

Bonnardel, N., & Rech, M. (1998). Les sources d'inspiration en conception. *Sciences et Techniques de la Conception*, 6, 37-53

Les sources d'inspiration en conception

Intra- and interdomain objects : their role in designers' mental activities

Le rôle des objets intra- et interdomaines

Nathalie Bonnardel – Magali Rech

CREPCO - UMR 6561 : CNRS & Université de Provence
29, avenue Robert Schuman
13621 Aix en Provence cedex

Résumé. Dans la perspective de contribuer à expliquer la composante créative développée dans les activités de conception "non routinières", une étude expérimentale a été mise en place auprès de concepteurs - étudiants dans une section d'Arts appliqués. Cette étude, qui repose sur une comparaison "conception libre" - "conception guidée", permet d'analyser l'effet de plusieurs facteurs concernant les objets dont peuvent s'inspirer les concepteurs pour concevoir l'objet demandé (objets-sources d'inspiration "intradomaines" vs. "interdomaines", intitulés d'objets vs. exemples précis). Les concepteurs devant résoudre le problème proposé en raisonnant à haute voix, nous avons pu identifier les différents objets jouant le rôle de sources d'inspiration pour ces concepteurs. Les résultats obtenus permettent de comparer la quantité d'objets évoqués selon les conditions expérimentales, de caractériser la nature des objets évoqués et d'identifier des étapes d'évocation privilégiées. Certains de ces résultats suggèrent une nouvelle approche du raisonnement par analogie dans les activités de conception et nous permettent de présenter certaines propositions pour le développement de systèmes d'aide à la conception.

MOTS-CLÉS : activité de conception, design, créativité, réutilisation de connaissances, raisonnement par analogie, raisonnement par cas, systèmes d'aide à la conception.

Abstract. Towards the end of contributing to explain creativity in "nonroutine" design activities, an experimental study has been conducted with designers - students in Applied Arts. This study, which is based on a comparison "free

design" - "guided design", allows us to analyze the effect of factors linked to the objects that designers can refer to for designing a specific object ("intradomain" vs. "interdomain" objects-sources of inspiration, headings of objects vs. precise examples). The designers had to think aloud while solving the design problem. Thus, we were able to identify the different objects they used as sources of inspiration. The results we obtained allow a comparison of the number of evoked objects according to the experimental conditions, a characterization of the evoked objects and an identification of richest stages of evocation. Some of these results suggest a new approach of analogical reasoning in design activities and allow us to derive some proposals for design support systems.

KEY-WORDS : design activity, creativity, reuse of knowledge, analogical reasoning, case-based reasoning, design support systems.

1. Introduction

Concevoir un objet, quel qu'il soit, requiert une part de *créativité* indéniable, mais qui apparaît souvent assez difficile à expliquer – bien que les recherches sur ce thème se développent (cf., par exemple, Boden [BOD90], Hofstadter [HOF85], Lebahar [LEB94]). Une telle créativité se manifeste dans un cadre précis, que l'on qualifie, en psychologie cognitive, de *résolution de problème* : le concepteur doit définir un produit ayant une fonctionnalité particulière et se conformant à certaines spécifications ("but" de l'activité de conception) mais il ne dispose d'aucune procédure directement applicable pour atteindre ce but [MAL80]. Les problèmes de conception présentent cependant certaines spécificités, aussi allons-nous tout d'abord proposer une caractérisation succincte de ces problèmes.

Partant du constat que les concepteurs s'inspirent d'objets connus, qui peuvent être plus ou moins proches de l'objet à concevoir, nous nous référerons à un processus cognitif contribuant à expliquer la composante créative que développent les concepteurs (cf., par exemple, Kolodner [KOL93]) : *le raisonnement par analogie (ou par cas)*³. Puis nous présenterons une étude expérimentale permettant de préciser la mise en œuvre de ce raisonnement dans les activités de conception, de définir la nature des objets qui peuvent le mieux servir de sources d'inspiration pour les concepteurs (ou faciliter leur processus d'évocation) et d'identifier à quel moment la présentation d'objets-sources d'inspiration est la plus souhaitable. Les résultats ainsi obtenus donneront finalement lieu à une

³ Bien que les différences entre le raisonnement par analogie et par cas soient clairement établies (cf., par exemple, Visser [VIS96]), nous préférons, pour simplifier notre propos, associer ces deux processus cognitifs.

discussion et sous-tendront certaines propositions pour le développement de systèmes d'aide à la conception.

2. Conception et raisonnement par analogie

2.1. Caractérisation des problèmes de conception

La résolution de problèmes de conception se révèle tout particulièrement complexe, en raison du caractère à la fois *mal défini et ouvert* des problèmes de conception.

Le caractère "mal défini" (ou "mal structuré") de ces problèmes, reconnu depuis de nombreuses années, souligne le fait que le concepteur dispose, au départ, d'une représentation mentale incomplète et imprécise du but du problème, c'est à dire de l'objet à concevoir [EAS69, SIM73]. Ce n'est que progressivement, au cours même de la résolution de ce problème, que le concepteur complète et précise sa représentation mentale en choisissant certaines options de conception. De ce fait, on ne peut dissocier la phase de construction de la représentation du problème – "problem framing" – de celle de résolution du problème – "problem solving" – [LAN86, SIM95]. Chaque concepteur se construit ainsi sa propre représentation du problème et traite en fait un problème qui lui est spécifique.

Les problèmes de conception peuvent, également, être considérés comme "ouverts", en ce sens qu'un problème donné admet une variété de solutions possibles [FUS89]. Ainsi, plusieurs concepteurs confrontés à un même problème construisent des représentations mentales différentes de ce problème et parviennent à des solutions différentes, bien que toutes acceptables [BIS88].

La représentation mentale que se construisent les concepteurs est donc déterminante du cheminement de résolution de problème et de la solution finale à laquelle parvient chaque concepteur.

La créativité qui se manifeste dans l'élaboration d'un objet nouveau dépend, selon nous, de la représentation mentale que se construit le concepteur, ou plus précisément des différentes *images mentales* qu'il va évoquer au cours des étapes de "problem-framing" et de "problem-solving". Les images mentales en question sont celles d'objets plus ou moins familiers pour le concepteur et dont il va s'inspirer pour, à la fois, comprendre le problème de conception et le résoudre. Nous nous intéressons ainsi à *la dynamique des objets que le concepteur considère pour construire progressivement sa représentation de l'objet à concevoir et, ce faisant, résoudre le problème.*

2.2. Raisonnement par analogie

Au cours d'observations antérieures, dans un domaine de conception de produits de haute technologie (conception de produits aérospatiaux), nous avons

pu constater que dans les situations requérant une réelle innovation, les concepteurs pouvaient s'inspirer d'objets qu'ils connaissaient – non seulement dans leur domaine de spécialité professionnelle mais aussi en dehors – pour reprendre le principe de fonctionnement de ces objets et l'utiliser pour l'objet à concevoir. Par exemple, un concepteur chargé de la conception d'un réflecteur déployable en orbite, et dont le principe de déploiement ne pouvait être repris des réflecteurs préexistants, s'était inspiré du principe "de tirage" des rideaux de sa salle de travail, pour inventer un principe permettant de plier (sur terre) la surface réfléchissante du réflecteur sans qu'elle s'emmêle dans la structure métallique sous-jacente [BON92]. De telles observations sont fréquentes dans le cadre des activités de conception (cf., par exemple, Détienne [DET91], Visser [VIS96]) et nous amènent à un constat évident : les concepteurs s'inspirent des objets qu'ils connaissent pour concevoir des objets nouveaux, que les objets-sources d'inspiration appartiennent ou non à leur domaine professionnel.

Le type de raisonnement qui vient d'être décrit présente les spécificités du raisonnement par analogie : le concepteur transfère le principe de fonctionnement d'un objet connu ("objet-source" ou "solution-source") pour élaborer le principe de fonctionnement de l'objet à concevoir ("objet-cible" ou "solution-cible").

Le raisonnement par analogie est toujours très étudié en psychologie cognitive, le plus souvent dans le cadre de problèmes plus circonscrits que les problèmes de conception (cf., par exemple, Cauzinille-Marmèche [CAU85] ou Ripoll [RIP in press]). Néanmoins, depuis quelques années, la mise en œuvre de ce processus dans les activités de conception commence à être également prise en compte, en intelligence artificielle et en psychologie cognitive, soit en tant que "raisonnement par analogie" proprement dit, soit dans le cadre d'un processus assez proche, celui du "raisonnement par cas" (cf., par exemple, Wang & Howard [WAN91], Purcell & Gero [PUR91], Visser [VIS96]). De telles études nous paraissent indispensables pour parvenir à comprendre la composante créative des activités de conception et, éventuellement, pour adapter les modèles généraux du raisonnement par analogie aux spécificités des problèmes de conception. Certains modèles semblent déjà plus adéquats que d'autres. Ainsi, le modèle SME de Gentner [GEN89], qui pose que toutes les correspondances possibles entre objets sont définies afin de choisir sur cette base la correspondance la plus pertinente, semble peu représentatif de la résolution des problèmes de conception. En effet, les concepteurs – et surtout ceux expérimentés – peuvent, sans mettre en œuvre une évaluation approfondie, choisir de développer une solution qui leur paraît d'emblée appropriée (parfois, quelques solutions en parallèle) ou, au contraire, déterminer immédiatement qu'une solution ne pourra pas convenir. De telles décisions ont été décrites comme résultant d'une procédure d'évaluation "globale" [BON92], qui apparaît à l'opposé d'une analyse approfondie et exhaustive de toutes les composantes d'une situation de conception. D'autres modèles peuvent sembler plus adéquats, tels que l'approche "pragmatique" de Holyak et Thagard [HOL89], qui tient compte du contexte et du but poursuivi lors de la mise en œuvre du raisonnement par analogie. Il en est de même du modèle Copycat de

Mitchell [MIT93], qui soumet la mise en correspondance de l'objet-cible et de l'objet-source au fait que ces objets sont perçus comme jouant le même rôle à un certain niveau d'abstraction. Ainsi, des correspondances qui peuvent être initialement aléatoires sont évaluées comme conduisant potentiellement au but recherché (ou, au contraire, comme inadéquates), ce qui va influencer la *perception* qu'a le résolveur du problème et conduire progressivement à des correspondances plus déterministes. L'importance de la *représentation* que le résolveur se construit du but du problème est, de plus, soulignée par certains auteurs, tels Wolstencroft [WOL89, cité dans VIS96], pour qui le raisonnement par analogie repose sur une première étape dite "d'identification" qui permet d'apprécier l'utilité de la mise en œuvre d'un raisonnement par analogie.

Dans le cadre de la résolution de problèmes de conception, la composante créative de l'activité des concepteurs semble dépendre de la *perception* et de la *représentation* que les concepteurs ont de l'objet à concevoir. Aussi avons-nous mis en place une situation de type expérimental permettant d'*appréhender et, dans une certaine mesure, de contrôler les objets que les concepteurs prennent en compte pour mieux cerner les propriétés de l'objet qu'ils doivent concevoir et, sur cette base, à la fois construire leur propre représentation du problème (phase de "problem-framing") et orienter la résolution de ce problème (phase de "problem-solving")*. Le cadre expérimental de cette étude et certaines hypothèses vont maintenant être présentés; les résultats obtenus seront ensuite décrits et donneront lieu à une discussion relative à l'apport de ces résultats d'un point de vue psychologique ainsi que dans une perspective d'assistance à la conception.

3. Cadre expérimental et hypothèses

3.1. Les concepteurs et la situation de conception

Pour analyser la prise en compte par les concepteurs d'objets pouvant jouer le rôle de sources d'inspiration pour l'objet qu'ils ont à concevoir, nous avons proposé une situation de conception à 10 étudiants volontaires, d'une section d'Arts appliqués (en 1ère F12 d'un Lycée de Marseille). Bien qu'il ne s'agisse pas de concepteurs confirmés, ces étudiants ont acquis certaines compétences en conception et sont réellement engagés dans la résolution de ce type de problèmes – certes moins complexes que ceux confiés à des experts mais qui en comportent les caractéristiques principales. Aussi désignons-nous ces étudiants par le terme de "concepteurs".

Le problème de conception qui leur a été soumis est le résultat d'une collaboration avec leur enseignante d'Arts appliqués, afin que la forme de ce problème soit compatible avec ceux qu'ils étaient habitués à traiter. Ainsi, le "cahier des charges" qui leur est proposé consiste, tout d'abord, en un scénario présentant à la fois l'objet à concevoir et son contexte d'utilisation (cf. Figure 1), puis en un rappel des contraintes à respecter.

Le propriétaire d'un cyber-café parisien [bref descriptif] décide d'équiper l'espace réservé aux utilisateurs avec une dizaine de tabourets à l'image "design contemporain" afin d'attirer une clientèle jeune.

Les tabourets souhaités devront amener l'utilisateur à adopter une bonne position assise, lui permettant de maintenir le dos en position droite. Dans ce but, les utilisateurs seront assis en posant les genoux sur un appui prévu à cet effet.

Les tabourets devront également permettre aux utilisateurs de se relaxer à certains moments, en leur offrant la possibilité de se balancer.

Figure 1. Description de l'objet à concevoir et de son contexte d'utilisation

La simple lecture de ce descriptif suscite, y compris chez les non-spécialistes de ce type d'objet, l'évocation d'objets connus... Afin d'appréhender les objets-sources d'inspiration évoqués par les étudiants en Arts appliqués, nous leur avons demandé de résoudre ce problème de conception en raisonnant à haute voix – technique de "verbalisation simultanée" souvent utilisée dans les études portant sur les activités de conception. Leur verbalisation et leur activité graphique de résolution du problème ont donné lieu à un enregistrement vidéo, puis à une retranscription de la verbalisation respectant la chronologie mais segmentée de manière à être mise en correspondance avec les schémas réalisés par les concepteurs.

La passation de l'expérience durait, pour chaque concepteur, 50 minutes au total (cette durée semblant raisonnable pour réaliser une ébauche de l'objet à concevoir) et se décomposait en deux phases de 25 minutes.

1. Pendant les premières 25 minutes, deux conditions expérimentales étaient constituées (comportant chacune 5 concepteurs) :

- Une condition dite "libre", dans laquelle les concepteurs résolvaient librement le problème et évoquaient spontanément des objets qu'ils connaissaient et dont ils souhaitaient s'inspirer pour mieux se représenter l'objet à concevoir et, sur cette base, résoudre le problème.
- Une condition dite "guidée", dans laquelle des intitulés d'objets leur étaient proposés en tant que sources d'inspiration potentielles. Ces intitulés pouvaient faire référence à des objets "intradomains", en ce sens qu'ils relevaient du domaine des sièges, ou à des objets "interdomaines", c'est à dire extérieurs à ce domaine. De tels intitulés font référence à des catégories d'objets ou à une sorte de "schéma mental" caractérisé par des traits prototypiques (i.e., communs à une catégorie d'objets donnés) sans pour autant susciter nécessairement l'évocation d'objets spécifiques. Par exemple, un rocking-chair peut être fabriqué dans différents matériaux et avoir une forme plus ou moins "design". Deux objets intradomains et deux objets interdomaines ont été proposés aux concepteurs; à chaque fois, l'un des intitulés faisait référence à un thème étudié en cours et l'autre à un thème non

étudié (cf. Tableau 1). Ces intitulés étaient inscrits chacun sur une chemise cartonnée et présentés de façon aléatoire aux concepteurs.

Type d'objets-sources	Intradomaine	Interdomaine
Non étudié en cours	Rocking-chair	Canoë
Étudié en cours	Tabouret "nomade"	Logotype

Tableau 1. Caractéristiques des objets-sources d'inspiration proposés aux concepteurs.

2. Pendant les 25 minutes suivantes, les concepteurs appartenant aux deux groupes se retrouvaient dans une situation apparemment similaire: ils disposaient tous à la fois des intitulés et d'une figure précise permettant d'instancier la notion schématique véhiculée par chacun des intitulés (i.e., d'une instance de chacune des catégories – cf. Annexe 1).

Les concepteurs de la condition "guidée" pouvaient ouvrir les chemises qui leur avaient été remises précédemment et qui comportaient chacune une figure présentant un objet spécifique. Ces chemises et leur contenu étaient directement remis aux concepteurs de la condition "libre".

Cette situation expérimentale permet d'appréhender l'influence que peuvent avoir les intitulés présentés seuls, par comparaison avec une situation "libre" et par comparaison avec l'influence qu'ont les instances. Elle permet également d'appréhender l'influence que peuvent avoir les objets-sources d'inspiration selon le moment auquel ils sont introduits dans l'activité de conception.

3.2 Les hypothèses

• Hypothèse 1

Notre première hypothèse s'appuie sur des résultats antérieurs de psychologie cognitive et, en particulier, sur l'identification dans différents domaines d'une "fixité fonctionnelle" (cf. Weisberg [WEI88] ou, de façon bien plus ancienne, Luchins [LUC42]). Par exemple, certaines études portant sur le raisonnement par analogie ont montré que les élèves en situation scolaire ont tendance à reproduire systématiquement ce que les enseignants leur ont présenté à titre d'exemples et qu'ils ne s'en dégagent que difficilement [FRI88]. Une telle fixité a également été identifiée dans le cadre des activités de conception et désignée par le terme de "design fixation". Ainsi, Jansson et Smith ([JAN89], cité dans [PUR91]) ont montré que la présentation, à titre d'exemples, de représentations graphiques

d'objets susceptibles de répondre aux spécifications énoncées dans la définition d'un problème de conception, amène les concepteurs – et, notamment, des concepteurs professionnels – à reproduire de nombreux aspects de ces objets, y compris des aspects inappropriés ou incorrects.

Dans le cadre de notre étude, les concepteurs intervenant dans la condition guidée pourraient, de même, avoir tendance à se focaliser sur les types d'objets qui leur sont suggérés par les intitulés. Ces intitulés limiteraient alors l'espace de recherche d'objets connus dont les concepteurs peuvent s'inspirer pour construire leur représentation de l'objet particulier à concevoir. Concrètement, cela implique que *les concepteurs de la condition guidée devraient évoquer moins d'objets-sources d'inspiration que les concepteurs de la condition libre.*

• Hypothèse 2 :

Les intitulés d'objets interdomaines présentés d'emblée aux concepteurs de la condition guidée pourraient, par un effet "boule de neige", inciter ces concepteurs à *considérer davantage d'objets interdomaines* que les concepteurs de la condition libre. Ainsi, la suggestion d'objets a priori indépendants de l'objet à concevoir montrerait aux concepteurs qu'il est tout à fait *licite* de ne pas se limiter à la catégorie d'objets dont relève celui qu'ils doivent concevoir et que cette façon de procéder peut présenter un pouvoir *heuristique* non négligeable.

• Hypothèse 3

L'influence des objets-sources d'inspiration peut être plus ou moins importante selon les objectifs courants des concepteurs et, ainsi, selon qu'ils sont plutôt engagés dans une phase de "problem-framing" ou de "problem-solving". La construction de la représentation de l'objet à concevoir pouvant être centrale au début du traitement du problème, nous nous attendons à une *diminution du nombre d'objets-sources d'inspiration évoqués par les concepteurs au fur et à mesure que la résolution du problème progresse.*

4. Résultats

Par souci de clarté, nous présentons ici uniquement les résultats, leurs commentaires s'intégrant à la discussion (section 5).

4.1 Le nombre total d'objets-sources d'inspiration évoqués

Un premier résultat est que, contrairement à l'hypothèse 1, les concepteurs intervenant dans la condition guidée évoquent significativement plus d'objets-sources d'inspiration que les concepteurs de la condition libre : respectivement, au total 33 objets vs 7; soit, en moyenne, 6,6 objets par concepteur vs. 1,4 (différence significative au seuil de .05)

4.2 Le nombre d'objets-sources d'inspiration interdomaines évoqués

Conformément à l'hypothèse 2, les concepteurs intervenant dans la condition guidée évoquent, en moyenne, significativement plus d'objets interdomaines que les concepteurs de la condition libre : respectivement 3,8 objets interdomaines par concepteur vs. 0,2 (différence de nouveau significative au seuil de .05). Ainsi, la quasi-totalité des objets évoqués par les concepteurs de la condition libre est de nature intradomaine, alors que cette tendance s'inverse chez les concepteurs de la condition guidée (cf. Tableau 2).

Condition de passation Nature des objets évoqués	Condition libre	Condition guidée
Intradomaine	6	14
Interdomaine	1	19

Tableau 2. Nombre et nature des objets évoqués selon les conditions de passation

4.3. Le moment d'évocation des objets-sources d'inspiration

Conformément à l'hypothèse 3, nous constatons que, quelle que soit leur condition de passation de l'expérience, les concepteurs évoquent nettement plus d'objets-sources d'inspiration pendant la première phase (i.e., les premières 25 minutes) que par la suite (cf. Tableau 3).

Condition de passation Moment d'évocation	Condition libre	Condition guidée
1ère phase (premières 25 mn.)	6	26
2ème phase (dernières 25 mn.)	1	7

Tableau 3. Quantité d'objets évoqués en fonction des phases de la conception et des conditions de passation

5. Discussion

Les résultats obtenus sont tout d'abord commentés d'un point de vue psychologique. En dérivent ensuite certaines propositions pour des systèmes d'aide à la conception reposant sur le raisonnement par analogie et par cas.

5.1. Intérêt psychologique des résultats obtenus

5.1.1. Les libellés : un effet facilitateur du processus d'évocation

Notre premier résultat se distingue des résultats obtenus antérieurement dans certaines études sur le raisonnement par analogie, en particulier celles évoquées précédemment (cf. les résultats de Friemel & Richard [FRI88] et ceux de Jansson & Smith [JAN89]) : la présentation de libellés aux concepteurs de la condition guidée n'a pas eu pour effet de restreindre leur espace de recherche d'objets-sources d'inspiration. Au contraire, ces concepteurs ont évoqué nettement plus d'objets que les concepteurs de la condition libre; ce qui traduit plutôt un effet facilitateur du processus d'évocation.

Nos résultats peuvent, par contre, être rapprochés de ceux de Purcell & Gero [PUR91], obtenus dans le cadre d'une expérience portant sur l'effet de la présentation d'exemples pour la résolution de problèmes de conception. Ces auteurs ont en partie répliqué, auprès d'étudiants en Architecture, les expériences réalisées par Jansson & Smith [JAN89], auprès d'étudiants et de professionnels en génie mécanique ("mechanical engineering"). Dans l'étude de Purcell et Gero, l'effet de la présentation graphique des objets ayant le statut d'exemples était comparé à l'effet d'une description verbale de ces mêmes objets, mais l'effet de "design fixation" attendu n'a été observé de façon convaincante pour aucun des modes de présentation adoptés.

En ce qui concerne nos résultats, deux types de facteurs ayant un rôle explicatif peuvent être envisagés :

1. En accord avec certaines explications fournies par Purcell & Gero [PUR91], nous considérons que l'effet de "fixité fonctionnelle" ou, dans le cas des activités de conception, de "design fixation" peut dépendre du niveau d'expertise : *cet effet peut s'accroître au fur et à mesure que le niveau d'expertise des concepteurs augmente*. Ainsi les concepteurs ayant participé à notre étude sont des étudiants – de même que ceux de l'étude de Purcell & Gero – alors que Jansson et Smith [JAN89] ont, plus particulièrement, travaillé avec des professionnels. Les concepteurs expérimentés et experts seraient davantage influencés que des débutants par les objets spécifiquement liés à celui qu'ils doivent concevoir. Par contre, les débutants sont plus influencés par les objets qui leur sont familiers, même si ceux-ci ne sont pas directement liés à l'objet à concevoir.

Une telle explication nous paraît s'appliquer spécifiquement à la résolution de problèmes de conception, contrairement à des problèmes scolaires (comme, par exemple, des exercices de mathématiques). Comme nous l'avons vu dans la caractérisation des problèmes de conception proposée au début de cet article, les problèmes de conception sont "ouverts" et laissent ainsi la possibilité aux concepteurs de s'inspirer d'objets très diversifiés. Aussi des concepteurs débutants peuvent-ils se référer à des objets qui leur sont familiers même s'ils ne sont pas spécifiquement liés à l'objet à concevoir. Ce n'est évidemment pas possible dans

le cas de problèmes scolaires traditionnels où les élèves doivent résoudre un problème en appliquant, par exemple, un théorème qui leur a été présenté à la fois de façon théorique (ou rationnelle) et dans le cadre d'exercices-types. L'apport effectif d'un exposé théorique étant assez limité pour les élèves, ceux-ci ne peuvent se référer qu'aux exercices qui leur ont été proposés antérieurement (cf. Bastien [BAS97]).

2. Les résultats que nous avons obtenus peuvent, à notre avis, s'expliquer également par la nature des objets-sources d'inspiration proposés aux concepteurs : les libellés renvoient à des catégories. Ainsi, au lieu de se focaliser sur des objets spécifiques, comme c'est le cas lors de la présentation d'exemples ou de "cas", ces catégories peuvent amener les concepteurs à évoquer une diversité d'objets connus et, ce faisant, étendre leur espace de recherche d'objets-sources d'inspiration.

Bien que l'influence des catégories n'ait jamais été observée antérieurement, ce résultat apparaît compatible avec certaines descriptions du raisonnement par analogie proposées dans le cadre de tâches expérimentales plus traditionnelles. Pour expliquer la facilité avec laquelle nous parvenons à apparier de façon efficace une source et sa cible sans avoir à effectuer, ni à tester tous les appariements possibles entre ces deux objets, on peut supposer l'existence d'une catégorisation abstraite des objets en mémoire à long terme. Plus précisément, comme l'a proposé Ripoll [RIP in press], deux types de catégorisation peuvent intervenir :

- l'une relative aux caractéristiques de structure des objets (renvoyant, par exemple, à leur principe de fonctionnement), dite "CSTG" (pour Catégorie STructurale Générale), et qui permet d'expliquer les transferts analogiques non seulement intra- mais aussi interdomaines (tels que celui décrit, en début d'article, à propos du principe de "tirage" des rideaux et de la structure réfléchissante du réflecteur déployable);
- l'autre relative aux caractéristiques de surface des objets (renvoyant à leur aspect extérieur, à leur apparence), dite "CSG" (pour Catégorie Sémantique Générale), et qui sous-tend spécifiquement les transferts analogiques intradomaines.

Dans le cadre des activités de conception, la CSG peut se rapprocher de la notion de "design prototype", proposée par Gero [GER90], pour désigner "a conceptual schema for representing a class of generalized heterogeneous grouping of elements derived from *alike design cases* that provides the basis for the start and the continuation of a design" (p. 30). Cet auteur spécifiant que les "éléments généralisés" proviennent de "cas de conception se ressemblant", cela signifie qu'il s'agit d'analogies intradomaines. Néanmoins, les résultats que nous avons obtenus tendent à montrer également l'existence et le rôle important dans les activités de conception de catégories relatives aux caractéristiques de structure des objets pris en compte par les concepteurs.

5.1.2 Une évocation majoritaire d'objets-sources d'inspiration "interdomaines"

Le second résultat que nous avons obtenu permet de préciser l'analyse précédente : la majeure partie des objets-sources d'inspiration évoqués par les concepteurs de la condition guidée sont de nature interdomaine (contrairement aux concepteurs de la condition libre qui évoquent surtout des objets de nature intradomaine). Ainsi, l'effet facilitateur décrit précédemment peut être dû surtout à la présentation d'objets-sources interdomaines. Par exemple, le fait de citer un "canoë" en tant qu'éventuel objet-source d'inspiration peut montrer aux concepteurs qu'ils ont la possibilité de s'inspirer d'objets très divers, même si ces objets sont a priori très éloignés de l'objet à concevoir, et que le pouvoir heuristique de la prise en compte de tels objets est potentiellement important. Ce faisant, le rôle joué par la CSTG deviendrait particulièrement prépondérant : les concepteurs s'attacheraient moins aux caractéristiques de surface de l'objet qu'ils doivent concevoir et rechercheraient dans des domaines variés des objets connus présentant des principes de fonctionnement en partie communs avec ceux souhaités pour l'objet à concevoir.

5.1.3. Un impact plus important au début de la résolution du problème

Le troisième résultat obtenu a permis de montrer que les objets-sources d'inspiration que l'on a proposés sont plus efficaces lorsqu'ils sont présentés dès le début de la résolution du problème. Cette efficacité se manifeste par le fait que ces objets-sources d'inspiration incitent les concepteurs à évoquer davantage d'objets leur permettant de compléter et de préciser leur représentation du problème. Comme cela a été décrit précédemment, la résolution de problèmes de conception repose sur des cycles de "problem-framing" et de "problem-solving". Néanmoins, les concepteurs sont davantage engagés dans la construction d'une représentation mentale de l'objet à concevoir en début de résolution du problème; aussi est-ce surtout à ce moment-là que la présentation d'objets-sources d'inspiration est la plus appropriée. Par la suite, de tels objets peuvent rester intéressants pour les concepteurs mais leur apport est moins pertinent pour les questions que se posent alors les concepteurs, probablement davantage centrées sur des caractéristiques plus précises de l'objet à concevoir.

5.2 Quelques propositions pour les systèmes d'aide à la conception

Les résultats qui ont été présentés nous permettent de souligner quelques points importants pour le développement de *systèmes d'aide à la conception reposant sur le raisonnement par analogie ou par cas*.

- Il apparaît important de proposer aux utilisateurs de systèmes à base de connaissances non seulement des "cas" ou des exemples d'objets conçus antérieurement (cf., par exemple, le système KID d'aide à la conception de plans

de cuisines [NAK93]), mais aussi des catégories plus générales pouvant les orienter, de façon moins spécifique, dans des directions auxquelles ils ne penseraient pas spontanément.

- Toujours dans la perspective d'accroître l'espace de recherche d'objets susceptibles de faciliter la compréhension et la résolution du problème, il semble souhaitable de proposer aux utilisateurs de tels systèmes d'aide des objets-sources d'inspiration interdomaines. Cela implique, notamment, de caractériser les objets que comporte la base de connaissance du système à la fois en fonction de leurs caractéristiques de surface et en fonction de leurs caractéristiques de structure (ou sur leur principe de fonctionnement), de manière à permettre des appariements basés sur la structure des objets.
- Enfin, pour que l'apport de systèmes d'aide reposant sur le raisonnement par analogie ou par cas soit le plus efficace pour les concepteurs, il apparaît souhaitable que leur utilisation soit proposée dès le début du traitement du problème.

6. Conclusion

Par cette étude, nous avons apporté des éléments d'information sur la façon dont les concepteurs procèdent pour préciser et compléter leur représentation initiale de l'objet à concevoir. Les concepteurs se réfèrent à des objets préexistants appartenant non seulement au domaine de conception considéré mais aussi à des objets extérieurs à ce domaine. Nous avons, notamment, montré que ce sont les objets extérieurs au domaine qui peuvent constituer la majeure source d'inspiration pour les concepteurs. La phase de "problem-framing" ayant en grande partie lieu dès le début de la résolution du problème, c'est à ce moment-là que les concepteurs évoquent le plus d'objets-sources d'inspiration et qu'une assistance au raisonnement par analogie peut être la plus pertinente.

Les résultats qui ont ainsi été présentés demandent à être complétés par d'autres analyses ainsi que par des études complémentaires. Ainsi, nous pouvons analyser l'effet du niveau de familiarité des objets qui ont été proposés aux concepteurs en tant que sources d'inspiration potentielles, puisque certains d'entre eux ont été l'objet d'un enseignement spécifique, d'autres entrent dans le cadre des objets familiers, et d'autres encore peuvent être plus éloignés de leurs connaissances scolaires ou générales.

Une autre direction de recherche complémentaire à cette étude consiste à déterminer comment les concepteurs utilisent les objets-sources d'inspiration qu'ils évoquent ou qui leur sont proposés, pour préciser à la fois mentalement et graphiquement les caractéristiques de l'objet à concevoir. Notamment, l'une de nos perspectives d'analyse complémentaire consiste à étudier le processus d'évaluation que mettent en œuvre les concepteurs pour apprécier si un objet-source constitue une source d'inspiration potentiellement intéressante – lors de

l'étape d'identification décrite par Wolstencroft [WOL89] – et pour déterminer quels traits particuliers d'un tel objet peuvent être repris pour l'objet-cible à concevoir. En effet, l'évaluation semble être, en plus du raisonnement par analogie, l'un des processus particulièrement importants dans la créativité (cf. Kolodner [KOL93]). De telles études contribueront à expliquer le passage de la représentation mentale d'objets connus à celle de l'objet à concevoir, jusqu'à la réalisation, en fin de résolution du problème, d'une représentation graphique complète et précise de l'objet conçu (qui pourra alors être fabriqué).

Remerciements

Nous tenons à remercier les enseignants du Lycée Diderot de Marseille et les élèves de 1ère F12 qui ont contribué à ce travail.

Nous remercions également Willemien Visser pour l'aide efficace qu'elle a apportée à notre recherche bibliographique.

Références bibliographiques

- [BAS97] BASTIEN, C. *Les Connaissances de l'Enfant à l'Adulte*. Paris : Colin/Masson, 1997.
- [BIS88] BISSERET, A., FIGÉAC-LETANG, C. & FALZON, P. *Modeling opportunistic reasonings: the cognitive activity of traffic signal setting technicians*. (Rapport de Recherche INRIA n° 893). Rocquencourt : INRIA, 1988.
- [BOD90] BODEN, M. *The Creative Mind: Myths & Mechanisms*. London: Weidenfeld & Nicolson, 1990.
- [BON92] BONNARDEL, N. *Le rôle de l'évaluation dans les activités de conception*. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence, 1992.
- [CAU85] CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J. & WEIL-BARAIS, A. Raisonnement analogique et résolution de problèmes. *Année psychologique*, n°85, 1985, p. 49-72.
- [DET91] DÉTIENNE, F. Reasoning from a schema and from an analog in software code reuse. *Empirical Studies of Programmers: Fourth Workshop*, New Brunswick, N.J., USA, December 6-8, 1991.
- [EAS69] EASTMAN, C. M. Cognitive processes and ill-defined problems: a case study from design. *Proceedings of the First Joint International Conference on I.A.*, Washington, D.C., 1969, p. 669-690.
- [FRI88] FRIEMEL, G. & RICHARD, J.-F. Apprentissage de l'utilisation d'une calculette. In J.-M. HOC & P. MENDELSON, *Les langages informatiques dans l'enseignement. Psychologie française*. Paris : Colin, 1988.
- [FUS89] FUSTIER, M. *La résolution de problèmes : méthodologie de l'action*. Paris : Editions ESF & Librairies Techniques, 1989.
- [GEN89] GENTNER, D. The mechanisms of analogical learning. In S. VOSNIADOU & A. ORTONY (Eds), *Similarity and analogical reasoning*, Cambridge: Cambridge University Press, 1989, p. 199-241.
- [GER90] GERO, J. S. Design prototypes : a knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, Winter, 1990, p. 27-36.
- [HOF85] HOFSTADTER, D.R. *Magical Thinking : Questing for the Essence of Mind and Pattern*. New-York: Basic Books, 1985.
- [HOL89] HOLYAK, K.J. & THAGARD, P.R. A computational model of analogical problem solving. In S. VOSNIADOU & A. ORTONY (Eds), *Similarity and analogical reasoning*, Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [JAN89] JANSSON, D.G. & SMITH, S.M. Design fixation. In National Science Foundation, *Proceedings of the Engineering Design Research Conference*, College of Engineering, University of Massachusetts, Amherst, 1989, p. 53-76.
- [KOL93] KOLODNER, J. L. Understanding creativity: A case-based approach. In S. WESS, K.-D. ALTHOFF, M.M. RICHTER (Eds), *Topics in Case-Based Reasoning, Lectures Notes in Artificial Intelligence*, n° 837, Berlin: Springer-Verlag, 1993, p. 3-20.
- [LAN86] LANZARA, G. F. La théorie de la conception entre "problem-solving" et "problem-setting" : quelques implications cognitives et organisationnelles. In

- A. DEMAÏLLY & J. L. LEMOIGNE (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel*, Lyon : Presses Universitaires de Lyon, 1986, p. 447-454.
- [LEB94] LEBAHAR, J.-C. *Le Design Industriel. Sémiologie de la séduction et code de la matière*. Marseille : Editions Parenthèses.
- [LUC42] LUCHINS, A. S. Mechanization in problem-solving. *Psychological monographs*, n° 248, 1942.
- [MIT93] MITCHELL, M. *Analogy-Making as Perception: A Computer Model*. Cambridge: The MIT Press, 1993.
- [NAK93] NAKAKOH, K. *Increasing Shared Understanding of a Design Task between Designers and Design Environments: The Role of a Specification Component*, Dissertation Thesis, University of Colorado at Boulder, 1993.
- [PUR91] PURCELL, A.T. & GERO, J.S. The effects of examples on the results of a design activity. In J.S. GERO, *Artificial Intelligence in Design'91*, Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1991, p. 525-539.
- [RIP in press] RIPOLL, T. What this makes me think of that. *Thinking and Reasoning*, in press.
- [SIM73] SIMON, H. A. The Structure of Ill Structured Problems. *Artificial Intelligence*, n° 4, 1973, p. 181-201.
- [SIM95] SIMON, H. A. Problem forming, problem finding and problem solving in design. In A. COLLEN & W. GASPARSKI (Eds), *Design & Systems*, New Brunswick (USA): Transaction Publishers, 1995, p. 245-257.
- [VIS96] VISSER, W. Two functions of analogical reasoning in design: A cognitive-psychology approach. *Design Studies*, n° 17, 1996, p. 417-434.
- [WAN91] WANG, J. & HOWARD, H.C. A design-dependent approach to integrated structural design. In J.S. GERO, *Artificial Intelligence in Design'91*, Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd, 1991, p. 151-169.
- [WEI88] WEISBERG, R.W. Problem solving and creativity. In R.J. STERNBERG (Ed.), *The Nature of Creativity: Contemporary Psychological Perspectives*, Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- [WOL89] WOLSTENCROFT, J. Restructuring reminding and repair: What's missing from models of analogy?. *Proceedings of the Scandinavian Conference on A.I.*, Tampere, Finland, June 1989.

Annexe 1

Représentation graphique des objets-sources d'inspiration proposés aux concepteurs

