- Lebahar, J.-C. (Ed.). (2008). *L'enseignement du design industriel : entre art et technologie*. Paris: Hermès-Lavoisier.
- Lebahar, J.-C. (2009). Les deux systèmes d'existence de l'artefact : objet et système. In J. Baillé (Ed.), *Du mot au concept « objet »* (pp. 9-27). Grenoble: Presses universitaires de Grenoble.
- Leontiev, A. N. (1976). *Le Développement du psychisme : problèmes*. Paris: Éd.sociales.
- Leplat, J., & Hoc, J. M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahier de psychologie cognitive*.
- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). *Comment concevoir un enseignement ?* Bruxelles.
- Rabardel, P. (1989). Recherche en psychologie et en didactique : un exemple d'interaction dans l'enseignement du dessin technique. *Revue française de pédagogie*, n°89, 55-62.
- Rabardel, P., & Vérillon, P. (1987). Approches fonctionnelles du dessin technique : réflexions pour un cadre d'analyse. In P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Eds.), *Le dessin technique* (pp. 209-217). Paris: Hermès.
- Rabardel, P., & Weill-Fassina, A. (1992). Fonctionnalités et compétences dans la mise en oeuvre de systèmes graphiques techniques. *intellectica*, n°15.
- Safin, S. (2011). *Processus d'externalisation graphique dans les activités cognitives complexes : le cas de l'esquisse numérique en conception architecturale individuelle et collective*. (PhD Thesis), University of Liège, Belgium.
- Vérillon, P., & Andreucci, C. (2006). Artefacts and cognitive development: how do psychogenetic theories of intelligence help in understanding the influence of technical environments on the development of thought? In M. De Vries & E. Mottier (Eds.), *International Handbook of Technology Education: The State of the Art* (pp. 399-416). Rotterdam: Sense Publishers.
- Visser, W. (2004). *Dynamic Aspects of Design Cognition: Elements for a Cognitive Model of Design*: Rapport INRIA n°5144.
- Visser, W. (2009). Design: from problem solving to the construction of representations. *Travail Humain*, 72(1), 61-78.