

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

Patrice Laisney

Aix-Marseille Université, EA 4671 ADEF

patrice.laisney@univ-amu.fr

Jean-François Hérold

Aix-Marseille Université, EA 4671 ADEF

jean-francois.herold@univ-amu.fr

Introduction

Dans l'enseignement de la Technologie au Collège, la conception recouvre l'ensemble des tâches permettant d'aboutir aux choix définitifs des solutions satisfaisant aux exigences fonctionnelles et aux performances attendues. Cette activité constitue la plupart du temps une réponse à un Cahier Des Charges Fonctionnel (CDCF). 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) et de prototypage. 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.

Les premiers résultats de cette recherche en cours confirment l'hypothèse selon laquelle le dessin à la main favorise une exploration plus large des solutions possibles. 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 offerte par ces outils 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. Il s'agit alors de regarder comment le processus créatif de conception d'objets, dans une activité d'élèves en classe de Technologie au Collège, peut être favorisé, par exemple, à l'aide d'un système informatique d'impression 3D.

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, une « représentation mentale », qui permet d'établir le but, ou le sous-but, à atteindre et les moyens d'atteindre ce but, ou ce sous-but (Richard, 2005). Pour cela, l'élève doit disposer en mémoire des connaissances nécessaires pour construire cette représentation. Selon Visser (2004), si les représentations occupent une place centrale dans l'activité du sujet-concepteur, ces représentations peuvent être internes (on parle alors de « représentations 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 prototypes réalisés avec des moyens de production. Ensuite, dès que l'élève réalise une action, il doit pouvoir interpréter le résultat de son action afin de réguler son activité cognitive.

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

- de lui proposer et de décrire une procédure à suivre ;
- de donner une liste de contraintes à satisfaire ;
- de lui apporter des conseils ;
- de lui proposer une assistance à l'évaluation de la solution.

Parmi les assistances à l'évaluation de la solution possibles, le système informatique d'impression 3D peut, de notre point de vue, favoriser le processus de recherche de solution en permettant des « allers-retours » (processus de reconception) entre le modèle numérique et l'objet fabriqué (Hod Lipson & Melba Kurman, 2014). Le système informatique d'impression 3D doit alors jouer ce rôle d'assistance à l'évaluation d'une solution possible, solution toujours difficile à se représenter en début de processus de conception. Car, en effet, d'après Mayer (2008), cité par Hérold (2012), l'interprétation de la situation- problème, sa représentation, demeure l'une des principales difficultés pour les élèves dans leurs activités de résolution de problèmes.

Modèle général de l'activité de conception créative

Le modèle général de l'activité de conception, emprunté à Lebahar (1983), permet de décrire le processus de conception. Ce modèle général des aspects cognitifs de la conception, assimile cette activité à la « résolution de problèmes mal définis » (Simon, 1991). Dans une activité de conception, le sujet doit élaborer un objet à la fois novateur et adapté au contexte. Le sujet est alors amené, pour concevoir cet objet, à développer des idées, générer des solutions nouvelles et adaptées la situation. Pour Bonnardel (2006), il s'agit là d'une activité que l'on peut qualifier de « 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.

Le modèle de Lebahar tient compte d'un aspect essentiel dans l'activité de conception : le recours au dessin sous toutes ses formes, y compris par l'utilisation d'outils informatiques. Le dessin est à la fois un support figuratif et un outil de la pensée. Plus précisément, le croquis est considéré comme un outil contribuant à la construction de représentations mentales, partie

intégrante des activités de conception créative, fixant les idées dans les premières phases de la conception (Goël, 1995; Schön, 1983). Ces représentations visuelles dessinées, qui prennent plusieurs formes suivant les phases de la conception, sont recombinaées, modifiées et adaptées.

Dans le modèle de Lebahar (1983), les intermédiaires graphiques apparaissent dans chacune des trois grandes étapes du processus de conception :

- phase de d'exploration. Dans cette première phase, le sujet va cerner (élaboration d'un « diagnostic ») 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.
- phase de génération des solutions. Dès lors, le sujet va entamer une recherche de l'objet à concevoir par simulation graphique en évaluant les différentes solutions envisagées lors de la phase d'exploration, ceci dans un processus incrémental et itératif. C'est le dessin qui va être le vecteur privilégié de cette démarche. Comme le souligne Lebahar (2007), il représente l'objet en création et la pensée qui le crée.
- phase d'élaboration du modèle (« modélisation »). Dans cette phase, le sujet définit des représentations graphiques précises, destinées à rendre claire la solution pour la fabrication. C'est la « décision définitive » concernant l'ensemble du projet (plans, dessins précis avec une échelle spécifiée, etc.).

Comprendre l'activité de conception d'un élève de Collège

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 pris en référence le modèle théorique de la « conception créative » de Lebahar (1983, 2007). Des premiers résultats de recherche ont permis l'élaboration d'une nouvelle modélisation (Figure 1) qui vient enrichir le modèle initial de la conception créative de Lebahar, 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.

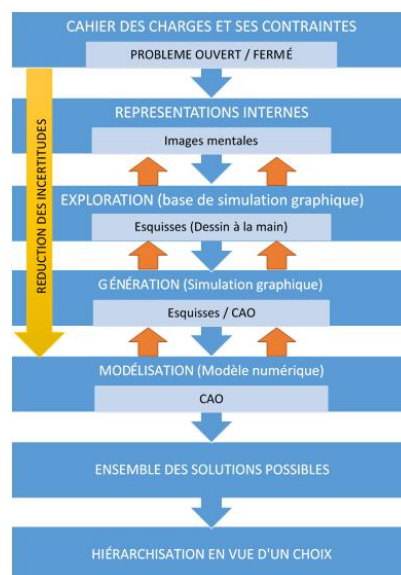


Figure n°1. Modélisation de la conception créative (Laisney, 2012b)

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 ces premiers résultats de 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 d'enseignement-apprentissage véritablement « efficaces » du point de vue de l'apprentissage des élèves dans le cas d'apprentissages complexes comme le processus de conception d'objets.

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. 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 (2014) 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.

De ce fait, l'imprimante 3D peut être envisagée comme un moyen de représentation participant au processus de conception créative, favorisant une recherche de solutions variées et permettant de générer des apprentissages tant au niveau instrumental (usage des outils) qu'au niveau du processus de conception lui-même.

Analyser l'activité de conception ?

Nous avons vu, concevoir un objet 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. 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, dans une approche cognitive de la conception créative chez des élèves en classe, visant à identifier les représentations mentales, les connaissances mobilisées et les processus cognitifs impliqués dans cette activité de conception créative. L'analyse porte alors sur les traces de l'activité des élèves dans ce qu'elles représentent en termes de résultats dans la réalisation d'une tâche, l'activité étant entendue comme une suite d'actions circonscrites à la réalisation de la tâche prescrite.

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; Ginestié & Tricot, 2013) 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 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. La réalisation de ces tâches, à travers l'activité de l'élève, va permettre à ce dernier de construire en mémoire les connaissances relatives aux savoirs enseignés et qui sont en jeu dans la situation d'enseignement-apprentissage. De ce fait, comprendre comment un élève apprend en classe, ou comprendre pourquoi il n'apprend pas, nécessite de comprendre l'activité de l'élève en classe : tout d'abord, par une analyse a priori de la tâche prescrite, et ensuite, par une analyse a priori de l'activité de l'élève pour réaliser cette tâche prescrite (Ginestié & Tricot, 2013) ; enfin, analyser, si possible, les représentations de la situation construites par l'élève en activité en classe, ainsi que les connaissances qu'il mobilise et les processus cognitifs activés (Bastien & Bastien-Toniazzo, 2004).

Dans ce travail de recherche en cours, une première étude, à caractère exploratoire, nous a permis de procéder à un état des lieux à propos de l'usage, en classe, des imprimantes 3D par les professeurs de Technologie au Collège dans l'académie d'Aix-Marseille (France). Cette étude exploratoire s'est faite en deux temps. Dans un premier temps, une enquête auprès d'une centaine de professeurs de Technologie a été réalisée. Dans un second temps, nous avons expérimenté une séquence d'enseignement dans laquelle les élèves devaient résoudre un problème de conception en ayant recours à une imprimante 3D. Une première analyse quantitative de l'activité de conception des élèves a alors été effectuée.

L'étude exploratoire : mise en œuvre du dispositif de recueil des données

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 (France) a été réalisé (enquête). 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 en imprimantes 3D, 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, activité que nous envisageons de déanalyser pour comprendre son processus d'enseignement-apprentissage.

Dans un second temps, nous avons expérimenté une séquence d'enseignement dans laquelle les élèves devaient résoudre un problème de conception en ayant recours à une imprimante 3D. Cette expérimentation concerne 2 classes de 3ème de Collège (élèves de 14-15 ans, grade 9) dans 5 établissements de l'académie d'Aix-Marseille, soit au total 10 classes (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 pouvons 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 ainsi que par une analyse conjointe de l'activité des élèves afin d'identifier les connaissances mobilisées et les processus activés.

Analyse de la tâche de conception

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.

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. 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 Sketch Up®) 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 ou « 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 ou « 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 leur recherche de solutions à l'aide des outils de dessin traditionnels et du logiciel de CAO.

- La séance 3 ou « phase de modélisation » : Les élèves réalisent chacun le modèle numérique précis de leurs solutions à l'aide du logiciel de CAO et les présentent à leur pairs en vue d'un choix.

- La séance 4 : Les élèves finalisent les modèles numériques. 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. Ils devront mobiliser des connaissances relatives aux caractéristiques physiques des matériaux, à leurs procédés de mise en forme et des connaissances procédurales liées à l'usage des outils du dessin traditionnel et de CAO. En partant d'un objet proche de leur environnement quotidien, ce problème de conception doit susciter l'intérêt des élèves et leur motivation (implication en engagement dans la tâche), leur permettre d'élaborer des solutions nouvelles et innovantes (créativité).

Analyse de l'activité a priori des élèves

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, sachant qu'il n'existe pas, a priori, de formalisation, sous la forme d'une procédure, qui puisse rendre compte de façon unique, 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. Ce modèle 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. Complété par des moyens de fabrication rapide, nous serons en mesure de voir comment les élèves ont recours aux imprimantes 3D.

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 constitutives, 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. Le tableau 1 donne les indicateurs pris en compte pour l'analyse des solutions au regard des champs notionnels relatifs à deux fonctions

du CDC (pour exemple).

Fonction (CDC)	Champs notionnels	Forme	Structure	Matériaux
Protéger le smartphone des chocs dus à une utilisation normale	Géométrie			Epaisseur maxi
	Technologie	Zones sensibles du smartphone à protéger Absorption des chocs Solidaire du smartphone	Absorption des chocs Nombre de pièces Mobilité des pièces	Propriétés mécaniques 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 mécaniques (flexibilité, rugosité)
	Code	Représentation graphique 2D/3D	Représentation graphique 2D/3D	Texture

Tableau 1. Indicateur d'analyse des solutions

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).

Principaux résultats

Le tableau 2 donne pour chaque collège, le nombre de solutions élaborées par les élèves selon les outils utilisés et les différentes phases du processus de conception depuis les premières esquisses jusqu'aux impressions 3D réalisées et aux éventuelles reconceptions.

Les tableaux 3, 4 et 5 présentent les résultats obtenus au travers de l'analyse des intermédiaires graphiques réalisés par les élèves au cours du processus de recherche de solution. Ils permettent de comparer les solutions élaborées à l'aide d'esquisses (séances 1 et 2) et du modèleur 3D (séances 2 et 3) correspondant aux phases d'exploration, de génération et de modélisation.

Impression 3D des solutions

On constate que le nombre de solutions modélisées par les élèves est inférieur au nombre de solutions esquissées. 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 du 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 fait pas 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 afin de modifier leurs modèles numériques pour procéder à une nouvelle et dernière impression.

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

Tableau 2. Solutions élaborées par les élèves

Elaboration des solutions

En termes de « forme » (tableau 3), 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, comme, par exemple, la faible proportion d'esquisses cotées (6 %) alors que la réalisation des modèles numériques 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 3. Résultats en termes de « forme »

En termes de « structure », (tableau 4), il existe des différences significatives entre les solutions esquissées et les solutions modélisées, tant au niveau de la géométrie que de la technologie. L'empain 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 de « enveloppe ». Ces résultats viennent confirmer les résultats de Laisney (2012b). Ainsi, on peut faire le constat d'une plus grande variabilité de solutions lorsque les élèves utilisent les outils de dessin « traditionnel » (esquisses à la main) que lorsque les élèves utilisent un 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 4. Résultats en termes de « structure »

En termes de « matériaux » (tableau 5), les différences observées relèvent là encore des spécificités des outils qui favorisent ou non la prise en compte et la définition des matériaux utilisés. Pour les esquisses, 95 % ne définissent pas la nature des matériaux, même si les solutions représentées ont recours à différentes pièces nécessitant des propriétés physiques ou mécaniques adaptées à leurs fonctions. Pour le modèleur, il est plus facile pour les élèves de représenter les matériaux à l'aide des outils « couleur » ou « texture ».

Matériaux	Esquisses (n = 250)	Modèles 3D (n = 120)
Géométrie		
Absence de définition	95 %	33 %
Matériaux définis	5 %	66 %
Technologie		
1 matériau	88 %	100 %
2 matériaux	12 %	0 %
Matériaux « innovants »	3 %	0 %
Code		
Absence	95 %	33 %
Couleur	2 %	44 %
Texture	3 %	23 %

Tableau 5. Résultats en termes « matériaux »

Synthèse

En termes de formes et de structures, 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. En effet, 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, qui impose 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. Cela peut représenter un avantage pour permettre aux élèves d'explorer plus facilement l'ensemble des solutions possibles au problème posé : les élèves semblent avoir plus de liberté dans la phase d'exploration (moins de contraintes liées aux formes et aux matériaux).

Par contre, se posent les difficultés rencontrées par les élèves dans la phase de modélisation. Ces difficultés déjà mentionnées dans nos précédentes études (Laisney, 2012a, 2012b ; Laisney & Brandt-Pomares, 2014) sont dues au fait qu'ils sont confrontés à une double tâche. D'une

part, utiliser un logiciel complexe qu'ils ne maîtrisent pas forcément, et d'autre part, résoudre le problème de conception. Enfin les allers-retours que sont censées permettre les imprimantes 3D ne sont que très peu mobilisés par les élèves contraints par l'enseignant qui ne favorise pas cette pratique coûteuse en terme d'organisation. En conséquence, il n'y a que très peu ou pas de reconception suite à l'impression 3D, ce qui ne favorise donc pas le processus de recherche de solution.

Afin de pouvoir fournir des éléments de remédiation possibles à ce manque de reconception, ceci en s'appuyant sur les possibilités offertes par le système informatisé d'impression 3D pour une assistance à l'évaluation de la solution proposée par l'élève, les prolongements à cette première étude exploratoire sont une analyse de l'activité de l'enseignant pour préciser la nature de la régulation de l'activité des élèves, en réponse à une analyse de l'activité des élèves en classe (identification des connaissances mobilisées, ou non, et des processus cognitifs activés, ou non).

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.
- Bastien, C., & Bastien-Toniazzo, M. (2004). **Apprendre à l'école**. Paris: Armand Colin.
- Bonnardel, N. (2006). **Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques**. Marseille: Solal.
- Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité : de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. **Le Travail Humain**, 72(1), 5-22.
- 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.
- Ginestier, J. (2008). From task to activity, a re-distribution of the roles between the teacher and the pupils. In J. Ginestier (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.
- GOËL, V. (1995). **Sketches of Thought**. Cambridge (MA) : MIT Press.
- HÉROLD, J.-F. (2012). Analyse cognitive de l'activité de l'élève pour une personnalisation d'un environnement numérique d'apprentissage. **STICEF**, 19, 285-307.
- LIPSON, H., KURMAN, M., & ROZENBAUM, M. (2014). **L'impression 3D: la prochaine révolution industrielle**. Paris : First interactive.
- 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.
- 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**. (Doctorat). Aix Marseille Université, Marseille.
- Retrieved from: <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00955099v1>
- 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 réductions 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.
- LEPLAT, J., & HOC, J. M. (1983). Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. **Cahiers de psychologie cognitive**, 3(1), 49-63.
- MAYER, R. (2008). **Learning and Instruction**. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall.

- Musial, M., Pradère, F., & Tricot, A. (2012). **Comment concevoir un enseignement ?** Bruxelles : De Boeck.
- Rabardel, P. (1989). Recherche en psychologie et en didactique : un exemple d'interaction dans l'enseignement du dessin technique. **Revue française de pédagogie**, **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 œuvre de systèmes graphiques techniques. **Intellectica**, **15**, 215-240.
- Richard (2005). **Les activités mentales en résolution de problèmes : comprendre, raisonner, trouver une solution**. Paris : Armand Colin.
- 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 (NY): Basic Books.
- Simon, H. A. (1991). **Sciences des systèmes Sciences de l'artificiel** (Réédition de 1969). Paris: Dunod.
- Tricot, A. (2007). **Apprentissages et documents numériques**. Paris: Belin.
- 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.