

OBJETS INTERMÉDIAIRES DANS UNE SITUATION DE CONCEPTION EN TECHNOLOGIE AVEC CAO AU COLLÈGE

**Alix Géronimi
Erica de Vries
Guy Prudhomme
Jacques Baillé**

La discipline technologie pourrait contribuer à la formation de la culture générale des élèves, entre autres, par une transposition des situations de conception industrielle qui exigent l'élaboration et la mobilisation de savoirs techniques. Constitutives des processus de conception, les représentations externes, textuelles, graphiques ou numériques (modèles volumiques réalisés à l'aide de la CAO) jouent un rôle primordial dans la pensée technique. Elles sont précisément appelées objets intermédiaires quand il s'agit de leur rôle de médiation entre concepteurs et autres acteurs dans la conception.

L'objectif de l'étude de cas est d'examiner le potentiel d'une situation de conception en classe de technologie au collège pour la mobilisation de connaissances techniques et le rôle joué par les représentations externes en tant qu'objets intermédiaires. À partir des dialogues d'une dyade d'élèves, les différents domaines de connaissances mobilisés au cours du processus sont quantifiés. Ensuite, le rôle médiateur des différentes représentations externes produites (cahier des charges, schéma, modèle volumique) est décrit de façon qualitative.

Si cette étude incite à penser que les élèves de collège sont capables d'utiliser un logiciel de CAO pour concevoir, des recherches systématiques dans ce domaine sont nécessaires. Plus particulièrement, il s'agit d'étudier les caractéristiques des situations susceptibles d'améliorer la prise en compte de contraintes de fabrication lors de processus de conception.

1. INTRODUCTION

Concevoir, c'est réaliser l'actualisation concrète d'un objet ou d'un système virtuels. Il s'agit donc d'une activité transitionnelle opérant le passage d'un monde, le virtuel, à un autre, le réel concret. Cette activité combine les syntaxes du possible et du certain (les calculs, en un sens plus ou moins formel) constitutives de l'usage d'un instrument et d'outils sémiotiques aussi divers que la langue naturelle, les schémas, les graphes, les équations, les tableaux, les dessins. Le traitement du virtuel, entendu ici en un sens proche de celui que Granger (1995) réserve aux objets de sciences, relève de l'activité de modélisation, dans toute l'extension que l'on peut donner à ce mot.

concevoir
conduit à utiliser
des représentations
externes

faisabilité
de la conception
avec CAO en 4^e
de collège

Cela se voit, en situation industrielle, lorsque les concepteurs « *passent le plus clair de leur temps à créer, interpréter, transformer, discuter, évaluer... des textes, des graphes, des calculs, des modèles informatiques, des dessins...* » (Jeantet, 1998). Ils manipulent ainsi des *objets intermédiaires* (Vinck & Jeantet, 1995). Une part du processus de conception consiste en effet en la construction de représentations externes du futur artefact ; ces représentations sont constitutives de la culture des concepteurs, et par-delà du champ technique des cultures occidentales contemporaines. Mettre en place des situations d'enseignement qui permettent la construction et le maniement de représentations au cours d'activités à finalité technique est ainsi un enjeu pour l'acculturation technique des élèves.

Aujourd'hui, les concepteurs élaborent leurs représentations à l'aide d'outils informatiques (conception assistée par ordinateur ou CAO). La familiarisation avec les logiciels de CAO, issus plus ou moins directement du monde professionnel, est désormais retenue comme composante de l'éducation technologique à l'école moyenne, en France, mais aussi au Royaume-Uni (Lawler, 2001 ; Lebeaume & Martinand, 1998 ; Ranucci, 1999). La recherche présentée ici a pour objet l'étude de la faisabilité d'une séquence de conception dans une classe de quatrième de collège. Les connaissances, savoirs, et représentations mobilisés par les élèves lors de cette activité de conception seront principalement visés.

2. CADRE THÉORIQUE ET PROBLÉMATIQUE

Dans cette section, notre cadre théorique s'organise en trois volets. Tout d'abord, nous présentons la technologie comme discipline d'enseignement avec ses finalités, ses références, et ses modalités d'organisation. Ensuite, la conception industrielle est analysée comme pratique sociale de référence. Enfin, une revue de littérature devrait nous permettre de présenter les champs de connaissance associés aux représentations impliquées dans la conception. À l'issue de ces trois volets, nous introduisons nos questions concernant la mise en modèle d'une situation de conception au collège.

2.1. Champ culturel de la technique et enseignement de la technologie

La culture est l'ensemble des langages, des règles et des techniques qui permettent à un individu de se reconnaître comme appartenant à une société, à une communauté. La culture est clôture (pour parler comme Bergson). L'expression « culture technique » relève du pléonasmе, puisque, sauf par prétérition, on ne peut rien dire d'autre d'une culture que ce qu'en révèle l'exercice des techniques. Aussi, sans entrer dans le

débat sur la portée générale ou locale de l'enseignement technologique, nous nous contenterons de dire avec Martinand (2003) que l'appropriation des techniques est « *constitutive de culture générale* ».

Le champ technique de l'activité humaine peut être caractérisé par la réunion permanente des trois composantes de la technicité (Combarous, 1984, p. 23) :

- Une composante intellectuelle, la *rationalité technique*, capacité à anticiper et à effectuer des choix raisonnés dans des situations complexes, orientés par des finalités techniques : tirer un parti matériellement avantageux des caractéristiques du monde (Vérillon, 2003).
- Une composante sociale, la *spécialisation des rôles* joués dans les activités humaines techniques.
- Une composante matérielle, l'usage de ce que Combarous nomme des *engins*, appelés *artefacts* par Rabardel, propres à un environnement technique. Ces artefacts peuvent être de nature matérielle ou sémiotique. Le processus cognitif d'appropriation de ces outils est nommé instrumentation (Rabardel, 1995 ; Vérillon, 1996).

3 composantes
de la technicité pour
un environnement
de la technologie

Les tâches proposées aux élèves dans le cadre de l'enseignement de la technologie doivent donc elles aussi avoir un caractère de technicité ; elles sont ainsi explicitement ou implicitement en rapport avec des pratiques sociales de référence dans le domaine technique (Martinand, 1986). En France, par décision politique, les références doivent être recherchées dans des pratiques industrielles des secteurs de la construction mécanique ou électronique, ou dans le secteur des services. La visée de la discipline est ainsi double : développement cognitif et socialisation (COPRET, 1984 ; Baillé & Brissaud, 1999 ; Lebeaume & Martinand, 1998).

de la technicité
dans une activité
de référence...

Les programmes actuels (MEN, 1997a) régissent l'organisation des enseignements selon deux logiques : « *logique d'acquisition de connaissances* » pour les unités de technologie de l'information et « *logique d'activité* » pour les scénarios de réalisations sur projets. Les scénarios sont conçus dans une logique de participation active des élèves au « *déroulement dans le temps d'un ensemble d'actions organisées, c'est à dire dont la finalité est précisée* » (Lebeaume & Martinand, 1998, p. 90). Des démarches ou procédures devant être disponibles au cours de ces scénarios font l'objet d'un apprentissage préalable au cours d'unités de technologie de l'information (MEN 1997b, p. 109). Les unités de traitement de l'information et scénarios correspondent à deux étapes introduisant progressivement la complexité du champ de référence technique, et ainsi à deux focalisations différentes par rapport aux visées de développement cognitif et de socialisation de la discipline.

...à la technicité
dans une activité
d'apprentissage

la conception industrielle comme pratique sociale de référence

l'activité de conception est une activité cognitive...

2.2. La conception, activité cruciale et complexe

L'histoire montre (Perrin, 2001) que les techniques et les sciences du génie n'ont progressé de manière importante que lorsqu'elles ont été confrontées à la conception et à la réalisation de nouveaux objets techniques. Selon ce point de vue, c'est l'action de concevoir un objet technique qui engendre le processus de transformation et de production de nouvelles connaissances techniques. Il en découle le caractère crucial de la conduite d'activités de conception en éducation technologique souligné par exemple par Davies (2004).

Les processus de conception, et en particulier les processus de conception industrielle, sont complexes. Ici, nous désignons par processus de conception l'ensemble des activités anticipant la fabrication industrielle d'un produit. Nous insistons sur le fait que ces processus conduisent non seulement à la définition du produit, mais aussi à l'élaboration du *process* de fabrication et incluent des étapes de validation de ces *process* par la production de préséries de produits. Ils sont complexes par leurs objets et par les organisations qui les portent, par le grand nombre et la variété des connaissances qu'ils nécessitent de mobiliser, ainsi que par le déroulement de l'activité cognitive et sociale des personnes qui y sont engagées.

L'objet des processus de conception industrielle est de mettre sur le marché des produits de qualité, dans un délai court, en général en grand nombre. Ces produits sont conçus dans une organisation industrielle et sous contraintes de différents types : techniques, économiques, juridiques, politiques, ou stratégiques. Dans ce cadre, « *la conception consiste à donner un ensemble de propositions permettant de décrire le produit (forme, dimension, moyen d'obtention...) et répondant globalement à un cahier des charges (fonctions à assurer, conditions de fonctionnement, durée de vie souhaitée, environnement...)* » (Tichkiewitch, Tiger & Jeantet, 1993). L'activité de conception relève donc du monde des idées, de la cognition (au sens de la construction de connaissance sur), mais c'est également une activité de création, d'action, à l'issue de laquelle seront générées les différentes propositions pour l'objet technique en cours de conception. Cette activité est par ailleurs très dépendante des organisations industrielles dans lesquelles elle a lieu (Prudhomme & Brissaud, 2000).

Sur le plan cognitif, la conception est en général considérée comme une activité de résolution de problèmes (Simon, 1973). Ces problèmes sont qualifiés de « *mal formés* », car, ce n'est qu'au cours du processus que les concepteurs peuvent compléter une description plus précise du but à atteindre. Une part de l'activité des concepteurs consiste donc à construire le problème : il y a à la fois conception du problème et de la solution. Qu'il s'agisse d'un concepteur seul ou d'un collectif de concepteurs, le problème doit être explicité pour

...qui relève
de la résolution
de problèmes
complexes

être partagé. Cette explicitation peut par exemple prendre la forme d'un cahier des charges. Si les problèmes se construisent en même temps que les solutions, les situations de conception admettent un nombre de solutions possibles potentiellement infini, en fait « *limité par la définition du problème et les caractéristiques personnelles* » des concepteurs (De Vries, 1994, p. 17). Ce qui amène à qualifier les problèmes de conception de problèmes ouverts.

Enfin, la résolution de problèmes de conception s'effectue sur au moins deux axes disjoints (Darses, 1992). Le premier axe est l'axe du déroulement dans le temps : il est borné par les décisions de début et de fin. Le deuxième est l'axe de la hiérarchie d'abstraction : le cheminement sur cet axe va d'un problème abstrait, plus ou moins mal défini, en passant par des spécifications de fonctionnalités désirées, à des propositions de solutions, plus ou moins concrètes et détaillées. Avancer dans un problème de conception, c'est donc parcourir l'axe du temps en produisant une succession d'ensembles problème-solution en interaction, jusqu'à obtention d'un compromis jugé satisfaisant (Longchamp, 2004, p. 88). Ce processus entraîne le parcours non successif des différentes branches et niveaux de la hiérarchie d'abstraction (De Vries & De Jong, 1999) selon une stratégie opportuniste (Visser, 1990). Ainsi, chaque traitement d'un problème de conception est singulier, donc, ni prévisible, ni prescriptible.

2.3. Représentations externes et objets intermédiaires

Les fonctions des représentations externes, discours, maquettes, écrits, dessins sur papier ou sur ordinateur, au cours des processus de conception sont liées à l'élaboration de la pensée individuelle ou collective pour une tâche particulière à accomplir : conception et fabrication de l'artefact, des équipements de production, de contrôle et de maintenance (Deforge, 1981 ; Weill-Fassina, 1973). Elles mettent en relation les personnes et l'artefact représenté, que celui-ci existe déjà ou non. Il y a mise au jour d'une représentation externe, conjointement avec l'élaboration de la représentation interne (mentale) de l'artefact ; cette représentation externe permet aux sujets d'effectuer des simulations sur le comportement futur de l'artefact et sur les effets des différentes actions susceptibles de lui être appliquées, constituant ainsi une « prise » sur l'artefact absent (Jeantet, 1998, p. 128).

trois registres
de fonctionnement
pour les *objets-
intermédiaires...*

Lorsque les concepteurs se réfèrent aux représentations externes dans le but de la construction d'une représentation partagée, on les nomme également *objets intermédiaires* (Vinck & Jeantet, 1995). Les *objets intermédiaires* fonctionnent suivant trois registres :

- Un registre de représentation du produit et des connaissances mobilisées ou élaborées.

...médiateurs
entre le réel
et les individus
et du dialogue
entre les individus

articuler
des domaines
de connaissances
pour concevoir

- Un registre de traduction caractérisant les opérations qui consistent à passer d'une dimension du futur produit à une autre : fonctionnelle, structurelle, géométrique, technologique, de fabrication.
- Un registre de médiation dans les interactions entre spécialistes ayant des points de vue différents.

Belliès définit les *objets intermédiaires* comme des instruments de l'activité collective ; ils sont intermédiaires entre soi et les autres (Belliès, 2002, p. 64). Ainsi, des objets variés peuvent remplir la fonction d'*objet intermédiaire* : croquis, schémas, maquettes, prototypes (Roth, 1996), dessins techniques en projections, et tableaux de caractéristiques techniques. L'essentiel étant que ces objets soient des médiateurs du dialogue des individus avec le réel et du dialogue entre les individus. Par exemple, Lebahar (1996) montre comment une représentation interactive en 3D sur écran, ou *modèle volumique*, d'un cockpit d'hélicoptère, joue le rôle de médiateur dans un groupe interdisciplinaire de concepteurs spécialisés.

Rabardel et Weill-Fassina (1984, p. 8) organisent les connaissances mobilisées dans la lecture et l'écriture du dessin technique, jusqu'alors moyen de représentation par excellence dans la discipline en trois domaines, qu'ils nomment champs conceptuels :

- Le code défini comme l'ensemble des signes et de leurs significations ainsi que les règles qui régissent leurs relations.
- La technologie entendue au sens des connaissances des objets techniques, des techniques et des modes de productions.
- La géométrie comprenant aussi bien les aspects permettant une caractérisation géométrique des artefacts, que certains aspects relatifs à leur représentation.

Cette catégorisation demande à être adaptée lorsque l'objectif est d'étudier l'activité de conception à l'aide d'outils informatiques de représentation plutôt que des activités de lecture/écriture de dessin technique. Une telle adaptation sera proposée dans la forme d'une grille d'analyse pour l'étude de cas (paragraphe 3.3).

2.4. Questions de recherche

Le cadre théorique explicité ci-dessus nous conduit à préciser une première grande question à l'origine de nos travaux : « *Quels domaines de connaissances peuvent être mobilisés au cours d'un processus de conception, par des élèves, lorsqu'ils disposent d'outils utilisés par des professionnels ?* »

Dans ces travaux, nous nous heurtons à deux obstacles : d'une part, les scénarios de conception avec CAO au collège ne sont pas répandus à l'heure actuelle et d'autre part, il n'existe pas de paradigme de recherche établi pour l'étude de telles situations. Vu cet état de fait, nous proposons une

étude de cas dans le contexte de la mise en place expérimentale d'un scénario de conception avec CAO. Une telle situation de classe constituera invariablement une simplification et/ou une altération par rapport aux situations de référence, celles impliquant des processus de conception dans le monde professionnel. Certaines adaptations nécessaires éloignent la situation de classe de la situation de conception professionnelle, d'autres préservent des caractéristiques essentielles des situations de conception.

Plus précisément, dans la conception de la séquence, la technicité des situations d'apprentissage a été prise en compte en insistant sur quatre aspects.

une technicité...

Sur le plan des rôles sociaux, la coopération est fortement encouragée, présentée comme stimulante pour le travail de conception, mais sans spécialisation possible des rôles du fait du parcours commun des élèves (Prudhomme, 1999).

Sur le plan de la rationalité technique, le nombre de solutions possibles devra être élevé ; les révisions successives des représentations de solutions doivent être accueillies favorablement, permettant les stratégies opportunistes.

Sur le plan des engins employés, les élèves doivent disposer d'artefacts matériels et sémiotiques en rapport avec ceux qu'utilisent des professionnels. La classe pourra disposer d'outils pour mesurer, représenter et simuler, de matériaux et matériels de fabrication, d'exemples de produits issus du procédé de fabrication, et des accessoires ayant un lien avec l'artefact conçu.

...adaptée
au collègue

Enfin, une tâche de conception s'effectue sous contraintes des techniques et connaissances disponibles, du délai alloué, des caractéristiques des matériaux, etc. Dans le scénario étudié, la définition de formes matérialise les réponses aux problèmes fonctionnels. Par exemple, la dimension et la forme des logements dépendent des accessoires à loger, de leur utilisation, mais aussi des procédés de fabrication. La tâche de conception par définition de formes est ainsi un cas particulier dans le très vaste domaine des tâches de conception.

Par rapport à la séquence développée, nous posons deux questions plus précises :

- Les diverses représentations produites par les élèves sont-elles utilisées comme objets intermédiaires, et si oui, en lien avec quels types particuliers de connaissances ?
- Qu'en est-il en particulier des représentations produites à l'aide du logiciel de conception assistée par ordinateur ?

Notre première approche de ces questions consiste à recueillir, analyser, et mettre en relation des échanges verbaux ou des gestes, des états successifs des productions graphiques, et des objets utilisés. Ces divers éléments, considérés comme des traces du processus, sont collectés tout au long d'une séquence d'enseignement.

une étude
à visée intensive

Étant donnée cette visée intensive et les contraintes de l'observation longitudinale de classe, notre étude se limite dans un premier temps à une dyade. Pour repérer les domaines de connaissance mobilisés au cours du temps, et leurs relations avec les *objets intermédiaires*, les activités de la dyade seront documentées quantitativement à l'aide d'une grille d'analyse et qualitativement au moyen d'extraits choisis. Bien que nos observations ne soient pas extrapolables à d'autres élèves, elles constituent une illustration du potentiel d'un scénario de conception avec CAO au collège.

3. ÉTUDE DE CAS EN TECHNOLOGIE AU COLLÈGE

Le collège (1) a été sélectionné pour les conditions d'enseignement de la technologie offertes : l'équipe enseignante est stable et formée, le matériel à disposition, les horaires d'enseignement et les effectifs des groupes d'élèves sont conformes aux recommandations ministérielles. La séquence d'enseignement est un scénario de conception au programme de la classe de quatrième utilisant la CAO comme outil. Elle fait suite à une initiation, la prise en main du logiciel. L'étude se fonde sur le suivi détaillé des interactions d'une dyade d'élèves moyens.

3.1. La séquence d'enseignement

• *Le scénario*

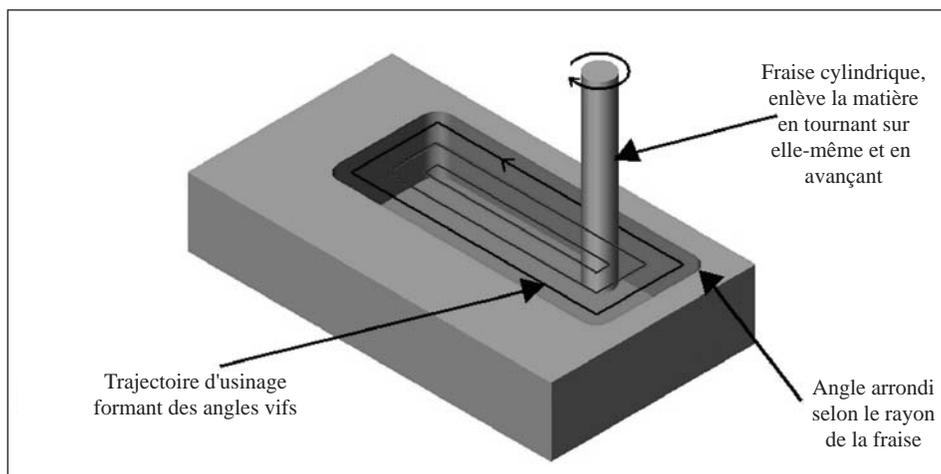
un scénario
d'extension
de gamme
de produit

Le problème posé aux élèves est de proposer de nouveaux produits destinés à étendre la gamme de sets de bureau d'une entreprise, dans le but d'attirer de nouveaux clients. L'artefact existant soumis aux élèves permet le rangement de quelques stylos et la mise à disposition d'un bloc de feuillets adhésifs ou « *post it* », dont le format n'est plus disponible sur le marché. L'extension de gamme consiste à redéfinir les fonctions existantes en fonction des contraintes du marché, et à proposer une fonction supplémentaire, l'affichage de l'heure ou de la température. Le procédé de fabrication impose le façonnage de formes par enlèvement de matière dans un bloc de plastique, *le brut*, à l'aide de la fraiseuse à commande numérique dont dispose le collège. Le travail des élèves consiste donc à préciser les fonctions imposées par le professeur (Quels accessoires range t-on ? Souhaite t-on afficher l'heure ou la température ?) puis à les spécifier (Combien de stylos ? Quelle taille normalisée de feuillets adhésifs ?) et enfin, à

(1) L'étude a été menée au collège de Seyssins, dans une classe de quatrième de monsieur Jean-Luc Mognard, professeur de technologie.

définir les formes correspondant à ces fonctions. Cette définition doit les amener à opérer des choix de solution, et à prendre en compte des critères relatifs à l'usage, à l'esthétique, au coût, au procédé de fabrication et en particulier aux contraintes que celui-ci impose sur les formes. La figure 1 montre comment le procédé de fabrication peut influencer sur la forme d'un évidement.

Figure 1. Forme des angles d'un évidement obtenu par fraisage



Le professeur a introduit le procédé d'usinage, inconnu des élèves, lors de la séance de présentation du scénario. Pour cela, il a montré le matériel utilisé et son mode d'action, ainsi qu'un objet usiné. Il a fait ensuite schématiser les formes obtenues au tableau et sur un document distribué aux élèves, afin qu'ils puissent prendre en compte ces informations pour la définition des formes du produit à concevoir. La mise en position et le maintien de la pièce sur la machine n'ont été que très brièvement évoqués.

• Une structuration par phases

Afin de structurer le travail des élèves, le professeur organise le travail de la classe en phases, décomposant ainsi le problème proposé. Il effectue ainsi pour les élèves une part du travail de planification :

un travail organisé en phases par l'enseignant, avec production d'écrits...

- **Phase 1.** Lors de la première séance, les élèves sont informés de l'objectif de leur travail et de la marge de décision qui leur est dévolue. Les dyades font leurs premiers choix parmi les possibilités proposées, rendent compte de ces choix par écrit – c'est le *cahier des charges* – et réalisent un ou des dessins de leur projet à l'échelle 1, il s'agit du *schéma*.
- **Phase 2.** Au début de la deuxième séance, les élèves font un schéma du set de bureau, prennent connaissance des

...et utilisation
d'un logiciel
de CAO

dimensions des stylos et accessoires qu'ils envisagent de ranger et calculent les dimensions à prévoir pour les logements en fonction des contraintes liées à la fabrication présentée par le professeur. Le document correspondant est nommé *dimensions*.

- **Phase 3.** Vers la fin de la deuxième séance, lorsque le professeur juge le projet suffisamment défini, la dyade est autorisée à utiliser le logiciel de CAO, pour mettre au point un *modèle volumique* de leur produit et le visualiser en trois dimensions.
- **Phase 4.** La troisième séance est consacrée à la réalisation du modèle volumique de leur produit. Au cours des phases trois et quatre, les outils à la disposition des élèves sont non seulement le logiciel de CAO, mais aussi les documents précédemment élaborés.

En fin de séquence, le professeur effectue une démonstration d'usinage. Il usine ensuite les autres produits en dehors de la présence des élèves, pour des raisons de temps (l'usinage d'un objet dure environ 3/4 h). En fin de séquence, les produits conçus sont remis aux élèves ainsi que les accessoires correspondants.

3.2. La récolte des données

recueil
des interactions,
des gestes,
des productions
d'élèves

La dyade Thomas et Aurélien, a été choisie parmi les élèves moyens de la classe, susceptibles d'être peu affectés par l'observation. Le support principal de recueil des interactions est un enregistrement effectué au poste des élèves avec leur accord, complété par une prise de notes chronologique détaillée de la partie non verbale des interactions et de l'évolution des productions. Enfin, des données supplémentaires ont été recueillies : enregistrement vidéo de l'écran de l'ordinateur, enregistrement du professeur et de ses interactions avec la classe, documents papiers et informatiques des élèves, photographies des produits usinés à l'issue de la séquence.

La source principale des données traitées est la retranscription des dialogues des élèves. Étant donné que nous nous intéressons à la conduite de la tâche par les élèves, la retranscription effectuée porte exclusivement sur les phases de travail en dyade, elle exclut donc les interventions collectives du professeur. Elle a été effectuée au plus près du langage oral des élèves, dans l'intention de limiter la part d'interprétation, puis elle a été complétée par des commentaires de l'observatrice sur les activités et les gestes, et sur les objets matériels manipulés.

3.3. La grille d'analyse

La grille (voir figure 2) vise un repérage des domaines de connaissance mobilisés, technologie, géométrie, et code, proposés par Rabardel et Weill-Fassina (1984). Quelques adaptations ont été nécessaires. Tout d'abord, une catégorie relative à la gestion de l'activité a été introduite puisqu'il

s'agit ici d'une activité de conception et non pas d'une activité de lecture – écriture. Ensuite, la catégorie des outils sémiotiques a été substituée au code, ce dernier ayant trait uniquement au dessin technique alors que le processus de conception mobilise bien d'autres moyens de représentation. Enfin, dans les interactions sur les solutions proprement dites, la grille distingue une catégorie technologique (besoin et autres dont la fabrication) et une catégorie non technologique (géométrie).

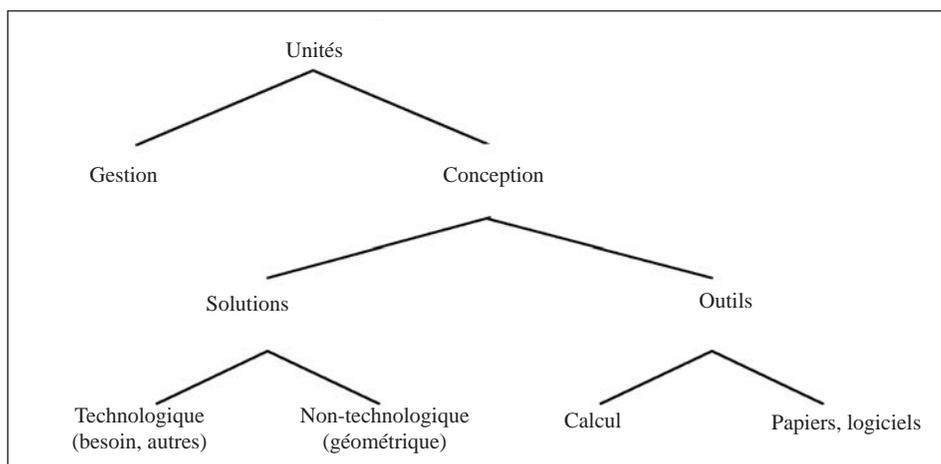
– **Gestion.** Cette catégorie regroupe essentiellement des unités relatives à la gestion de la tâche : tâche proprement dite, gestion des interactions, cf. par rapport au temps alloué. L'activité des élèves n'est ni centrée sur les outils, ni sur la tâche de conception.

– **Solutions.** L'activité des élèves est orientée sur la définition et l'évaluation de solutions. Les élèves font référence aux caractéristiques du problème de conception ou de la solution qu'ils anticipent. Les activités sont réparties en deux sous-catégories : géométrie et technologie, elle-même subdivisée en besoin ou usage projeté et autres aspects techniques.

– **Outils.** L'activité des élèves est orientée sur l'utilisation des outils nécessaires pour construire des représentations externes et centrée sur la production de ces représentations. Ils font référence aux documents sur papier, à la mise en œuvre des artefacts informatiques : interface utilisateur, modèleur volumique, et aux outils qui leur sont nécessaires pour calculer.

les domaines
de connaissances
mobilisés au cours
des interactions

Figure 2. Grille d'analyse



Le texte de retranscription a été découpé en unités sémantiques élémentaires de telle sorte que chaque unité isole une seule proposition de la part des élèves. Une unité peut ainsi

un découpage en
unités sémantiques
élémentaires

être construite autour d'un verbe, exemple : « *on peut mettre deux places sur le plastique* », ou ne renfermer qu'un seul mot, réponse dans les interactions ou expression de veille, exemple : « *Oui* » ou « *Voilà* ». Puis, nous avons sélectionné les moments où les élèves interagissent seuls, c'est à dire sans les échanges avec le professeur ou avec des camarades de la classe. Nous avons ainsi obtenu un corpus de 1411 unités sémantiques (approximativement les trois quarts du texte), ensuite classées dans les différentes catégories de la grille d'analyse (voir figure 2).

4. DYADE THOMAS AURÉLIEN

L'étude du processus de la dyade est introduite par la présentation des principales productions des élèves. Ensuite, l'analyse des dialogues donne lieu à un inventaire quantitatif des domaines de connaissance mobilisés, de leur répartition au cours du temps, et en fonction des outils utilisés. Enfin, en commentant des extraits choisis, nous montrons le rôle potentiel de médiateur des différents objets produits ou manipulés par les élèves.

4.1. Description des productions textuelles et graphiques

des productions
variées

La figure 3 présente des productions textuelles et graphiques de la dyade d'élèves. Le cahier des charges et le schéma sont dans leur état en fin de phase 2 ; ils ont été élaborés quasiment simultanément. Les grandes lignes de l'organisation des formes du produit ont été arrêtées dès les vingt premières minutes de la phase 1. Thomas et Aurélien ont effectué peu d'itérations dans leur processus de conception, en tout cas pas d'itération qui remette fondamentalement en cause les premiers choix qu'ils ont effectués. L'image du modèle volumique obtenu en fin de phase 4 montre une organisation d'ensemble conservée, mais deux évolutions sont notables : remplacement du « *grand espace en forme de T* » par deux espaces à ouverture rectangulaire, l'un petit à fond plat, l'autre grand à fond arrondi ; des congés sur les arêtes supérieures ont été ajoutés.

4.2. Analyse quantitative des productions verbales

• *Analyse globale*

Le tableau 1 présente la répartition des unités sémantiques produites par les élèves au cours des quatre phases et dans les différentes catégories de la grille d'analyse en fréquence d'apparition (f) et en proportion (%) rapportée au total de la phase ou au total général (ligne du bas ; colonne de droite).

Figure 3. Productions textuelles et graphiques de Thomas et Aurélien

Description du cahier des charges		FONCTIONS		CHOIX DE SOLUTIONS	
		Questions	Petit modèle	Grand modèle	
<ul style="list-style-type: none"> ● Colonne « Fonctions » : Fonctions préalablement définies. Exemple : « Recevoir un bloc de feuillets adhésifs » ● Colonne « Questions » : Exemple : « Quels accessoires devront être rangés ? » ● Colonne « Choix de solutions » : Remplie par les élèves. « À ranger : trois blocs de feuillets adhésifs, trois stylos, des accessoires de bureau (gomme, ciseaux, trombones), et un thermomètre ; dimensions et formes de la base. » 	Recevoir un bloc de feuillets adhésifs	Quelles dimensions pour les feuillets adhésifs ?		40 x 50	
	Permettre le rangement de crayons ou stylos	Combien de logements pour crayons ou stylos ?		3	
	Permettre éventuellement le rangement d'autres accessoires de bureau, (grand modèle seulement)	Quels accessoires devront être rangés ?		la gomme les trombones etc	
	Etre muni d'un gadget	Lequel ?		thermomètre	
	Se poser sur une surface plane horizontale	Quelle sera la forme de la base du support ?		rectangulaire avec support arrondi	
	Etre déplaçable facilement	Quelles dimensions pour le support ?		15 x 8 x 20	
	Etre rechargeable en blocs de feuillets adhésifs	Combien de blocs seront-ils livrés ?		3	
	Etre réalisable au collage	Moyen utilisé pour l'usage du support du prototype :	Fraiseuse 3 D à commande numérique	Fraiseuse 3 D à commande numérique	
	Etre peu cher	Prix de vente :	6 €	6 €	

Description du schéma	
<ul style="list-style-type: none"> ● Deux rectangles de chaque coté pour des blocs de feuillets adhésifs ● Trois cercles foncés pour les stylos ● Deux petits rectangles non remplis pour des ciseaux ● Un grand espace en forme de T pour petits accessoires (gomme, trombones) ● Un grand cercle au milieu pour le thermomètre 	

Description du modèle volumique	
<ul style="list-style-type: none"> ● Deux trous rectangulaires de chaque coté pour des blocs de feuillets adhésifs ● Quatre trous circulaires pour des stylos ● Deux petits trous rectangulaires pour les ciseaux ● Deux trous rectangulaires, un grand à fond arrondi et un petit pour de petits accessoires ● Un grand trou circulaire pour le thermomètre 	

La première catégorie en nombre est la catégorie gestion, pour environ 40 % du total des unités sémantiques produites. Ceci signifie que les activités de gestion de la tâche, du temps imparti, et des relations sociales au sein de la dyade occupent plus du tiers des interactions verbales des élèves. Ces activités sont, quantitativement, relativement stables au cours des phases de travail.

variation
des activités
des élèves...

Les catégories solutions et outils représentent chacune environ 30 % du total des unités sémantiques produites. Leurs proportions respectives subissent des variations importantes au cours des phases 1 et 3, c'est à dire respectivement lorsque les élèves commencent la tâche sur les documents papier, puis lorsqu'ils commencent à utiliser le logiciel. Des

...au cours
des différentes
phases

interactions dans la catégorie outil sont quasiment absentes de la phase 1, alors que la catégorie solutions est peu ou très peu représentée en phase 3 ($\text{Khi}^2 = 180,75$. $\text{Ddl} = 6$, $p < 0,001$). Rapportée au volume de l'ensemble des productions, la part des verbalisations portant sur l'élaboration des solutions est donc globalement moins importante lorsque les élèves mettent en œuvre le modèle volumique ; particulièrement faible au cours de la phase 3, elle retrouve lors de la phase 4 une valeur voisine de celle de la phase 2. On peut ainsi supposer que le maniement de l'outil de représentation implique, au stade où les élèves l'instrumentent, l'allocation d'une grande part des activités, et que cela se fait en partie au détriment de l'élaboration de solutions.

Tableau 1. Activités des élèves en fonction des phases du travail

Phase	Catégorie						Total	
	Solutions		Outils		Gestion		f	%
	f	%	f	%	f	%	f	%
1	101	57	8	5	68	38	177	13
2	139	38	109	30	120	33	368	26
3	25	8	127	43	143	48	295	21
4	180	32	150	26	241	42	571	40
Total	445	31	394	28	572	40	1411	100

• Analyse de la catégorie solutions

des solutions
progressivement
définies par
des formes

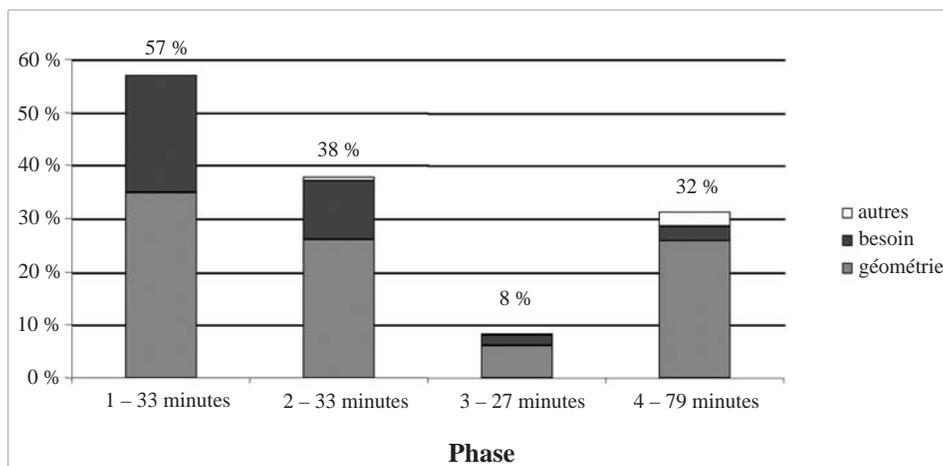
Nous avons cherché à analyser comment les verbalisations relatives à la catégorie solutions se répartissent entre la technologie (besoin et autres) et la géométrie en fonction des phases, c'est à dire en fonction des tâches à accomplir et des instruments mis à la disposition des élèves. La figure 4 montre la répartition des verbalisations relatives aux solutions.

La part des verbalisations relatives à la géométrie est prépondérante dans toutes les phases, alors que la part des verbalisations relatives au besoin s'avère constamment décroissante (la part des verbalisations relatives à la géométrie est maximale au cours de la phase 4).

Nous proposons deux explications pour cette évolution.

Premièrement, le problème posé exige des solutions par définition de formes. Les fonctions attendues sont susceptibles d'être matérialisées en formes géométriques. Ainsi, lorsqu'ils discutent du problème au travers des solutions, les élèves évoquent des aspects géométriques des formes.

Deuxièmement, au moment où les solutions doivent être représentées, les ambiguïtés relatives aux dimensions doivent être levées et sont alors au centre des discussions.

Figure 4. Répartition des verbalisations sur les solutions en fonction des phases

Ceci est particulièrement vrai sur le logiciel CAO, car la création de certaines entités géométriques et relations topographiques passe par la saisie au clavier de leurs dimensions. On peut donc penser que la discussion sur les formes géométriques est en même temps une discussion sur les besoins : la représentation externe est porteuse à la fois du problème et de la solution.

4.3. La construction des représentations

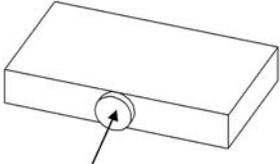
• *L'expression du besoin*

le schéma,
objet-intermédiaire...

L'extrait présenté intervient dans les premières minutes de la phase 1. Le professeur a demandé aux élèves de préciser leurs choix de solution en relation avec des fonctions techniques. Par exemple, pour la fonction « *permettre le rangement de crayons ou de stylos* », les élèves doivent préciser le nombre de logements à prévoir, puis détailler ces solutions techniques sur le schéma. Les élèves parlent du placement possible du thermomètre sur les faces du bloc de plastique en fonction de son diamètre et de l'épaisseur du brut. Ils discutent en dessinant le schéma, se procurent l'un des bruts qui circulent dans la classe, et le mesurent. Ainsi, ils découvrent que ce brut est plus épais que ce qu'indique le tableau de contraintes. Ils appellent le professeur et tentent de négocier ces contraintes (les illustrations qui accompagnent le texte ont été produites par les auteurs de l'article).

En plaçant le thermomètre, Aurélien cherche à gagner de la place pour les autres fonctions. En mimant, Thomas réfute la proposition, se référant au problème fonctionnel d'usage

Extrait 1.

1. Thomas :	<i>Monsieur, il y a des problèmes dans vos mesures.</i>	
2. Professeur	<i>Oui.</i>	
3. Aurélien	<i>Le grand c'est marqué... sur 20 et là c'est 25.</i> [Aurélien tient le bloc, le mesure, montre le tableau de contraintes]	
4. Professeur	<i>Oui alors... alors j'ai indiqué dimension maximale... Oui, c'est à dire tu veux me dire par là, que éventuellement vous pourriez le faire un peu plus épais</i>	
5. Thomas	<i>Non, c'est pas ça, on pourrait mettre le thermomètre comme ça. C'est dur mais... [Thomas désigne un emplacement sur le schéma, puis sur le brut]</i>	 <p>Placement du thermomètre</p>
6. Professeur	<i>Ouais</i>	
7. Aurélien	<i>Faire un emplacement du thermomètre là</i>	
8. Thomas	<i>Mais tu imagines, là, si on pose sur le bureau, comment tu vas regarder ? Tu es obligé de faire comme ça pour regarder. [Il mime le geste de la tête].</i>	

... dans le traitement de problèmes de placement et d'usage

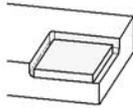
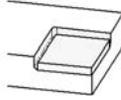
qu'elle pose. Le schéma, le brut de plastique, ainsi que le thermomètre sont au centre des interactions. Les élèves les utilisent pour mimer ou dessiner leurs propositions, effectuer des simulations de placement et d'usage, bien que le schéma soit plan. Ces objets, matériels ou symboliques, sont des médiateurs dans l'interaction. Ils peuvent ainsi être qualifiés d'*objets intermédiaires* et sont des prises pour que les élèves mobilisent des connaissances liées à l'usage du produit en cours de conception.

Un deuxième exemple intervient quand les élèves débattent de la position d'un bloc de feuillets adhésifs par rapport au bord de la base. Il s'agit de décider de la taille du logement pour qu'un ou deux bords du bloc soient en retrait des chants de la base ou juste au ras pour faciliter la préhension. Les élèves présentent le bloc de feuillets adhésifs sur le schéma et simulent deux situations d'usage, feuillet à ras du chant ou en léger retrait. Deux types d'arguments sont mobilisés : sur l'usage et sur la gestion de l'espace laissé libre pour les autres fonctions. Ici encore, le schéma en deux dimensions est une représentation externe qui pourrait être qualifiée d'*objet intermédiaire* en permettant la mobilisation de connaissances relatives à l'usage du produit.

• Contraintes de fabrication

L'extrait proposé ci-après fait suite aux interactions présentées ci-avant. Le professeur relève et valide l'argument fonctionnel de Thomas (ligne 8), et en ajoute un autre d'ordre fonctionnel (ligne 18). Il énonce une contrainte de fabrication rendant la proposition de solution irréalisable dans le cadre matériel de la classe, refermant le problème, et mettant fin à la discussion des élèves. À la suite de cette intervention auprès de cette dyade, il passe une consigne générale à tous

Extrait 2.

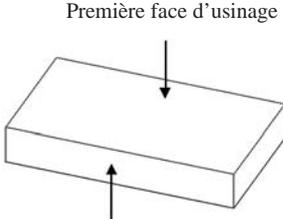
9. Thomas :	<i>Faut pas que ce soit collé</i>	
10. Aurélien	<i>Ce sera bien collé, là comme ça, sur le bord</i>	
11. Thomas	<i>Mais non parce qu'après tu vas prendre partout.</i>	
12. Aurélien	<i>Oui.</i>	
13. Thomas	<i>Tu pourras prendre partout. Alors que si tu fais comme ça, comme ici...</i>	
14. Aurélien	<i>Là sur le dessin on prévoit que ça soit bien collé hein ; avec ce style là on n'aura pas assez de place.</i>	
15. Thomas	<i>Si regarde [montre le bloc de feuillets adhésifs sur schéma]</i>	
16. Aurélien	<i>C'est pour mieux l'attraper</i>	
17. Thomas	<i>Ah ouais t'as raison</i>	Saisie des feuilles facilitée en fin de bloc

les élèves, prescrivant de ne prévoir des usinages que sur la face la plus grande des bruts.

le schéma au centre d'une discussion sur les contraintes de fabrication

Si dans une entreprise, la conception peut mobiliser des concepteurs de différents métiers, dans la classe, les groupes de travail formés sont nécessairement non-pluridisciplinaires. Ici, tous les élèves ont eu la même information sur le procédé de fabrication par une démonstration en début de séquence. Que cette information n'ait pas permis la construction des connaissances individuelles nécessaires sur la fabrication ou que les objets au centre des interactions (brut de plastique, schéma) n'aient pas été des médiateurs pertinents, les élèves n'ont pas mobilisé de connaissances sur le processus de fabrication. C'est le professeur qui les mobilise et anticipe les difficultés qui pourraient survenir, agissant ainsi sur la construction de la solution par les élèves.

Extrait 3.

18. Professeur	<i>Alors déjà oui d'une part il y a ça, et puis il y a autre chose qu'il faut prendre en compte c'est le fait que, lorsqu'on va usiner, la plupart des usinages qu'on veut faire on va les faire sur la grande face d'accord ? Et ouais.</i>	
19. Thomas	<i>Si on voulait usiner sur cette face là, il faudrait...</i>	
20. Professeur	<i>Mettre comme ça</i>	
21. Thomas	<i>Il faudrait faire comment ?</i>	
22. Professeur	<i>Ben faudrait, ben faudrait</i>	
23. Aurélien	<i>Non, c'est trop dur attends</i>	
24. Thomas	<i>Il faudrait faire en deux fois hein. Un usinage ici, et un usinage là, hein. Alors ça serait possible, mais ça serait beaucoup trop long et très compliqué. Donc on va considérer qu'on ne fait que des usinages sur les faces. Hein, d'accord ?</i>	

Au cours de la phase 2 pourtant, l'attention des élèves est centrée sur la détermination de la taille des logements des

différents accessoires en fonction de leurs dimensions extérieures et de l'arrondi des angles rentrants dû au rayon de la fraise (voir figure 1), donc à une contrainte de fabrication. Toutefois, cette contrainte n'est jamais énoncée comme telle par les élèves, mais systématiquement convertie comme marge à rajouter.

• **Représentation de l'artefact au moyen de la CAO**

Au cours de la phase 4, les élèves, après une ré-appropriation du logiciel, l'utilisent pour créer un modèle volumique du set de bureau dont ils ont représenté les principales caractéristiques sur le schéma et le cahier des charges.

le modèle volumique... Sur le schéma, ils ont pensé à créer des congés pour adoucir certaines arêtes de leur produit, mais ils n'ont pas anticipé toutes les possibilités : leur schéma ne montre de manière certaine que des congés sur les arêtes verticales. L'un des élèves propose de créer des congés sur les arêtes supérieures. L'argumentation, comme souvent dans cette dernière phase, est basée sur l'esthétique.

Extrait 4.

26. Thomas	<i>Mais non ça on n'arrondit pas ces bords là ! On n'arrondit que les coins comme ça !</i>
27. Aurélien	<i>Je vois pas ce qui...</i>
28. Thomas	<i>On fait l'autre côté maintenant. Mais non. Ça il faut pas arrondir.</i>
29. Aurélien	<i>Mais si ça fait plus beau.</i>

Ici, Thomas utilise le schéma comme trace d'un précédent accord sur les formes. Aurélien, aux commandes du logiciel, modifie le modèle volumique sans tenir compte des injonctions de Thomas. Tous deux discutent en pointant du doigt les différents congés sur l'image obtenue à l'écran. L'image numérique, ainsi que le schéma, se trouvent ainsi au centre d'une discussion sur la fonction esthétique.

... objet-intermédiaire pour discuter d'esthétique et d'usage Dans la suite de la phase 4, les élèves abordent la représentation numérique du grand logement en forme de T. N'ayant pas appris à modéliser un logement d'une forme aussi complexe, ils sollicitent l'aide du professeur. Mais sur le schéma, la définition des formes est incomplète. Thomas et le professeur n'ont pas saisi ce qu'Aurélien a imaginé : un fond arrondi (ligne 36).

Le fait d'avoir à modéliser la forme en trois dimensions amène donc les élèves à lever les ambiguïtés sur une caractéristique de cette forme – le profil de son fond – et à discuter les aspects fonctionnels associés à la forme du fond. Pour Aurélien, c'est pour faciliter la saisie des accessoires que ce logement est conçu avec un fond incurvé.

Ce que nous montrent ces deux extraits, c'est d'abord que la représentation en trois dimensions devient elle aussi un *objet intermédiaire* de la conception. Elle conduit les élèves à

Extrait 5.

30. Professeur	<i>Quelque chose comme ça, dont le fond est arrondi</i>
31. Aurélien	<i>Ouais</i>
32. Professeur	<i>ça c'est faisable. Soit une forme comme ça,</i>
33. Thomas	<i>dont le fond est arrondi,</i>
34. Professeur	<i>dont le fond est plat, sinon, faire à la fois un creux arrondi et une forme compliquée</i> <i>comme ça, là c'est pas la peine d'y penser.</i> <i>[...]</i>
35. Professeur	<i>Parce que, moi, je croyais au départ que votre forme, votre creux il était plat au fond.</i> <i>[...]</i>
36. Professeur	<i>Mais bon il y a autre chose. Si vous faites un creux arrondi au fond</i>
37. Aurélien	<i>Oui</i>
38. Professeur	<i>ça va être très difficile de faire aussi des arrondis au bout</i>
39. Thomas	<i>Eh ben on n'a qu'à faire plat !</i>
40. Aurélien	<i>Non. Pour attraper c'est plus facile.</i>

mobiliser des connaissances propres au domaine de l'usage et de l'esthétique, et à mettre en évidence des questions qui n'avaient pas été abordées à partir des représentations en deux dimensions. Ensuite, elle illustre les difficultés que rencontrent les élèves pour utiliser le logiciel et obtenir les formes souhaitées ; ce travail exigeant à la fois l'analyse géométrique et fonctionnelle, et la sélection des procédures logicielles adaptées.

4.4. Bilan

les représentations
3D, des objets-
intermédiaires ?

Pour la dyade observée, les représentations externes jouent bien le rôle d'*objets intermédiaires*. Le cahier des charges, le schéma, et le modèle volumique ont été médiateurs dans la définition du problème et dans l'explicitation de différents types de contraintes au cours de la construction de la solution. Cependant, les connaissances technologiques mobilisées par ces élèves portent presque uniquement sur des aspects liés à l'usage de l'objet conçu et fabriqué. Par exemple, les contraintes de fabrication ne sont pas mobilisées comme telles par les élèves. Énoncées et explicitées à plusieurs moments de la séquence par le professeur, elles ne sont pas réutilisées dans la conception.

Si les représentations produites à l'aide du logiciel peuvent donc être considérées comme *objets intermédiaires*, ces premières observations montrent que leur obtention est coûteuse. Malgré une phase préalable de prise en main du logiciel, son utilisation pendant la conception est d'abord marquée par la manipulation au détriment des activités d'élaboration de solutions. Le manque d'expérience avec le logiciel agit comme contrainte en réduisant le choix des solutions. Dès que la forme des solutions techniques envisagées ne relève plus d'une géométrie élémentaire, les élèves ont besoin de l'aide du professeur, non seulement pour la

représenter avec logiciel, mais aussi pour évaluer le temps requis par l'ensemble de la réalisation.

5. PERSPECTIVES

Le compte rendu de l'activité d'une dyade, dans un moment scolaire particulier, montre comment un logiciel de CAO peut être utilisé par les élèves à la manière de concepteurs et comment des connaissances technologiques et géométriques peuvent être mobilisées. Ainsi, l'étude fournit un exemple des possibilités d'apprentissage qu'offre une situation de conception réalisable avec les moyens humains et matériels préconisés par les instructions officielles. Elle en signale également la difficulté, notamment sur le plan du travail du professeur.

Elle débouche sur quatre axes de recherche pour l'enseignement et la fabrication :

4 axes de recherche pour l'enseignement de la technologie...

- celui de la construction de dispositifs scolaires permettant la mise en place de situations d'apprentissage reflétant des situations de conception et fabrication en milieu industriel ;
- celui des caractéristiques que devraient avoir des outils matériels et sémiotiques en référence avec ceux du monde de la conception industrielle, pour être utilisés en éducation technologique ;
- celui des modalités d'appropriation de tels outils par les élèves ;
- celui des habiletés professionnelles nécessaires pour les enseignants chargés de conduire leurs élèves dans des activités en référence avec la conception industrielle.

...fondé sur des pratiques de conception et de fabrication

De cette première étude, surgit ainsi la nécessité de comparer différentes façons de familiariser les élèves avec les outils des concepteurs, en particulier avec les logiciels de CAO. Cette familiarisation, au cours d'unités de technologie de l'information, peut être plus ou moins contextualisée en modulant l'importance relative donnée aux aspects liés à l'outil en lui-même et aux aspects technologiques et géométriques. Ceci pourrait influencer l'utilisation ultérieure des logiciels lors de scénarios de conception, ainsi que donner lieu à des variations dans les domaines de connaissances mobilisés. Nous poursuivons notre recherche dans une optique systématique nécessitant d'une part la mise en place de situations de conception réduites visant à évaluer les raisonnements des élèves, et d'autre part, le réinvestissement de la grille présentée dans ce texte pour le traitement des données. L'usage de ces situations réduites pourrait être étendu à d'autres dispositifs scolaires en technologie, tels que des scénarios axés sur la fabrication. Par le présent travail, en constituant des éléments théoriques et méthodologiques,

nous nous sommes engagés dans l'étude de la mise en place, l'observation, et l'analyse des conduites de processus de conception dans des situations scolaires impliquant des outils professionnels.

Alix Géronimi
Laboratoire des sciences de l'éducation,
UPMF et IUFM de Grenoble
Alix.Geronimi@ac-grenoble.fr

Erica de Vries
Laboratoire des sciences de l'éducation,
UPMF et IUFM de Grenoble
Erica.Devries@upmf-grenoble.fr

Guy Prudhomme
Laboratoire sols, solides, structures (3S),
UJF, Grenoble
Guy.Prudhomme@hmg.inpg.fr

Jacques Baillé
Laboratoire des sciences de l'éducation,
UPMF et IUFM de Grenoble
Jacques.Baille@upmf-grenoble.fr

BIBLIOGRAPHIE

BAILLÉ, J. & BRISSAUD, D. (1999). À propos de l'enseignement de la technologie. In D. Brissaud, C. Comiti, L. Dabène & M. Masson (Éds.). *Didactiques, Technologies et Formation Professionnelle*. Grenoble : Publications du LIDILEM. vol. 2, p. 65-77.

BARON, G.-L. & BRUILLARD, É. (1996). *L'informatique et ses usagers dans l'éducation*. Paris : PUF.

BELLIÈS, L. (2002). *La conception : processus d'élaboration et d'évaluation de représentations pour l'action*. Thèse de doctorat en ergonomie, École pratique des hautes études, Paris.

COMBARNOUS, M. (1984). *Les techniques et la technicité*. Paris : Éditions sociales.

DARSES, F. (1992). *Mécanismes cognitifs de gestion de contraintes dans la résolution de problèmes de conception*. Communication présentée à ERGO-IA'92, Biarritz, 7-9 octobre 1992.

DAVIES, L.T. (2004). Planning, managing and teaching decision making for 11-14 olds. *PATT/ITEA Albuquerque, New Mexico, USA*.

DE VRIES, E. (1994). *Structuring information for problem solving*. Thèse de doctorat, université de technologie d'Eindhoven, Eindhoven, Pays-Bas.

DE VRIES, E. & DE JONG, T. (1999). The design and evaluation of hypertext structures for supporting design problem solving. *Instructional Science*, n° 27, p. 285-302.

- DEFORGE, Y. (1981). *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*. Mâcon : Champ Vallon.
- GRANGER, G.-G. (1995). *Le probable, le possible et le virtuel*. Paris : Odile Jacob.
- JEANTET, A. (1998). Approches socio-techniques. In M. Tollenaere (Éd.). *Conception de produits Mécaniques, Méthodes, Modèles, Outils*. Paris : Hermès. p. 115-138.
- LAWLER, T. (2001). Explorations in « bottom-up » strategies for the teaching of computer aided design. *PATT/ITEA conference, Haarlem, Netherlands*.
- LEBAHAR, J.-C. (1996). L'activité de simulation d'un dessinateur CAO dans une tâche de conception. *Le Travail Humain*, n° 56, p. 253-275.
- LEBEAUME, J. & MARTINAND, J.-L. (coord.) (1998). *Enseigner la Technologie au collège*. Paris : Hachette.
- LONGCHAMPT, P. (2004). *Co-évolution et processus de conception intégrée de produits : Modèle et support de l'activité de conception*. Thèse de doctorat, INPG de Grenoble, Grenoble.
- MARTINAND, J.-L. (1986). *Connaître et transformer la matière*. Berne : Peter Lang.
- MARTINAND, J.-L. (2003). La culture technique et l'école française : entre Prométhée et Sisyphe. *Actes en ligne du colloque européen « La culture technique : un enjeu de société »*. Paris, 20 et 21 novembre 2003.
- PERRIN, J. (2001). *Concevoir l'innovation industrielle*. Paris : CNRS éditions.
- PRUDHOMME, G. (1999). *Le processus de conception de systèmes mécaniques et son enseignement*. Thèse de doctorat, non-publiée, université Joseph Fourier, Grenoble.
- PRUDHOMME, G. & BRISSAUD, D. (2000). Organisation de la conception de systèmes mécaniques : évolutions et ruptures. *The romanian review of mechanics of precision, optics & mechatronics*, n° 18, p. 1848-1854.
- RABARDEL, P. (1995). *Les hommes et les technologies : approche cognitive des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- RABARDEL, P. & WEILL-FASSINA, A. (1984). *L'apprentissage de la géométrie du dessin technique*. INRP, Rapports de recherches, n° 9, p. 8.
- RANUCCI, J.-F. (1999). Démarche de design industriel et CFAO en technologie au collège. *Actes des XXI^e journées de Chamonix*. p. 411-416.
- ROTH, W.M. (1996). Art and Artifact of children's designing : a situated cognition perspective. *The Journal of the Learning Sciences*, n° 5, p. 129-166.
- SIMON, H.A. (1973). The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, n° 4, p. 181-201.
- TICHKIEWITCH, S., TIGER, H. & JEANTET, A. (1993). *Ingénierie simultanée dans la conception de produits*. Université d'été du pôle Productique Rhône Alpes, Aussois.

VÉRILLON, P. (1996). Contribution à l'analyse des situations d'enseignement-apprentissage d'instruments sémiotiques de communication technique. *Aster*, n° 23, p. 185-215.

VÉRILLON, P. (2003). Problème et technologie : brève incursion dans la littérature pour introduire le séminaire. A paraître dans : *Actes du séminaire de didactique des disciplines technologiques*, Cachan, 2001-2002.

VINCK, D. & JEANTET, A. (1995). Mediating and commissioning objects in the socio-technical process of product design : a conceptual approach. In D. MacLean, P. Saviotti & D. Vinck (Eds.), *Management and new technology : design, networks and strategy*. COST Social science series, Bruxelles, Commission of European Union. p. 111-129.

VISSER, W. (1990). More or less following a plan during design : opportunistic deviations in specification. *International Journal of Man-Machine Studies*, n° 33, p. 247-278.

WEILL-FASSINA, A. (1973). La lecture du dessin industriel : perspectives d'étude. *Le Travail Humain*, n° 36, p. 121-140.

FRANCE : MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE : COPRET (1984). *Proposition de la COPRET pour l'enseignement de la Technologie au Collège*.

FRANCE : MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1997). *Le nouveau collège : Programmes du cycle central, livret 1*. Paris : CNDP.

FRANCE : MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (1997). *Documents d'accompagnement du cycle central*. Paris : CNDP.