



HAL
open science

Analyse de l'activité d'élèves dans une tâche de conception d'objet en éducation technologique

Patrice Laisney, Jean-François Hérold

► To cite this version:

Patrice Laisney, Jean-François Hérold. Analyse de l'activité d'élèves dans une tâche de conception d'objet en éducation technologique. La conception d'un artefact : approches ergonomiques et didactiques, HEP Vaud, Oct 2016, Lausanne, Suisse. hal-01438787

HAL Id: hal-01438787

<https://amu.hal.science/hal-01438787v1>

Submitted on 20 Jan 2017

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.

Analyse de l'activité des élèves dans une tâche de conception d'objet en éducation technologique

Laisney Patrice

Jean-François Hérold

Introduction

Dans l'enseignement de la technologie au collège, la conception recouvre l'ensemble de tâches permettant d'aboutir aux choix définitifs des solutions satisfaisant des exigences fonctionnelles et des performances attendues. Cette activité constitue la plupart du temps une réponse à un Cahier Des Charges Fonctionnel (CDCF). Une relation étroite est nécessaire entre conception, fabrication et utilisation afin de pouvoir intégrer très tôt les techniques 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 mettant en œuvre des outils informatisés tels que des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). 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 que nous proposons d'analyser dans cette étude. Il s'agit de comprendre comment l'élève utilise les outils mis à sa disposition pour produire les différents états de représentation de l'objet à concevoir à l'aide d'une imprimante 3D.

Contexte de l'étude

Les travaux réalisés dans le cadre de la thèse (Laisney, 2012a, 2012b ; Laisney & Brandt-Pomares, 2014) ont permis l'étude de l'activité des élèves confrontés à des situations de résolution de problèmes de conception dans le cadre de l'enseignement de la technologie au collège. Les conclusions de ce travail montrent l'importance de penser l'introduction de ces outils pour faciliter le processus de recherche de solutions. Plus précisément il s'agit de considérer l'articulation entre la réalisation d'esquisse (dessin à la main) et l'usage des outils de CAO au cours de l'activité des élèves dans les premières phases de recherche. Nos résultats confirment notre hypothèse selon laquelle le dessin à la main favorise une recherche plus large de solutions. L'introduction dans un second temps, des outils de CAO, permet d'obtenir un modèle de l'objet qui s'enrichit grâce à l'assistance qu'ils offrent aux élèves. Cet aspect concernant la nécessaire diversité des réponses produites par les élèves est un élément central permettant d'organiser des confrontations entre eux. Ces confrontations les amènent à développer une argumentation au niveau des choix de conception qu'ils ont eu à opérer pour aboutir à leur(s) solution(s). C'est dans cette confrontation que les enjeux de savoir vont être mobilisés et seront à l'origine des apprentissages. Cependant, pour qu'il y ait confrontation, il faut créer les conditions pour que les élèves produisent suffisamment de solutions variées.

A partir de ces travaux, il s'agit à présent de regarder comment le processus créatif de conception d'objets, dans une activité d'élève en classe de Technologie au Collège, peut être favorisé par un système d'impression 3D ? Quels savoirs sont en jeu ? Quelles sont les conditions de l'efficacité du processus enseignement-apprentissage ?

Approche théorique de l'activité de conception

Concevoir c'est résoudre un problème

Concevoir un objet relève de processus complexes qui consistent à prévoir une matérialité à un objet qui n'existe pas encore et qui 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 à organiser l'activité humaine en l'orientant vers une fin, celle de produire un objet (Lebahar, 2009; Vérillon & Andreucci, 2006). Le processus de conception est assimilé à une stratégie de résolution de problèmes ouverts sur plusieurs solutions où les interactions entre fonctionnement-fonction-structure-forme-matière supposent des niveaux de description et d'intégration des contraintes (Andreucci & Chatoney, 2009; Chatoney, 2009). Résoudre un problème c'est tout d'abord élaborer, construire une interprétation de la situation-problème (représentation mentale) qui permet d'établir le but à atteindre et les moyens d'atteindre ce but. (Richard, 1990) Pour cela, l'élève doit disposer en mémoire des connaissances nécessaires. Ensuite, dès que l'élève réalise une action, il doit avoir les connaissances nécessaires pour interpréter le résultat de son action (régulation).

Si concevoir, c'est résoudre un problème (Tricot, 2007; Bonnardel, 2009) alors aider un élève à résoudre un problème de conception peut être :

- Décrire une procédure à suivre ;
- Donner une liste de contraintes à satisfaire ;
- Donner des conseils ;
- Proposer une assistance à l'évaluation de la solution.

Cette recherche choisie d'étudier le rôle du système d'impression 3D comme assistance à l'évaluation de la solution.

Le rôle des représentations dans le processus de conception

Selon Visser (2004), les représentations occupent une place centrale dans l'activité du concepteur. Ces représentations peuvent être internes, telles que des images mentales, mais aussi externes (Gibson, 1979 ; Huot, 2005 ; Lebahar, 2007 ; Safin, 2011) et utiliser différents systèmes sémiotiques : modalités verbales, gestuelles ou graphiques sous forme de dessins, de modèles mais aussi de maquettes ou de prototype réalisé avec des moyens de production. Nous proposons d'étudier le rôle que jouent les imprimantes 3D dans le processus de conception-fabrication des objets technique en envisageant l'étude des possibilités offertes par le prototypage rapide. Dans cette perspective, nous faisons l'hypothèse que l'imprimante 3D favorise le processus de recherche de solution en permettant des « allers-retours » (reconception) entre le modèle numérique et l'objet fabriqué.

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 trois étapes du modèle de Lebahar 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 la forme, les dimensions, la matière, la structure ou le fonctionnement sont autant d'aspects de l'objet utiles à l'action du concepteur. Cette action relève des différentes transformations opérées sur la matière (usinage, montage) ainsi que des opérations mentales de traitement des informations inhérentes au processus de résolution de problèmes de conception. Ainsi, le dessin est un outil, un instrument que le sujet utilise pour résoudre des problèmes de conception. La conception est ainsi 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.

Modèle général de l'activité de conception créative

Le modèle général de l'activité de conception emprunté à Lebahar (1983) fait apparaître trois grandes étapes permettant de décrire le processus de conception en architecture. Ce modèle général des aspects cognitifs de la conception, assimile cette activité à la « résolution de problèmes mal définis » (Simon, 1991) et se caractérise par la « conception créative ». Cette notion de créativité se développe au travers des mécanismes qu'elle met en jeu : l'exploration, la génération de solutions et l'évaluation. Mais surtout ce modèle tient compte d'un aspect essentiel dans l'activité de conception qui a trait au dessin sous toutes ses formes y compris par l'utilisation d'outils informatiques. Le dessin est à la fois support figuratif et un outil de la pensée. Plus précisément, le croquis est considéré comme partie intégrante des activités de conception créative. Il est défini comme l'outil prépondérant de la pensée. Le dessin est en effet vu par les spécialistes de la psychologie cognitive (Goël, 1995; Schön, 1983) comme une représentation de l'activité mentale, fixant les idées dans les premières phases de la conception. Mais plus que cela, ces représentations visuelles dessinées, qui prennent plusieurs formes suivant les phases de la conception, sont recombinaisons, modifiées et adaptées. Dans le modèle de Lebahar les intermédiaires graphiques apparaissent dans chacune des étapes :

- i) Le diagnostic architectural. Dans cette première phase l'architecte va cerner et définir le problème à résoudre au regard des contraintes. Il est alors en phase d'exploration et le résultat sera une première « base graphique de simulation », mélange de notes et de premiers dessins.
- ii) La recherche de l'objet par simulation graphique. Dès lors, le concepteur va entamer la génération des solutions et leur évaluation, dans un processus incrémental et itératif. C'est le dessin qui va être le vecteur privilégié de cette démarche. Il représente, comme le souligne Lebahar, « l'objet en création et la pensée qui le crée ».
- iii) L'établissement du modèle de construction. Dans cette phase le concepteur définit des représentations graphiques précises, destinées à rendre claire la solution pour les constructeurs. C'est la « décision définitive » concernant l'ensemble du projet (plans, dessins précis avec une échelle spécifiée, etc.).

Une modélisation de l'activité de conception « créative »

À défaut d'un « modèle opérationnel » permettant de comprendre l'activité d'un élève de collègue en situation de résolution de problèmes de conception, nous avons pris en référence le modèle théorique de la « conception créative » (Lebahar, 1983, 2007) créé à partir de l'analyse de l'activité des designers et des architectes. Nos résultats ont permis l'élaboration d'une nouvelle modélisation (Figure n°1) qui vient enrichir le modèle initial de la conception

créative, en éclairant la zone d'incertitude dans laquelle l'usage du dessin traditionnel « à la main » et des outils de CAO favorisent le processus de résolution de problèmes chez des élèves de collège.

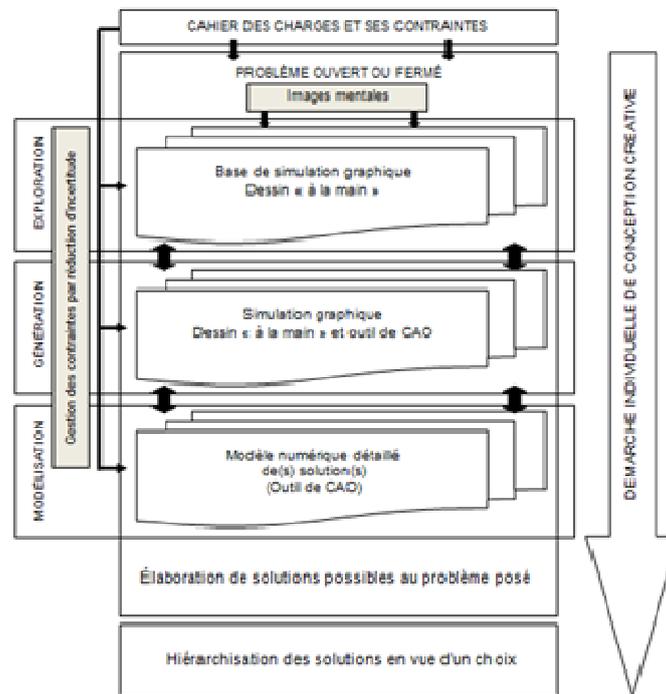


Figure n°1. Modélisation de la conception créative (Laisney, 2012b)

Cette modélisation prend en compte le type de problème posé et son adéquation avec les outils mis en œuvre (dessin à la main et CAO) et à leur articulation dans les différentes phases de la conception créative : exploration, génération et modélisation, du modèle de Lebahar.

La portée de cette recherche et de ses conclusions reste contingente des situations, des problèmes et des outils spécifiques. Nous considérons qu'elle permet d'envisager quelques éléments qui contribuent à la compréhension du processus d'enseignement-apprentissage de la conception en technologie au collège. Cette compréhension étant pour nous un préalable pour envisager la préconisation de situations « efficaces » du point de vue de l'enseignement et de l'apprentissage. Dans cette optique nous envisageons quelques éléments permettant de poursuivre ce travail de thèse. Nous proposons une nouvelle étude qui consiste à tester notre modèle en envisageant le rôle que peuvent jouer les imprimantes 3D dans ce processus.

Le procédé d'impression 3D

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 » 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 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 les temps

d'usinage avec une MOCN sont supérieurs au temps de réalisation avec une imprimante 3D. Plus généralement, les nouvelles possibilités offertes par le prototypage rapide à l'aide d'imprimante 3D ont été énoncées par Hod Lipson & Melba Kurman (2013) à travers les 10 règles de l'impression 3D. Formalisant ainsi toutes les « promesses » de ce nouveau procédé de fabrication d'objet :

- La complexité ne coûte rien ;
- La variété ne coûte rien ;
- Aucun assemblage n'est requis ;
- Aucun délai de fabrication ;
- Des possibilités de conception illimitées ;
- Aucune compétence nécessaire ;
- Une production compacte et portable ;
- Moins de gaspillage de matière ;
- Une gamme infinie de matériaux ;
- Une reproduction physique précise.

Problématique et hypothèses de recherche

Nous proposons d'étudier le rôle que jouent les imprimantes 3D dans le processus de conception-fabrication des objets technique en envisageant l'étude des possibilités offertes par le prototypage rapide. Cela nous amène à formuler les hypothèses suivantes :

L'imprimante 3D peut être envisagée comme un moyen

- de représentation participant au processus de conception créative ;
- favorisant une recherche de solutions variées ;
- permettant de générer des apprentissages tant au niveau instrumental (usage des outils) qu'au niveau du processus de conception lui-même.

Méthodologie d'analyse de l'activité de conception

Nous l'avons vu, concevoir est une activité complexe, il est difficile, voire impossible d'accéder à toute l'activité déployée par le sujet en train de concevoir un objet. Analyser l'activité de conception est un défi que nous proposons de relever dans cette étude.

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.

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, de méthodes qui vont de pair avec l'objet à observer, dans une perspective « historico-culturelle ». Les sujets utilisent des outils qui leur permettent de

transformer leur milieu et par-là même de développer leur activité. L'activité s'inscrit dans une histoire commune même si elle est individuelle.

Pour mettre à l'épreuve nos hypothèses, nous envisageons dans un premier temps de faire un état des lieux à propos de l'usage des imprimantes 3D fait par les professeurs de technologie au collège dans l'académie d'Aix-Marseille. Dans cette optique, une étude préalable auprès d'une centaine de professeurs a été réalisée. Dans un second temps 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'agit 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.

L'articulation entre tâche et activité

L'acquisition des savoirs relève de la construction de sens au travers des situations proposées aux élèves. Cette construction relève de l'articulation tâche-activité telle qu'elle a été étudiée dans la théorie de l'activité. De nombreux travaux (Collis & Margaryan, 2004; Engeström & Sannino, 2010; Ginestie & Tricot, 2013; Jonassen, 2002) montrent tout l'intérêt de ce paradigme pour penser les situations d'enseignement dans les domaines scientifiques et technologiques. En éducation technologique, les élèves sont confrontés à 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. En fait, cette construction consiste à donner un sens à ces objets et au monde qui les entoure. Ce sens est ancré dans une culture, d'après Vygotski (1997) et Leontiev (1972) notre relation à notre environnement est médiatisée par des activités. 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).

Mise en ò uvre du dispositif de recueil des données

Dans un premier temps, un état des lieux à propos de l'usage des imprimantes 3D fait par les professeurs de technologie au collège dans l'académie d'Aix-Marseille a été réalisé. L'analyse des réponses à un questionnaire auquel une centaine d'enseignants ont répondu nous a permis de constater l'intérêt que représentent ces nouveaux équipements pour l'enseignement de la technologie. Cette tendance mérite néanmoins d'être confirmée sur une population plus large. L'académie d'Aix-Marseille est actuellement dans une phase d'équipement des établissements scolaires et les usages, même s'ils sont encore peu observés compte tenu du taux d'équipement actuel, sont fortement liés à l'activité de conception des objets que nous envisageons de décrire pour comprendre son processus d'enseignement apprentissage.

Dans un second temps nous expérimentons une séquence d'enseignement dans laquelle les élèves devront résoudre un problème de conception en ayant recours à une imprimante 3D. Cette expérimentation actuellement en cours concerne 10 classes de 3^{ème} soit plus de 270 élèves. Les analyses de la tâche et de l'activité a priori des élèves nous permettent d'identifier les savoirs en jeu et de définir l'espace des solutions possibles au problème posé. Suite à l'expérimentation, l'analyse de l'activité déployée par les élèves au travers des traces relevées des différents états de représentation de l'objet à concevoir (esquisses, fichiers numériques et

pièces imprimées) permet de comprendre comment les élèves procèdent à la recherche de solutions. À partir des résultats de l'analyse de ces traces nous pourrions montrer le rôle de l'usage des imprimantes 3D par les élèves et enrichir éventuellement notre modélisation de la conception créative (Figure 1) en situant précisément l'introduction de ce nouvel outil, pour favoriser le processus créatif de conception d'objets par des élèves de collège. Pour atteindre cet objectif, cette étude, centrée sur l'élève devra être prolongée par une analyse de l'activité de l'enseignant pour préciser son rôle dans la conduite de l'action des élèves.

Analyse de la tâche de conception

Nous proposons de tester une ingénierie didactique (Musial, Pradère, & Tricot, 2012), communicable et reproductible, formalisée par la séquence d'enseignement. Il s'agit pour les élèves de concevoir et de 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'agira 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 en précisant notamment la nature des fonctions de service complémentaires proposées par les élèves.

Les élèves disposent des outils traditionnels de dessin (papier/crayon), d'un logiciel de CAO couramment utilisé en technologie au collège (SolidWorks ou Google SketchUp) et d'une imprimante 3D.

La planification des séances a été construite 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 :

- La séance 1 correspond à la phase de « 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 première revue 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 leurs recherches 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 les modèles numériques et les 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, de la structure et des matériaux utilisés. Pour cela ils devront mobiliser des connaissances relatives aux caractéristiques physiques des matériaux, à leurs procédés de mise en forme et des capacités liées à l'usage des outils du dessin traditionnel et de CAO. En partant d'un objet proche de leur environnement ce problème de conception devrait d'une part

susciter l'intérêt des élèves et d'autre part leur permettre d'élaborer des solutions nouvelles et innovantes.

Analyse de l'activité a priori des élèves

L'analyse de 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, qui permette 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. Il 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 nous serons en mesure de voir comment les élèves ont recours aux imprimantes 3D.

Mise en œuvre de l'enseignement

La situation d'enseignement est proposée à des professeurs de technologie au collège volontaires, issus de la population préalablement questionnée. Parmi les professeurs déjà équipés qui utilisent leur imprimante 3D avec leurs élèves, cinq ont donné leur accord pour expérimenter le dispositif. Cette expérimentation a eu lieu au cours de l'année scolaire 2015-2016.

Recueil et analyse des données

Comme nous l'avons vu, cette tâche de conception relève d'un problème « ouvert », c'est-à-dire qu'il s'agit d'un problème dont l'ensemble des solutions est varié. 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 constituantes, 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.

Dans cette optique, l'ensemble des traces écrites (esquisses, schémas), numériques (modèle 3D) et des prototypes fabriqués à l'aide de l'imprimante 3D seront relevés et analysés. L'analyse de ces traces de l'activité des élèves permettra de vérifier nos hypothèses. Est-ce que le « passage rapide » du modèle numérique 3D à l'objet matériel fabriqué favorise la phase de modélisation et l'intégration des contraintes du cahier des charges ? Est-ce que l'usage de l'imprimante 3D contribue à une recherche de solution plus large et plus variée ? L'objectif étant de reconstituer les étapes du processus de conception conduit par les élèves et d'identifier les moments d'élaboration des choix au regard des outils mis en œuvre (dessin traditionnel, CAO et impression 3D).

Conclusions

Les résultats de l'analyse des intermédiaires graphiques semblent montrer que les élèves ont plus de libertés pour élaborer leurs solutions. Nous constatons que le procédé d'impression 3D oppose moins de contraintes et ne nécessite pas autant de mobilisations de connaissances relatives à la fabrication et au choix des matériaux que les procédés traditionnels à l'aide de machines-outils.

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. De nombreuses solutions esquissées sont abandonnées lors de la phase de modélisation. Le choix des matériaux n'est pas discuté car il est de fait imposé par le procédé d'impression 3D.

Cela peut représenter un avantage pour permettre aux élèves d'explorer plus facilement l'ensemble des solutions possibles au problème posé. Plus de liberté dans la phase d'exploration (moins de contrainte de forme, matériaux)

Par contre se pose 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. Enfin les allers-retours que sont censés permettre les imprimantes 3D ne sont que très peu mobilisés par les élèves contraints par l'enseignant qui ne favorise pas cette pratique couteuse en termes d'organisation. Peu ou pas de reconception suite à l'impression

Des prolongements à cette étude peuvent être envisagés. D'une part, comme nous l'avons dit, cette étude, centrée sur l'élève devra être prolongée 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 se recentrant sur l'étude de quelques cas les plus significatifs d'une reconception, pour regarder de façon plus qualitative le processus de conception de l'élève ayant recours à l'imprimante 3D pour évaluer les solutions qu'il propose.

Références bibliographiques

- Andreucci, C., & Chatoney, M. (2009). Enseigner la technologie pour réinventer la roue à l'école primaire. In P. Charland, F. Fournier, M. Riopel, & P. Potvin (Eds.), *Apprendre et enseigner la technologie : Regards multiples* (pp. 61-72). Québec: Editions multimondes.
- Chatoney, M. (2009, 26-30 June). Make a plan, make choices and prove the quality of its job. Simple gestures for learning something else than technics. Paper presented at the CRIPT conference. Making the difference, Birmingham.
- 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.
- Ginestie, J., & Tricot, A. (2013). *Activité d'élèves, activité d'enseignants en éducation scientifique et technologique*. RDST, 8, 9-22.
- Goël, V. (1995). *Sketches of Thought*. Cambridge, MA, USA.
- 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
- Laisney, P., & Brandt-Pomares, P. (2014). Role of graphics tools in the learning design process. *International Journal of Technology and Design Education*. doi: 10.1007/s10798-014-9267-y
- Lebahar, J.-C. (1983). *Le dessin d'architecte : simulation graphique et réduction d'incertitude*. Roquevaire: Editions Parentheses.
- Lebahar, J.-C. (2007). *La conception en design industriel et en architecture. Désir, pertinence, coopération et cognition*. 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.
- Lebahar, J.-C. (Ed.). (2008). *L'enseignement du design industriel : entre art et technologie*. Paris: Hermès-Lavoisier.

- Leontiev, A. N. (1972). *Activité, conscience, personnalité* (2eme ed.). Moscou: Editions du Progrès.
- Leontiev, A. N. (1976). *Le Developpement du psychisme : problemes*. Paris: Ed.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-Fasina (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.
- Schön, D. A. (1983). *The reflexive practitioner : how professionals think in action*. New York: Basic Books.
- Simon, H. A. (1991). *Sciences des systèmes Sciences de l'artificiel* (Réédition de 1969 ed.). Paris: Dunod.
- Simondon, G. (1989). *Du mode d'existence des objets techniques* (Réédition ed.). Paris: Aubier.
- 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.
- Vygotski, L. S., & Piaget, J. (1997). *Pensee et langage* (3e edition, traduction revue. ed.). Paris: La Dispute : SNEDIT.

