Les intermédiaires graphiques dans l'activité de CAO en technologie au collège

Patrice Laisney

▶ **To cite this version:**

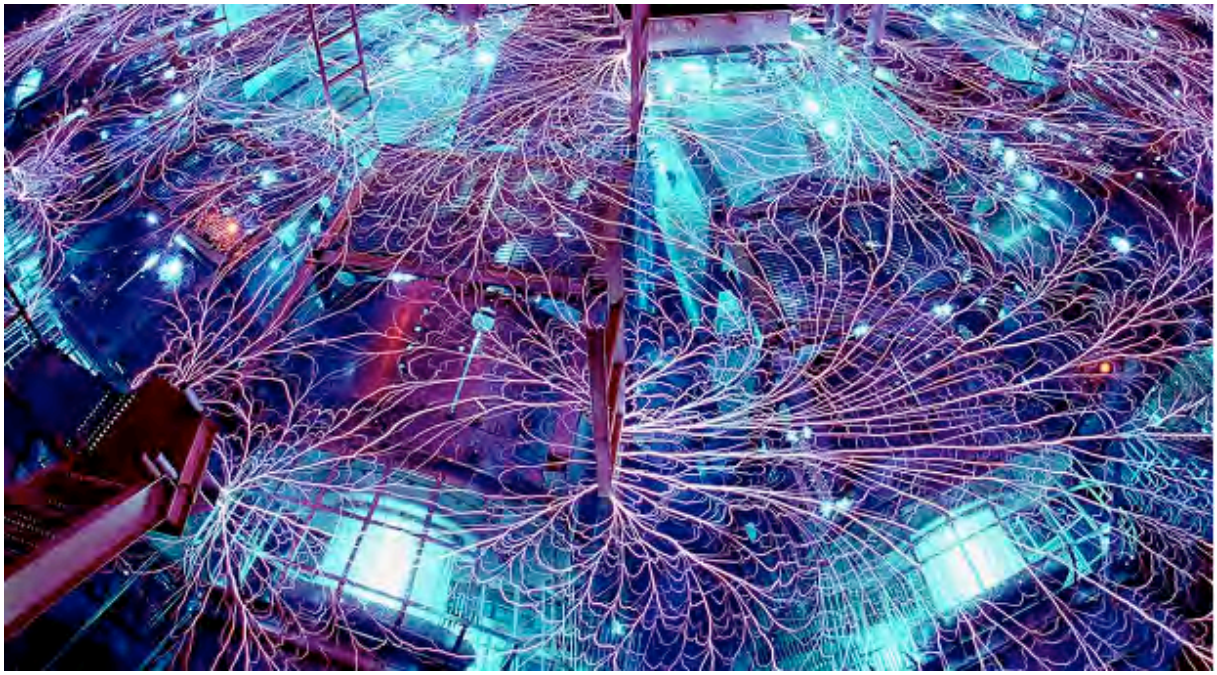
Patrice Laisney. Les intermédiaires graphiques dans l'activité de CAO en technologie au collège. 7e rencontres scientifiques de l'ARDiST, Mar 2012, Bordeaux, France. pp.231-239. hal-01438781

HAL Id: hal-01438781
https://amu.hal.science/hal-01438781

Submitted on 18 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.



ACTES

des 7e rencontres scientifiques de l'ARDiST

Bordeaux, les 14, 15 et 16 mars 2012

LACES EA4140

Les intermédiaires graphiques dans l'activité de CAO en technologie au collège

Patrice Laisney, Univ. de Provence, IUFM d'Aix-Marseille ; UMR P3 ADEF, Univ. de Provence, Ens de Lyon - Ifé, GESTEPRO ; p.laisney@aix-mrs.iufm.fr

Mots clés : Education Technologique – Résolution de problèmes – Conception Assistée par Ordinateur – Intermédiaires graphiques – Créativité

Résumé : Cette communication analyse l'activité de recherche de solutions dans le cadre de la conception en situation d'enseignement apprentissage. En quoi les intermédiaires graphiques modifieraient-ils et dans quel sens les performances d'élèves de 5ème en technologie au collège ?
En analysant des productions d'élèves à travers un dispositif expérimental nous nous demanderons si les élèves produisent plus de solutions sans utiliser les outils de CAO. L'activité de CAO favorise-elle la modélisation d'une solution en particulier ? Le dessin à la main précédant l'activité de CAO favorise-il alors une production de solutions variées et définies avec plus de précisions ? L'étude présentée donne les premiers éléments de réponse.

1. Introduction

En classe de cinquième, l'enseignement de la technologie prend appui sur le domaine « habitat et ouvrages » pour analyser et concevoir des objets techniques. Les élèves sont amenés à représenter des solutions techniques. Ces représentations peuvent se faire sous forme de croquis ou de schémas à main levée et peuvent aussi être produites grâce aux outils de CAO. Les outils informatiques occupent d'ailleurs une place importante en technologie et font aussi partie intégrante des moyens dont disposent les professionnels de la conception. Il s'agit donc de s'intéresser au rôle des intermédiaires graphiques dans les performances des élèves de 5ème au cours de leurs recherches de solutions dans le cadre d'une activité de conception en situation d'enseignement apprentissage.

2. Cadre théorique

2.1. Résolution de problèmes et conception

Selon le modèle proposé par De Vries (1995) *« l'approche par la conception met l'accent sur les processus technologiques dans lesquels les élèves doivent résoudre des problèmes non déterminés. »* Pour autant les situations qu'il convient de proposer sont encore à définir, car la résolution de problèmes ne se décrète pas (Ginestié, 2005, 2010). Envisagée dans la réalité du fonctionnement de la classe, il arrive que le professeur procède par un fort guidage de l'action indiquant aux élèves ce qu'ils doivent faire pour arriver au résultat, allant jusqu'à leur indiquer des éléments de solution.

Les travaux conduits par Arsac, Germain et Mante (1991) en didactique des mathématiques proposent une distinction entre problèmes ouverts et problèmes fermés, cette distinction est reprise en didactique de la physique par Boilevin (2005). Alors que les problèmes fermés tendent à n'impliquer qu'une seule solution possible, les problèmes ouverts admettent plusieurs hypothèses de résolution. Nous retiendrons pour notre étude cette distinction pour l'enseignement ayant recours à la résolution de problèmes. En effet, la conception relève de la résolution d'un problème plutôt « ouvert », c'est-à-dire qu'il s'agit d'un problème dont l'ensemble des solutions est infini. Dans ce cas l'élève est confronté aux choix de la forme, de ces dimensions, de la structure de l'objet, ainsi que des matériaux utilisés. Pour étudier la variété dans les productions d'élèves (E. De Vries, 2010) particulièrement lorsqu'ils sont confrontés à un problème ouvert, nous distinguerons les trois champs notionnels que font Rabardel et Vérillon (1987) et Rabardel (1989) dans le dessin technique : 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. Enfin le code, qui s'articule avec les deux précédents champs notionnels ; *« il consiste en un système d'association entre les deux plans des signifiants et des signifiés. »* (E. De Vries, 2010, p. 219), ne fait pas l'objet de notre étude qui concerne le dessin traditionnel et la CAO. Ne mettant pas en jeu les mêmes outils de représentation, ils ne permettent pas la comparaison.

2.2. Modèle 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 un 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; Schon, 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 recombinées, 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.).

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 releve 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.

2.3. Rôle des outils CAO

Lebahar (2007) a étudié la place des outils de CAO et notamment l'articulation entre le dessin traditionnel, « à la main » et la modélisation à l'aide de logiciel de CAO. *« Whitefield a montré, en comparant les travaux de designers industriels dessinant à la main, à ceux produits par des designers utilisant un système CAO, que les premiers avaient tendance à explorer plusieurs possibilités de solutions alternatives (stratégie en largeur), alors que les seconds, davantage concentrés sur leurs opérations de modélisation sur ordinateur, entraient davantage dans les détails et ne développaient qu'une solution unique, durant tout le processus (stratégie en profondeur.) »* Selon Lebahar, la stratégie en largeur est plutôt liée au dessin à la main alors que la stratégie en profondeur dépend de la mise en œuvre de système de CAO.

D'autres travaux de recherche sur les outils CAO (Huot, 2005) montrent que les *« logiciels actuels de CAO ne supportent pas (ou très peu) la créativité »*, et ne sont après tout que des *« techniques informatiques »*. Huot situe l'inadéquation des systèmes de CAO face à la démarche du concepteur à deux niveaux. Tout d'abord au niveau cognitif, car leurs méthodes de construction d'un modèle numérique tendent à imposer des choix à l'utilisateur et ne se fondent pas sur les données imprécises des phases initiales de la conception. Ce qui se traduit notamment par le fait que le concepteur est contraint très tôt à manipuler des entités géométriques précises. Les systèmes ne savent pas manipuler des données floues, imprécises, caractéristiques de la résolution de problèmes. Ensuite au niveau contextuel, car les modes de représentation et les paradigmes d'interactions qu'ils proposent ne placent pas l'utilisateur dans un contexte optimal pour la création.

Nous avons souligné l'importance que tient le dessin dans les premières phases de la conception pour la « liberté » qu'il induit dans la génération des solutions à un problème, essentiellement grâce à un rapport intuitif avec le concepteur. Il en va pourtant dans un tout autre sens pour les logiciels de CAO.

D'un point de vue des processus d'enseignement-apprentissage, les travaux de Martin (2007) montrent l'apport que peuvent représenter les outils informatiques pour l'apprentissage du dessin à l'école. L'utilisation d'un outil numérique peut aider les enfants pendant qu'ils copient un modèle, mais n'améliore pas leur capacité à utiliser leur propre modèle interne. Au niveau du collège, Géronimi (Géronimi, 2009; 2005) montre la nécessaire « familiarisation » avec les outils de CAO pour favoriser l'engagement des élèves dans la tâche de conception, ainsi que le rôle des représentations. Tous ces travaux s'accordent sur le fait que, d'une part les outils informatiques doivent être adaptés au processus d'enseignement-apprentissage et

d'autre part qu'il est important de prendre en compte les représentations à chaque étape du processus.

Pour conclure, il s'agit de s'intéresser au développement d'activités liées à la conception par des élèves dans le cadre de l'enseignement de la technologie, là où traditionnellement cet enseignement se centre sur l'apprentissage de l'utilisation des outils (Brandt-Pomares, 2003). Nous proposons d'utiliser un modèle construit en envisageant une « zone d'incertitude » dans laquelle l'usage du dessin traditionnel ou des outils de CAO favoriserait le processus de recherche de solutions chez des élèves de collège. La créativité s'exprimant au travers de la variété des solutions élaborées par les élèves.

3. Méthodologie de l'étude

Partant du principe que le recours aux outils CAO ou au dessin « à la main » influence la recherche de solutions, nous faisons l'hypothèse que le recours au dessin « à la main » favorise la mise en forme d'une plus grande variété de solutions, alors que l'usage d'outil CAO, favorise l'approfondissement d'une solution en particulier. Du coup, l'ordre dans lequel les élèves seraient amenés à utiliser ces outils aurait aussi une influence. Faire précéder l'activité de CAO d'une activité sans recours aux outils informatiques devrait aboutir à la production de solutions valides au regard des contraintes, plus nombreuses, plus variées et définies avec plus de précisions à la fin du processus. Nous formalisons ainsi les trois hypothèses opérationnelles suivantes :

H1 : Les élèves produisent plus de solutions sans utiliser les outils de CAO.

H2 : La CAO favorise la modélisation d'une solution en particulier.

H3 : Le dessin à la main précédant l'activité de CAO favorise le processus de production de solutions.

3.1. Le dispositif

Pour vérifier ces hypothèses, nous proposons un dispositif dans lequel les élèves sont mis en situation de résoudre un problème ouvert. Les professeurs demandent à leurs élèves de concevoir une table basse de salon. La consigne suivante a été donnée aux élèves : « Votre travail consiste à proposer des solutions de table basse en respectant les contraintes du cahier des charges » (cf. Annexe I).

Nous avons relevé les productions réalisés par plus de 200 élèves de 5ème répartis sur 4 collèges (10 classes) de l'Académie d'Aix-Marseille confrontés à une tâche de conception. Le tableau n°1 présente la répartition de la population testée.

Collèges	1	2	3	4
Nb de classes	2	3	2	3
Nb d'élèves	34	65	40	53
Connaissance du logiciel Google SketchUp	99 élèves ont déjà utilisés le logiciel dans le cadre de l'enseignement de technologie.		93 élèves découvrent le logiciel lors de l'expérimentation.	

Tableau 1. Population d'élève testé

Trois modalités de travail correspondent à ce que les élèves ont eu à faire au cours de deux séances de 50 mn. Lors de la première séance, (modalité 1), le groupe A doit réaliser la tâche de conception en utilisant exclusivement les outils de dessin traditionnel « à la main ». Pendant ce temps, le groupe B (modalité 2) doit réaliser cette même tâche en utilisant exclusivement le logiciel Google SketchUp. Lors de la deuxième séance (modalité 3) les deux groupes (A et B) sont à nouveau confrontés à la même tâche, c'est-à-dire qu'ils doivent poursuivre leurs recherches de solutions mais avec cette fois la liberté de choix des outils de représentation graphique. Afin de vérifier l'impact que pourrait avoir la familiarisation des élèves avec le logiciel, nous testerons deux populations d'élèves, ceux qui le « connaissent », parce qu'ils l'ont déjà utilisé dans le cadre d'un enseignement réalisé par le professeur de technologie lors des séances précédentes, et ceux qui le « découvrent ».

3.2. Les données recueillies et les indicateurs d'analyse

Les élèves ont réalisés des productions graphiques dans les conditions du fonctionnement ordinaire d'un cours de technologie au collège, en classe entière et avec leur professeur habituel. A l'issue des séances 1 et 2 et pour chacune des modalités 1, 2 et 3, l'ensemble des traces écrites et des fichiers numériques produits par les élèves a été relevé.

Nous avons codé les différentes solutions selon leur géométrie (formes), la technologie (structures) les assemblages (mobilités) et les matériaux utilisés. A partir des choix, et de leur combinaison on peut déterminer l'ensemble des solutions à ce problème. En effet, il existe trois solutions au moins pour le choix de la forme, quatre solutions de structures avec des parties fixes ou mobile, avec un isostatisme réalisé à partir d'un nombre de pieds pouvant varier (1 à 4 et plus) et enfin un choix de matériaux ouvert (métal, bois, plastique, verre…), soit plus de trois cent solutions. La figure 1 propose un exemple de solution correspondant au codage suivant : F3 (forme ovoïde), S2 (structure tubulaire), 1 pied central, assemblage fixe et M2 (plusieurs matériaux utilisés mais non précisés).

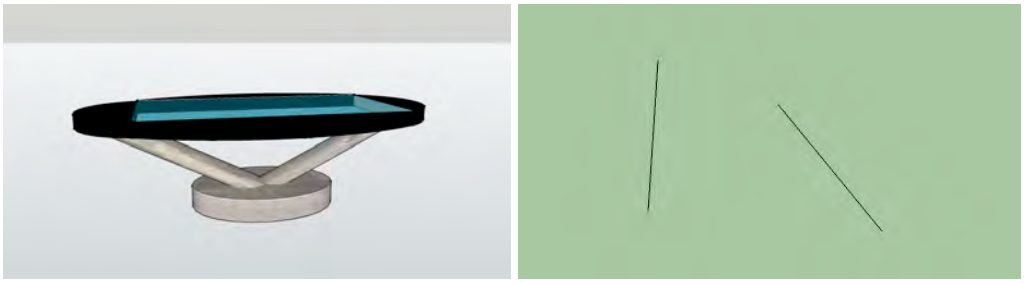


Figure 1. Exemple de solution (à gauche) et de production (à droite)

Concernant la première hypothèse, les indicateurs retenus sont les nombres de productions et de solutions représentés par les élèves selon l'outil utilisé. Chaque trace papier ou fichier informatique élaboré par les élèves sera appelé *production*. Quel que soit l'état d'élaboration, qu'il s'agisse par exemple d'une simple ébauche ou d'un modèle numérique incomplet. Toute *production* sera considérée comme une *solution* éligible, c'est-à-dire une solution possible au problème posé. Une solution éligible n'est donc pas forcément à ce stade une solution finalisée du problème. Les nombres de productions et de solutions ainsi relevés lors des trois modalités du dispositif expérimental permettront la comparaison entre les deux groupes A et B.

Concernant la deuxième hypothèse, l'indicateur retenu est lié à l'état d'élaboration des modèles représentés par les élèves des deux groupes A et B, dans les trois modalités. Il prendra en compte le respect dimensionnel par la manipulation de l'échelle de représentation,

la présence d'éléments de décor et de texture des matériaux et l'approfondissement d'une solution unique déduite du nombre de *solutions* élaborées par élève.

Concernant enfin la troisième hypothèse, les indicateurs retenus sont de trois natures : la variété des solutions élaborées dans les trois modalités, les outils graphiques choisis et utilisés dans la troisième modalité (libre) et l'évolution des solutions entre les séances 1 et 2 pour le groupe A et B. La variété des solutions sera mesurée au regard de la diversité des propositions. L'évolution des solutions sera appréciée selon trois catégories, *identique* si on ne constate aucun changement dans les choix de conception, *évolution* si on ne constate que des changements mineurs et enfin *nouvelle* si les choix sont différents.

Seules les productions-solutions de la séance 1 (modalités 1 et 2) sont analysées dans cette communication pour vérifier notre 1ère hypothèse.

4. Les résultats obtenus

4.1. Nombre de productions et de solutions

Chacune des productions des élèves est identifiée en tant que telle dans le sens où elle résulte d'un travail qui aboutit à la réalisation de traces graphiques. Parmi les productions ne sont retenues comme solutions que les traces graphiques qui représentent un agencement structurel de formes admettant une surface plane. Nous avons comptabilisé le nombre de « solutions » produites par les élèves. Le nombre de productions et de solutions élaborées par l'ensemble des élèves à l'issue de la première séance figure dans les tableaux n°2 à 4.

Séance 1	Productions	Solutions	Total
Groupe A	243	222	465
Groupe B	112	81	193
Total	355	303	658

Tableau 2. Nombre de productions et de solutions élaborées

L'analyse du nombre de productions et de solutions confirme notre première hypothèse selon laquelle les élèves produisent plus de solutions sans utiliser les outils de CAO. En effet, d'une part le tableau n°2 montre que les élèves du groupe A réalisent plus de productions et de solutions que les élèves du groupe B. D'autre part, les tableaux n°3 et n°4 montrent que cette différence n'est pas due à quelques élèves mais bien à une tendance générale qui concerne la majorité des élèves. Les élèves du groupe A sont capables d'élaborer majoritairement plus d'une production (ou solution) alors que les élèves du groupe B n'en proposent rarement plus d'une.

Séance 1	1 production	2 productions	+ de 2 productions
Groupe A	16	64	25
Groupe B	89	6	3
	105	70	28

Tableau 3. Nombre de productions élaborées par élève

Séance 1	1 solution	2 solutions	+ de 2 solutions
Groupe A	26	57	22
Groupe B	68	3	2
	94	60	24

Tableau 4. Nombre de solutions élaborées par élève

Des tests confirmatoires montrent, à partir du tableau n°2, que les deux groupes sont équivalents en termes de constitution ($Khi^2 = 0,059$; Ddl = 1 ; $p<0,05$). Ce n'est donc pas la composition du groupe qui influence le nombre de productions et de solutions, mais bien le rôle que jouent les intermédiaires graphiques dans les tâches effectués. Et néanmoins, on observe à partir des tableaux n°3 et n°4 des différences significatives ($Khi^2 = 115,992$ et $Khi^2 = 76,786$; Ddl = 2 ; $p<0,05$) que nous attribuons à la tâche et donc au fait que dans un cas les élèves utilisent le dessin traditionnel « à la main » et dans l'autre, ils utilisent les outils CAO.

4.2. Différence entre connaissance et découverte du logiciel

Dans la perspective de regarder les effets du niveau de familiarisation des élèves avec le logiciel, nous avons différencié la population des élèves du groupe B selon qu'ils le connaissent (C) ou qu'ils le découvrent (D). Le tableau n°5 donne le nombre de productions et de solutions élaborées par les élèves du groupe B à l'issue de la première séance.

Séance 1		Productions	Solutions	Total
Gr B	(D)	58	35	93
	(C)	54	46	100
Total		112	81	193

Tableau 5. Nombre de productions et de solutions élaborées par le groupe B

Le nombre de productions et de solutions réalisés par élèves du groupe B qui découvrent le logiciel et par ceux qui le connaissent sont du même ordre. Si le nombre de solutions élaborées (46) par les élèves qui connaissent le logiciel est supérieur au nombre de solutions élaborées (35) par les élèves qui découvrent le logiciel, pour autant, le test du Khi2 montre que cette différence n'est pas statistiquement significative entre les deux groupes (Khi2 = 1,385 ; Ddl = 1 ; $p<0,05$), ce qui nous permet de retenir l'hypothèse d'homogénéité des deux

groupes. Nous pouvons conclure que les deux groupes sont semblables dans leur composition et que les différences relevées au niveau du nombre de production et de solutions sont dues aux conditions de réalisation de la tâche elle-même.

5. Conclusion discussion

Pour un problème de conception « plutôt ouvert », en l'occurrence la conception d'une table basse de salon, la phase d'exploration des solutions s'enrichit de l'usage du dessin « à la main ». En effet, le recours au dessin traditionnel lors des premières phases de recherche de solutions permet aux élèves de mettre en forme des ébauches de solutions au problème de conception posé. Les élèves sont tous capables de produire des dessins qui permettent d'exprimer leurs idées. Les résultats de l'expérimentation tendent à montrer que l'usage du dessin traditionnel avant les outils CAO permet aux élèves de développer quantitativement plus de solutions. Le logiciel Google SketchUp semble pouvoir être envisagé tôt dans le processus de recherche de solutions. On remarquera néanmoins que dans ce cas, l'exploration du champ des possibles se réduit et que les élèves tendent vers une solution unique.

A partir des autres indicateurs permettant l'analyse de la variété des solutions élaborées par les deux groupes sur l'ensemble du dispositif (que nous n'avons pas détaillé dans cette communication), nous ne relevons pas de différence au niveau de la diversité de leurs propositions de solutions. En fonction du niveau de familiarisation des élèves avec l'outil informatique, le passage d'un support à l'autre ne se fait pas de la même manière. On constate que les élèves qui découvrent le logiciel y associent le dessin manuel alors que les autres l'abandonnent totalement avec pour résultat un volume moindre de réponses. De plus, les élèves qui n'ont pas un niveau de familiarisation suffisant ne sont pas en mesure de résoudre un tel problème de conception et une grande partie de leurs ressources cognitive est alors utilisée pour prendre en main le logiciel.

Bibliographie

Arsac, G., Germain, G., & Mante, M. (1991). *Problème ouvert et situation-problème*. Villeurbanne: Institut de recherche pour l'enseignement des mathématiques.

Brandt-Pomares, P. (2003). *Les nouvelles technologies de l'information et de la communication dans les enseignements technologiques De l'organisation des savoirs aux conditions d'étude : didactique de la consultation d'information.* Doctorat Décembre, Université de Provence, Marseille. Available from Atelier National de Reproduction des thèses, Lille

De Vries, E. (2010). Quelle caractérisation de la variété des produits d'une activité de conception ? *RDST, N°2*, 215-234.

De Vries, M. (1995). L'enseignement de la technologie aux Pays-Bas et autres pays européens. *Skholê, n°3*, pp. 63-84.

Géronimi, A. (2009). *Familiarisation à la CAO et activité de conception : De l'analyse des situations d'enseignement à la recherche de liens entre elles.* Doctorat, Pierre Mendès France, Grenoble II.

Géronimi, A., De Vries, E., Prudhomme, G., & Baillé, J. (2005). « Objets intermédiaires » dans une situation de conception en technologie avec CAO au collège. *ASTER 41*, 115-137.

Ginestié, J. (2005). Résolutions de problèmes en éducation technologique. *Éducation technologique, 28*, 23-34.

Ginestié, J. (2010). How pupils solve problems in technology education and what they learn. In M. Barak & M. Hacker (Eds.), *Fostering Human Development through Engineering and Technology Education* (pp. sous presse). Rotterdam: Sense publisher.

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.

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.

Martin, P. (2007). *Instrumentation, créativité en éducation artistique : Le cas de l'utilisation des outils de création numérique à l'école.* Doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence. Available from Atelier National de Reproduction des Thèses, Lille

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*.

Schon, D. A. (1983). *The reflexive practitionner : how profesionals think in action*. New York: Basic Books.

Simon, H. A. (1991). *Sciences des systèmes Sciences de l'artificiel* (Réédition de 1969 ed.). Paris: Dunod.