

Bonnardel, N., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2003). Analogie et résolution de problèmes. In C. Tijus (Ed.), *Métaphores et Analogies* (pp. 115-149). Paris : Hermès.

Chapitre 4

Analogie et résolution de problèmes

4.1. Introduction

Le raisonnement par analogie joue un rôle déterminant dans la résolution de problèmes. Cette assertion peut paraître triviale, puisque ce sont bien évidemment les connaissances extraites des problèmes sources déjà résolus qui guident le processus de résolution de nouveaux problèmes cibles. Toutefois, derrière cette proposition, se cachent des questions fondamentales liées aux hypothèses qui peuvent être faites sur l'architecture cognitive. Il s'agit, en particulier, d'hypothèses relatives à la nature, au fonctionnement et à l'évolution de l'architecture en fonction des situations rencontrées. L'analyse de la résolution de problèmes par analogie ne peut ainsi être déconnectée d'une interrogation sur le format selon lequel sont stockées les connaissances en mémoire à long terme (connaissances sémantiques, abstraites et générales, ou connaissances épisodiques, spécifiques et opérationnelles). Selon les réponses apportées à cette question, l'analyse des similitudes entre situations sources et situations cibles sera différente, ainsi que les critères d'appariement utilisés pour relier sources et cibles. Il faut alors s'interroger sur les processus d'évocation, conscients ou inconscients, mis en œuvre selon le problème à résoudre et sur la façon dont est exploitée la base de connaissances des sujets.

Après une présentation des données actuelles sur les structures de connaissances, schématiques ou plus spécifiques, qui orientent le processus de raisonnement par analogie, nous analyserons les caractéristiques qui différencient novices et experts, et comment peuvent être interprétés les processus d'automatisation. Nous étudierons ensuite les processus d'évocation permettant de rapprocher le problème cible à

Chapitre rédigé par Nathalie BONNARDEL, André DIDIERJEAN, Evelyne MARMÈCHE.

résoudre de situations sources déjà traitées. Nous développerons cet aspect à propos de tâches « créatrices » mal définies, dans lesquelles de multiples sources sont utilisées pour la résolution de problèmes. Dans la dernière partie de ce chapitre, nous nous interrogerons sur le caractère, conscient ou inconscient, des processus mis en jeu, en reliant la problématique de l'analogie à d'autres domaines dans lesquels ces questions sont davantage abordées (tels que les travaux sur la mémoire implicite et l'apprentissage implicite).

En résumé, c'est la diversité des modes de raisonnement analogique qui sera analysée dans ce chapitre, à travers les concepts centraux suivants : la représentation des connaissances (spécifique ou abstraite), l'accès aux connaissances (processus de reconnaissance, similitudes entre les situations sources et cibles, accès délibéré ou automatique aux connaissances), et la ré-organisation des connaissances (évolution de la nature des connaissances et des liens entre connaissances) au cours des épisodes de résolution traversés.

4.2. Schémas ou raisonnement à partir de cas ?

Poser cette question revient d'emblée à admettre qu'il ne peut y avoir d'analyse de la résolution de problèmes par analogie sans explicitation des connaissances qui sont évoquées et utilisées lors de la résolution. De quelle nature sont ces connaissances : abstraites ou spécifiques ? Dans ce cadre, la question-clé est celle de l'encodage des situations. Les réponses expérimentales qui ont été apportées récemment montrent que la résolution de problèmes par analogie ne peut s'expliquer par un processus unique. Le raisonnement par analogie est polymorphe. Schémas abstraits et traces spécifiques des épisodes antérieurs de résolution influencent, à des degrés divers, le raisonnement par analogie.

4.2.1. Rôle des schémas de problèmes dans le raisonnement par analogie

L'hypothèse qui a prévalu à partir des travaux princeps de Gick et Holyoak (1980, 1983) est que la résolution par analogie d'un problème cible passe par la médiation d'un schéma abstrait qui subsume la ou les situation(s) source(s) de référence. Ainsi, il n'y a pas d'appariement direct entre source(s) et cible. Les sources doivent être épurées des éléments contextuels spécifiques, ou de leurs traits de surface. Le schéma construit est un canevas abstrait qui ne contient plus que les caractéristiques structurales des situations sources, les propriétés et relations essentielles, la nature du but à atteindre et le principe de résolution. De tels schémas sont le plus souvent élaborés à partir de plusieurs situations isomorphes, par détection de similitudes (Cummins, 1992). Les processus inductifs qui président à la construction des schémas peuvent être mis en jeu de façon automatique (Anderson,

Kline et Beasley, 1979 ; Carbonnel, 1983 ; Michalsky, 1983 ; Wittlessea et Dorken, 1993), ou bien résulter de la mise en œuvre de stratégies délibérées de la part des sujets (Catambrone et Holyoak, 1989). Dans certains cas, cependant, un schéma abstrait peut être construit à partir d'une seule situation spécifique, mais les données expérimentales qui attestent de ce processus sont peu nombreuses (Anh, Brewer et Mooney, 1992 ; Elio et Anderson, 1983 ; Kieras et Bovair, 1986). Le processus d'abstraction reposerait alors sur les activités d'explicitation et de ré-élaboration développées à propos de la situation source, en référence à la théorie du domaine disponible. C'est l'approche dite *Explanation-Based Learning* (EBL), largement développée en intelligence artificielle (Dejong et Mooney, 1986 ; Mitchell, Keller et Kedar-Cabelli, 1986 ; Mooney, 1990).

4.2.2. L'influence des aspects spécifiques des épisodes passés de résolution

Il existe certes des résultats expérimentaux qui montrent que lorsque les sujets ont élaboré des schémas abstraits, le raisonnement par analogie est facilité. Cependant, de nombreuses recherches attestent que les traits de surface des situations jouent également un rôle fondamental dans les différentes phases du raisonnement par analogie (Heidenbluth et Hesse, 1996 ; Holyoak et Koh, 1987 ; Ross, 1987, 1989 ; Novick et Holyoak, 1991).

Pour Holyoak et Koh (1987), Clement et Gentner (1991), Gentner, Ratterman et Forbus (1993), les traits de surface de la situation cible interviennent essentiellement dans la phase d'évocation d'une source, la mise en correspondance ultérieure entre source et cible reposant quant à elle principalement sur des éléments structuraux. Dans ce cadre, les traits de surface servent surtout d'indices de récupération.

Mais un ensemble de résultats expérimentaux montrent que les traits de surface peuvent aussi intervenir dans la phase d'adaptation de la source à la cible. Les résultats obtenus par Ross (1984, 1987, 1989) sont à cet égard très démonstratifs. Après un apprentissage de quelques principes de probabilité présentés à partir d'exemples spécifiques, les sujets ont à résoudre de nouveaux problèmes nécessitant l'application de ces mêmes principes. Les résultats montrent que, même lorsque le problème cible est accompagné du principe de résolution à appliquer, il subsiste un effet facilitateur de la similarité entre l'exemple source et l'exemple cible. Les traits de surface ne servent donc pas uniquement d'indices de récupération, mais jouent aussi un rôle dans la phase d'adaptation de la source à la cible.

Ross et Bradshaw (1994) montrent en outre que les traits de surface que partagent la source et la cible peuvent influencer sur la compréhension de la cible, dès l'encodage de celle-ci. En effet, les sujets devaient lire une histoire pouvant être interprétée de deux façons différentes. La seule manipulation expérimentale consistait

à inclure dans cette histoire cible un mot d'une histoire source lue préalablement. Bien que ce mot soit *a priori* non pertinent pour la compréhension de l'histoire cible, il apparaît qu'il oriente néanmoins l'interprétation de cette histoire en réactivant le contexte de l'histoire source.

Les traits de surface des situations interviennent donc dans toutes les phases du raisonnement par analogie : dans les processus d'évocation de situations sources, mais aussi dans les processus d'adaptation d'une situation source à une situation cible, ainsi que dans l'encodage initial de la cible.

4.2.3. Le rôle déterminant des processus d'encodage des problèmes

La question de l'encodage des problèmes, sources et cibles, est centrale dans l'analyse de la résolution de problèmes par analogie. Selon le point de vue adopté pour représenter le problème cible et selon le degré de maîtrise ou de familiarité de ce problème pour le sujet, les problèmes sources évoqués seront différents. Réciproquement, selon l'encodage des problèmes sources, le transfert analogique sera de nature différente.

Selon un premier axe d'analyse, ce sont les activités d'abstraction qui sont privilégiées. Ainsi, susciter de la part du sujet des activités de comparaison entre situations favorise le transfert analogique (Cummins, 1992 ; Cauzinille-Marmèche et Julo, 1998), de même que demander aux sujets de détecter les ressemblances entre situations (Gick et Holyoak, 1983). Dans le même sens, plusieurs expériences ont montré que les sujets les plus susceptibles de généraliser à de nouvelles situations les solutions des problèmes traités sont ceux qui spontanément ont le plus tenté de s'auto-expliquer les corrigés de problèmes en des termes généraux (Chi, Bassok, Lewis, Reimann et Glaser, 1989 ; Pirolli et Bielaczyc, 1989 ; Fergusson 1990).

Selon un deuxième axe d'analyse, ce sont au contraire les annotations spécifiques liées aux cas traités qui influent sur la résolution ultérieure de nouveaux problèmes par analogie. L'indexage des problèmes traités, notamment en fonction des échecs et des impasses rencontrés lors du processus de résolution, joue un rôle important (Gick et McGarry, 1992). L'annotation des cas par les échecs de résolution permettrait aux sujets, qui sont confrontés aux mêmes difficultés lors de la résolution d'un problème cible, d'accéder à un cas source correspondant, et par suite à sa solution.

Les deux axes que nous venons d'évoquer, l'abstraction de schémas abstraits et l'annotation de cas spécifiques, apparaissent en fait complémentaires. Ces deux processus peuvent co-exister (Didierjean et Cauzinille-Marmèche, 1998) même si

l'un des deux processus peut être prévalent pour certains sujets ou devenir prépondérant en fonction des consignes données pour l'analyse des situations.

4.2.4. La diversité des formes de raisonnement par analogie

Plusieurs hypothèses sont proposées pour rendre compte du raisonnement par analogie.

La première hypothèse est que les sujets peuvent effectivement raisonner par appariement de structures abstraites de connaissances, mais que le schéma évoqué peut néanmoins englober certains traits de surface. C'est le point de vue défendu par Bernardo (1994) qui s'appuie notamment sur les effets d'amorçage qui sont observés. Ces effets montrent qu'un élément de surface de la situation source peut influencer la sélection d'un autre élément de surface de la situation cible, à condition que ces éléments soient reliés au même schéma abstrait et portent sur des aspects importants de la résolution.

La deuxième hypothèse est que le raisonnement analogique peut consister en un raisonnement direct qui ne nécessite pas le recours à une structure abstraite de connaissance. Si le problème à résoudre est jugé familier, c'est-à-dire s'il est reconnu comme ressemblant à un problème déjà traité, c'est alors un processus d'adaptation de ce dernier problème qui est mis en œuvre pour le traitement du problème cible.

Notre analyse est que ces deux formes de raisonnement analogique ne sont pas exclusives, mais sont préférentiellement mises en jeu selon les caractéristiques du problème à résoudre, selon la familiarité de ce problème pour le sujet et les connaissances dont il dispose sur le domaine (sa « théorie » du domaine).

Les recherches que nous avons réalisées (Didierjean, Cauzinille-Marmèche et Savina, 1999 ; Ferrari, Didierjean et Marmèche, 2001) attestent de la mise en œuvre par les sujets de ces deux formes de raisonnement. La première recherche (Didierjean *et al.*, 1999), qui porte sur des configurations simplifiées de jeu d'échecs, montre que les sujets sont très sensibles à de faibles variations des configurations de jeu alors même qu'elles relèvent du même schéma de résolution. La deuxième recherche (Ferrari *et al.*, 2001) met en évidence que même des sujets experts dans le domaine de connaissances considéré (les échecs) utilisent différemment leurs connaissances, abstraites ou spécifiques, selon le problème posé et, en l'occurrence, selon la familiarité perçue entre le problème cible et les problèmes sources déjà traités.

4.3. Structuration des connaissances et raisonnement analogique

Les résultats déjà évoqués montrent l'importance de l'encodage des situations sur la nature des raisonnements analogiques qui peuvent être mis en œuvre pour le traitement de nouvelles situations. C'est le réseau de connaissances dont disposent les sujets dans un domaine conceptuel donné qui est à la base des processus analogiques qui sont développés, d'où l'importance de la problématique novices/experts.

4.3.1. Les différences entre novices et experts

Par définition, novices et experts, dans un domaine de connaissances donné, ne disposent pas des mêmes sources de connaissances. Dans un domaine donné, être novice consiste à ne disposer que « d'îlots de connaissances », à savoir de connaissances fragmentaires, non reliées les unes aux autres, non interprétables par une théorie du domaine. Être expert, au contraire, consiste à disposer d'un ensemble de connaissances, spécifiques et abstraites, reliées les unes aux autres et situées par rapport à une théorie du domaine qui intègre les relations causales permettant la compréhension des situations (selon les buts et sous-butts à atteindre, la finalité des actions à réaliser...). Les différences entre le réseau de connaissances des novices et des experts engendrent nécessairement des différences dans les diverses formes de raisonnement analogique qui pourront être mises en jeu.

Un ensemble de recherches (Reed, 1987, 1989 ; Reed, Ackinclose et Voss, 1990 ; Reed et Bolstad, 1991) montre que les novices, dans des domaines de connaissances complexes (comme le calcul algébrique), ne s'appuient que sur les exemples spécifiques traités pour tenter d'en adapter la solution aux nouveaux problèmes à résoudre. Ces problèmes ne sont alors réussis que s'ils sont très proches des problèmes sources. Les travaux de Ross (1984, 1987, 1989), montrent également que les sujets recourent à des épisodes particuliers : les problèmes sources sont évoqués dans leur spécificité. Les changements dans l'habillage sémantique des situations jouent un rôle déterminant sur la probabilité de trouver la solution des problèmes cibles. Ces travaux montrent également que l'évocation d'une situation particulière (*reminding*) sert, non seulement de déclencheur à la mise en œuvre d'un raisonnement à partir de cas, mais permet aussi en retour l'abstraction de régularités portant sur la structure des situations isomorphes qui ont été mises en correspondance (Didierjean, sous presse). Cas et structures abstraites sont alors reliés pour constituer un réseau de connaissances cohérent. Cet ensemble structuré de connaissances, spécifiques ou plus abstraites, permet ainsi à l'expert de naviguer à travers différents registres de connaissances, en fonction de la nature du problème posé.

Les travaux sur l'expertise cognitive dans le jeu d'échecs sont à cet égard tout à fait représentatifs. Les recherches princeps de de Groot (1965, 1966) et de Chase et Simon (1973) ont en effet mis en évidence que les sujets experts ont construit un immense répertoire de *chunks*, à savoir de *patterns* spécifiques de pièces (de l'ordre de 50 000 pour les sujets les plus experts). Ces *chunks* serviraient de référence pour la résolution de nouveaux problèmes, la nouvelle configuration à traiter étant rapprochée de certains *chunks* stockés en mémoire à long terme. Des études ultérieures ont cependant montré qu'il était aussi possible d'interpréter les résultats obtenus par Chase et Simon (1973) par la présence de connaissances d'un haut niveau d'abstraction (Cooke, Atlas, Lane et Berger, 1993 ; Saariluoma, 1989 ; Getz, 1996, pour une revue de ces travaux). L'hypothèse qui prédomine actuellement (Gobet et Simon, 1996a ; Marmèche et Didierjean, 2001) est que coexistent des connaissances de différents niveaux d'abstraction. Ainsi Gobet et Simon (1996b) définissent deux niveaux d'abstraction dans les connaissances des experts en échecs :

- des *chunks*, à savoir des *patterns* spécifiques de pièces ;
- des *templates*, à savoir des connaissances qui allient des variables et des positions spécifiques.

Cette hypothèse de la construction de connaissances à différents niveaux d'abstraction est étayée par un ensemble de résultats obtenus dans différents domaines. Les recherches de Chi, Feltovitch et Glaser (1981) sur la catégorisation montraient déjà que les experts, tout en se focalisant de façon dominante sur les traits de structure pour catégoriser les situations proposées, n'en étaient pas moins capables d'affiner leur catégorisation en prenant en compte les traits de surface. De même, dans le domaine de l'expertise médicale, certains travaux montrent qu'acquérir une expertise n'est pas synonyme d'un moindre stockage des détails mais plutôt d'une meilleure sélection des aspects contextuels stockés (Claessen et Boshuizen, 1985).

Si l'expert construit ainsi des connaissances à différents niveaux d'abstraction, de façon délibérée ou non, il peut alors mettre en œuvre différentes formes de raisonnement analogique (Anderson, Fincham et Douglass, 1997 ; Brooks, Norman et Allen, 1991 ; Gobet et Simon, 1996a ; Pierce, Crain, Gholson, Smither et Rabinowitz, 1996). Un processus d'adaptation d'un problème source sera mis en jeu si le problème à résoudre est jugé familier. Ce processus sera évidemment d'autant moins coûteux qu'il existe plus de similarités, de surface et structurelles, entre source et cible. Par contre, le traitement d'un problème peu familier exigera de recourir à d'autres niveaux de représentation. Autrement dit, le traitement du problème exigera le recours à d'autres modes de catégorisation, en utilisant de nouveaux critères, ces critères étant déterminés par le réseau de connaissances disponibles (voir Eineste, 1997 ; Sander, 2000 ; le chapitre 3 de Sander). Sans

doute faut-il cependant souligner une contre-partie à l'organisation, cohérente et intégrée, des connaissances de l'expert. Le réseau construit peut devenir un espace de recherche clos qui empêche l'expert de produire, par analogie, des solutions créatrices. En tout état de cause, c'est bien l'organisation des connaissances du sujet et le niveau de description utilisé qui déterminent les raisonnements par analogie qui pourront être développés. Différents modèles de l'organisation des connaissances peuvent contribuer à la compréhension des processus en jeu.

4.3.2. *L'organisation des connaissances : modèles dynamiques de la mémoire à long terme*

4.3.2.1. *Les travaux princeps de Schank*

Avec l'apprentissage, c'est toute une structure de représentation des connaissances, à différents niveaux d'abstraction, qui s'élabore (pour une revue de question, voir Cauzinille-Marmèche et Didierjean, 1999). Actuellement, les modèles les plus séduisants d'une telle « mémoire dynamique » sont ceux inspirés des travaux de Schank, présentés dans son livre *Dynamic Memory* (1982). L'idée de base est que la mémoire se construit et se re-construit au fur et à mesure des cas traités. Avec l'expérience, les annotations des épisodes spécifiques se transforment, en même temps que s'élaborent différentes hiérarchies d'abstraction qui reflètent différents points de vue sur les situations. Ainsi coexistent connaissances générales et connaissances spécifiques relatives à des cas particuliers (Kolodner, 1993a). Or, tant en intelligence artificielle qu'en psychologie, l'objectif des modèles proposés a longtemps été de définir les connaissances dans les termes les plus généraux possible, afin de saisir les invariants sous-jacents à une variété d'objets ou de situations similaires. Il est vrai qu'outre l'économie de stockage en mémoire à long terme réalisée par l'intégration de connaissances générales, celles-ci permettent d'appréhender l'incertain. Par exemple, on peut ne pas savoir exactement comment circule le sang dans un cœur particulier mais un modèle général de la circulation sanguine peut en donner une approximation permettant un raisonnement sans qu'il soit nécessaire d'en connaître tous les détails. Néanmoins, les connaissances générales peuvent s'avérer insuffisantes pour traiter les problèmes, faute d'être opérationnelles. Les cas spécifiques, en revanche, correspondent à des connaissances opérationnelles : ils explicitent comment une tâche doit être traitée, quelle stratégie particulière permet d'atteindre un but précis... Chaque cas constitue un *chunk* de connaissances qui évite d'avoir à recomposer des éléments de connaissances décontextualisés, autrement dit qui évite d'avoir à recalculer l'ensemble des constituants stratégiques si une situation similaire doit être traitée (Schunn, Reder, Nhouyvanisvong, Richards et Stroffolino, 1997). L'architecture cognitive proposée par Schank, qui intègre des cas élaborés à différents niveaux d'abstraction et des modèles généraux, autorise une diversité de raisonnements. De plus, il s'agit d'une architecture dynamique : chaque nouvelle situation traitée peut modifier les

annotations des cas déjà stockés en mémoire à long terme ainsi que les liens entre ces cas et provoquer la création de nouveaux types d'abstraction. Dans cette perspective, « Reminding, Learning and Understanding thus go hand in hand » est dans cette perspective (Kolodner, 1993a, p. 102). À partir de cette théorie, des simulations de l'apprentissage ont été réalisées (voir par exemple en résolution de problèmes, Hammond, 1990), mais elles ne s'appuient pas (ou très peu) sur des données expérimentales relatives à l'apprentissage humain. Elles ont, néanmoins, l'intérêt de souligner la complexité et la diversité des processus qui peuvent contribuer à l'élaboration et à la ré-élaboration des connaissances.

4.3.2.2. *Les modèles mixtes de l'organisation des connaissances : modèles d'exemplaires et modèles de règles*

Ce sont les modèles de catégorisation qui ont été développés récemment qui offrent assurément les meilleures pistes pour appréhender les relations entre les différents types de connaissances, notamment les règles, les prototypes et les exemplaires. La question posée est de comprendre comment un nouvel objet est catégorisé, soit à partir d'exemplaires spécifiques stockés en mémoire à long terme, soit à partir de règles générales ou de prototypes qui définissent les catégories et permettent de les distinguer. Par extension, cette question peut être transposée au domaine de la résolution de problèmes si l'on considère que résoudre un problème par analogie revient souvent à identifier de quelle catégorie conceptuelle relève ce problème.

Les travaux de Medin et Shaffer (1978) constituent dans ce domaine une référence majeure. Il s'agit de travaux qui concernent principalement les catégories naturelles, mal définies, et qui ne peuvent donc être caractérisées par une liste de traits nécessaires et suffisants (voir Posner et Keele, 1968). Le principe général du modèle de contexte proposé par Medin et Shaffer est que les jugements de classification reposent fondamentalement sur les informations relatives aux exemplaires traités, et non sur la distance entre le stimulus à classer et les prototypes (ou tendances centrales) qui peuvent caractériser les différentes catégories. Le stimulus à classer agirait en fait comme un indice de recherche pour accéder aux stimuli similaires stockés en mémoire, ceci débouchant sur une estimation de la similarité globale du stimulus cible avec tous les exemples retrouvés. Ce modèle est proche du modèle de reconnaissance proposé par Ratcliff (1978) qui s'appuie sur la métaphore de la « résonance », selon laquelle les items sont évoqués sur la base de leur similarité avec l'item à reconnaître. Un aspect important du modèle proposé par Medin et Schaffer est le principe de « similarité interactive », qui accorde un poids déterminant au contexte et à l'événement qui entourent les indices de récupération. C'est la congruence entre l'item cible et son contexte, et les items stockés en mémoire et leur contexte, qui détermine la facilité d'évocabilité des items et donc les jugements de similarité (voir Tiberghien, 1986, pour une revue de question)

Des modèles récents (Nosofsky, Clark et Shin, 1989 ; Nosofsky, 1991 ; Nosofsky, Palmeri et McKinley, 1994 ; Nosofsky et Alfonso-Reese, 1999 ; Erikson et Kruschke, 1998) intègrent différents mécanismes de décision, basés à la fois sur la comparaison des stimuli cibles avec les exemplaires stockés en mémoire à long terme et sur les règles définitoires (s'il en existe) des différentes catégories. Les traces des exemplaires présentés constituent cependant une composante dominante de la représentation catégorielle, même si les sujets sont capables de verbaliser la règle définissant les catégories. RULEX (Nosofsky *et al.*, 1994) est un bon exemple de cette perspective : règles et exemplaires « exceptionnels » co-existent. Ces exemplaires sont dits exceptionnels au sens où ils ne constituent pas de bons exemples des différentes catégories. Néanmoins, le modèle proposé n'interdit pas que des traces résiduelles des exemplaires particuliers soient également stockées et utilisées dans le processus de catégorisation d'un nouvel item. Dans le même sens, ATRIUM, qui est une extension du système ALCOVE (Kruschke, 1992), adjoint un module de règles au module d'exemplaires. Ce modèle accorde par ailleurs un rôle central au concept d'attention représentationnelle. Il permet de rendre compte, tant des processus de catégorisation qui sont utilisés selon les stimuli présentés, que des processus d'apprentissage qui reposent pour une bonne part sur la fréquence des stimuli.

Comprendre le rôle combiné des règles, des exemples et des exceptions constitue l'enjeu des recherches qui sont menées actuellement. Le but est de définir quelles sont les conditions qui favorisent tel ou tel processus de recherche, ou tel ou tel processus de décision. Nous aborderons cette question en analysant comment peuvent être caractérisés les processus d'automatisation.

4.3.2.3. *Les processus d'automatisation*

La théorie proposée par Logan (1988) « Toward an instance theory of automatization » pose les problèmes fondamentaux liés aux processus d'automatisation. Pour cet auteur, ces processus découlent des principes théoriques et empiriques qui gouvernent la mémoire. La résolution est automatique quand elle repose sur la recherche et l'utilisation directe de solutions déjà stockées en mémoire à long terme. D'après la théorie élaborée par Logan, les novices commenceraient par utiliser des algorithmes généraux, suffisants pour résoudre la tâche (ou, en utilisant un autre vocabulaire, des schémas abstraits de résolution). Avec l'expérience, les sujets associeraient des solutions spécifiques à des problèmes particuliers. A ce stade, ils résoudraient un nouveau problème en ayant recours, soit à une situation spécifique, soit à un algorithme général. Au bout d'un certain temps, et c'est le propre du processus d'automatisation, quand suffisamment de situations particulières ont été rencontrées, les sujets ne se serviraient plus que des solutions stockées et abandonneraient l'algorithme général. Leur résolution serait alors automatique. La modélisation du processus d'automatisation consiste donc, dans ce

cadre, à formaliser les processus de décision en termes de compétition entre mémoire d'exemples spécifiques et algorithmes généraux de résolution. Au fur et à mesure que la base d'exemples s'étend, les exemples, pour des raisons purement statistiques, ont toutes les chances de gagner cette compétition.

Cette théorie partage de nombreux traits avec les théories de la catégorisation proposées par Hintzman (1986), Jacoby et Brooks (1984), Medin et Shaffer (1978), par exemple. En effet, comme nous l'avons déjà mentionné, ces théories sont des théories d'exemplaires qui postulent que les sujets jugent essentiellement de l'appartenance catégorielle d'un stimulus en le comparant aux exemples stockés en mémoire et en l'assignant à la catégorie qui comprend le plus d'exemples ressemblants. La théorie de l'automatisation de Logan (1988) et ces théories de la catégorisation sont également proches en ce sens qu'elles prennent en compte la dimension de l'apprentissage. Catégorisation et automatisation sont des capacités acquises. C'est ainsi le jeu entre les processus orientés par des règles abstraites et ceux reposant sur des exemples particuliers qui est au coeur de la problématique de l'automatisation, de la catégorisation et de l'analogie. Le nombre d'exemplaires traités (et leur récence) est déterminant dans le processus de choix (Rothkopf et Dashen, 1995 ; Rothkopf, Dashen et Teft, 1997). Dans une perspective voisine, ces mêmes aspects sont soulignés par Anderson, Fincham et Douglas (1997) « We view that the principal message is that performance in a skilled task can reflect a complex mixture of processes. It involves using examples in two ways (analogy and simple retrieval) and using two types of rules (abstract declarative and procedural). Thus we judge as implausible any theory that attributes skill acquisition to a simple learning mechanism »¹.

En conclusion, c'est donc l'historique des épisodes de résolution dans lesquels tel ou tel principe de résolution a été appliqué qui oriente les processus d'apprentissage et d'expertise. Si les épisodes de résolution liés à des situations spécifiques sont déterminants pour la résolution de problèmes, il est alors indispensable de définir les modes d'accès à ces épisodes : comment sont évoqués des problèmes sources à partir d'un problème cible à traiter ? Quels sont les critères de ressemblance utilisés pour relier entre elles les situations ?

1. « Nous pensons que le message essentiel est que la performance experte reflète un mélange subtil de processus. Elle relève de l'utilisation d'exemples selon deux modalités (le recours à l'analogie et à la récupération directe) et de l'utilisation de deux types de règles (des règles déclaratives abstraites et des règles procédurales). Ainsi, une théorie qui n'attribuerait l'acquisition d'une habileté qu'à un seul mécanisme simple d'apprentissage nous paraît peu crédible. »

4.4. Les processus d'évocation des situations sources : surface *versus* structure, une opposition mal fondée

Bien que la plupart des modélisations proposées portent sur le processus d'appariement (voir le chapitre 8 de Ripoll), plusieurs modèles du processus d'évocation, qui joue également un rôle primordial dans le raisonnement par analogie, ont été proposés. Le plus connu est le modèle MAC/FAC (*Many Are Called, Few Are Chosen*) développé par Gentner, Forbus, Gentner et Law (1994).

Ce modèle présente un processus en deux étapes. La première, « MAC » (*Many Are Called*) vise à sélectionner parmi un ensemble d'items en mémoire à long terme des candidats potentiels pour la réalisation d'une analogie ; à cette étape, ce sont les similitudes de surface entre la cible et les sources potentielles qui sont privilégiées. La deuxième étape, « FAC » (*Few Are Chosen*) vise à sélectionner parmi les items retenus à l'issue de l'étape précédente ceux qui permettent d'effectuer un appariement structurel avec la cible ; à l'issue de cette étape, le meilleur appariement réalisé est retenu pour un transfert analogique ultérieur.

Ce modèle (voir le chapitre 8 de Ripoll) repose ainsi sur deux types de similitudes : la similitude de surface et la similitude de structure. On peut néanmoins s'interroger sur le caractère réellement dichotomique de ces notions.

4.4.1. Quelques définitions classiques

Pour Gentner (1989) la similitude entre situations sources et cibles est fondamentalement syntaxique. Ce ne sont que les similitudes de structure qui sont pertinentes pour l'analogie. Les situations sont décrites par les objets qui les composent, par leurs attributs, mais surtout par les relations entre objets, notamment les relations causales. Ce sont donc les relations qui ont un rôle prépondérant. L'exemple le plus classique est celui cité par Gentner (1983) entre l'atome et le système solaire. Le système solaire est décrit par des attributs (Jaune (soleil)), (Lourd (soleil)), des relations d'ordre 1 (Attire (soleil, planète)), (Plus lourd que (soleil, planète)) et des relations d'ordre 2 (Parce que (attire (soleil, planète)) tourne autour (planète, soleil)). Mais il faut souligner que le système solaire et l'atome ne peuvent être jugés comme analogues qu'à deux conditions au moins :

- un langage homogène doit exister pour décrire les situations sources et cibles : les mêmes types de prédicats et les mêmes types d'arguments doivent être utilisés ;

- il est nécessaire d'opérer une sélection drastique des descriptions relatives aux situations sources (par exemple le système solaire), pour que l'analogie avec la cible puisse être identifiée. Autrement dit, c'est un certain point de vue sur la source qui

permet d'exhiber les similitudes source/cible. Dans cette perspective, tout se passe comme si la description des sources et des cibles était univoque, donc figée.

Pour Holyoak (1984), qui met davantage l'accent sur les aspects pragmatiques des situations, liés au but de la résolution de problème, ce sont aussi les similitudes préservant la structure des problèmes (le schéma de problème à appliquer) qui sont privilégiées. Les traits de surface, sémantiques, sont à négliger dans l'établissement d'une analogie. Parfois considérés comme de simples « habillages » sémantiques, ces traits de surface, qui peuvent prendre plusieurs valeurs, ne sont pas censés influencer sur la stratégie de résolution à mettre en œuvre. Or, nous l'avons déjà montré, traits de surface et traits de structure influent sur la mise en jeu d'un raisonnement analogique, et ce d'autant plus qu'il existe souvent des corrélations entre traits de surface et traits de structure des situations.

4.4.2. Traits de surface *versus* traits de structure : une distinction illusoire ?

Tout d'abord, il est clair que la distinction entre traits de surface et de structure n'est pas immuable. Elle évolue en fonction de l'expertise des sujets dans un domaine donné. Les descripteurs des situations changent : des traits ignorés ou jugés non pertinents prennent progressivement plus de poids, voire même sont créés. C'est ainsi le langage de description des situations qui évolue (voir Medin, Goldstone et Gentner, 1993 ; Rodet et Tiberghien, 1994 ; Schyns et Rodet, 1997 ; Schyns, Goldstone et Thibaut, 1998). Il est insuffisant de supposer que le répertoire des traits est préfixé. C'est de l'histoire individuelle des sujets vis-à-vis des catégorisations opérées que découlent les traits descriptifs qui sont engendrés.

Par ailleurs, un ensemble de recherches montre que l'analyse des stimulus est flexible : elle dépend des stimulus spécifiques à comparer, et du contexte situationnel (Gibson, 1969 ; Elío et Anderson, 1981 ; Nosofsky, 1987 ; Rips, 1989 ; Goldstone, 1994 ; Schyns et Murphy, 1991, 1994). Les situations sources ne sont pas encodées de façon rigide. Elles sont encodées « en contexte ». Les traits saillants des situations ne sont pas les mêmes selon l'environnement contextuel (Tulving, 1983 ; Tiberghien, 1986). La représentation des catégories est instable. C'est l'instabilité, et non l'invariance, qui caractérise le mieux en quoi consistent les représentations associées à une catégorie. Les structures que de nombreux chercheurs essaient d'identifier (listes de propriétés, analyses linguistiques...) ne seraient ainsi que des « fictions analytiques » (Barsalou, 1989, p. 86). Ce ne seraient que des représentations normées, des représentations idéales supposées correspondre à un ensemble d'objets, quel que soit le contexte. Il s'avère en fait plus plausible de faire l'hypothèse que les représentations sont construites temporairement en mémoire de travail, pour une occasion particulière. Dès lors, les appariements entre cible et source peuvent être multiples, selon le point de vue adopté sur la cible et donc selon le thème général considéré, les propriétés et

relations sélectionnées, etc. Les représentations construites fournissent des attentes qui reposent, bien sûr, sur les expériences stockées en mémoire à long terme, mais aussi sur l'expérience récente des sujets et sur les contraintes du contexte courant. Une bonne illustration de l'usage de représentations dynamiques des situations, et des changements de point de vue au cours même de la résolution de problèmes est donnée par les recherches actuelles sur le raisonnement analogique et la créativité.

4.5. Créativité et résolution de problèmes par analogie

Bien que le raisonnement par analogie ait surtout été analysé dans des tâches bien définies et relativement circonscrites, il intervient également, et de façon privilégiée, dans des « tâches cognitives génératives », c'est-à-dire des tâches qui requièrent de la part des participants la création ou la conception de nouveaux produits (Marsh, Bink et Hicks, 1999). L'analyse de telles situations permet de développer une réflexion sur certains postulats, explicites ou implicites, des modèles du raisonnement par analogie et elle apporte un nouvel éclairage sur la réalisation d'analogies dans des situations de résolution de problèmes.

4.5.1. Les tâches cognitives génératives et la résolution de problèmes de conception

Les tâches cognitives génératives ont été étudiées dans le cadre de situations expérimentales, allant de situations imaginaires, comme l'élaboration, sous la forme de dessins, de créatures extraterrestres (Marsh, Landau et Hicks, 1996 ; Smith, Ward et Shumacher, 1993 ; Ward, 1994 ; Ward et Sifonis, 1997 ; Bredart, Ward et Marczewski, 1998 ; Marsh, Bink et Hicks, 1999), à des situations réalistes ou réelles, comme la conception d'objets concrets tels que des tasses (*mugs*) ne pouvant se renverser ou un porte-bicyclette (Jansson et Smith, 1991) ou encore un siège spécifique pour un cyber-café (Bonnardel et Rech, 1998a, 1998b). Des tâches similaires ont été étudiées dans le cadre de situations réelles de conception, par exemple la conception architecturale (Lebahar, 1983), la conception de programmes informatiques (Détienne, 1998) ou la conception de produits aérospatiaux (Bonnardel, 1992). Bien que ces deux courants de recherche se soient développés de façon distincte, les caractéristiques générales² des tâches étudiées sont les mêmes et les participants doivent, dans ces différentes situations, faire preuve de créativité tout en se conformant à certaines exigences ou contraintes. Ils sont ainsi engagés dans la

2. Les caractéristiques des tâches proposées sont évidemment différentes (les produits à concevoir étant différents), mais elles ont toutes pour finalité la création ou la conception d'un nouveau produit et elles requièrent la mise en œuvre de processus cognitifs généraux, tels que la construction d'une représentation mentale ou l'évaluation des solutions envisagées.

résolution de problèmes dits de conception. Ces problèmes sont considérés comme à la fois « mal définis » et « ouverts » :

– ils sont mal définis en ce sens que le concepteur dispose, au début du traitement du problème, d'une représentation mentale incomplète et imprécise du but à atteindre (Eastman, 1969 ; Simon, 1973, 1996). Ce n'est que progressivement, au cours même de la résolution du problème, que le concepteur complète et précise sa représentation mentale (Falzon, Bisseret, Bonnardel, Darses, Détienne et Visser, 1990). De ce fait, on ne peut dissocier la phase de construction de la représentation du problème – *problem framing* ou *problem-setting* – de celle de la résolution proprement dite du problème – *problem solving* (Lanzara, 1986 ; Simon, 1995). Chaque concepteur se construit ainsi sa propre représentation du problème et traite, en fait, un problème qui lui est spécifique ;

– le caractère mal défini des problèmes de conception est à l'origine d'une autre de leurs caractéristiques : ces problèmes sont ouverts, en ce sens qu'un problème donné admet une variété de solutions³ possibles (Fustier, 1989). 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 (Bisseret, Figéac-Letang et Falzon, 1988). Outre l'étendue de l'espace de recherche dans lequel se situent les solutions potentielles, le qualificatif « ouvert » peut, à notre avis, se justifier aussi par la variété des critères qui peuvent être pris en compte lors de l'évaluation des solutions de conception (qu'il s'agisse de solutions partielles ou finales). En effet, les concepteurs évaluent les solutions qu'ils développent en fonction de normes imposées par l'entreprise ou par le client mais aussi, et surtout, en fonction de critères qui leur sont propres, qui reflètent des points de vue différents, liés à la spécificité des tâches qu'ils effectuent et/ou à des préférences personnelles (Bonnardel, 1999). Les critères d'évaluation sont donc nombreux et peuvent varier d'un concepteur à l'autre.

Bien que le degré de créativité soit différent selon les situations de résolution de problèmes de conception – celles-ci pouvant aller de situations très ouvertes, comme la composition artistique ou le *design*, à des situations plus fortement contraintes, comme la conception de structures aérospatiales – une part d'innovation est indispensable pour que l'activité mise en œuvre puisse être qualifiée d'activité de conception. Ces situations présentent donc l'intérêt de permettre l'étude de la créativité dans des situations contraintes (en particulier techniquement), tout en étant réelles (contrairement, ou de façon complémentaire, à des « micromondes » créés artificiellement ; voir Hofstadter, 1997 ; le chapitre 9 de Vivicorsi).

3. Les « solutions » dont il est ici question renvoient à l'état final atteint, c'est-à-dire à la description et à la représentation graphique du produit conçu et non à la démarche de résolution du problème (dans ce dernier cas, même des problèmes tels que la « Tour de Hanoï » pourraient être considérés comme « ouverts », différentes démarches de résolution pouvant être mises en œuvre même si elles ne sont pas toutes optimales).

4.5.2. La réalisation d'analogies et la définition de contraintes : deux mécanismes qui concourent à la créativité

La *créativité* peut être définie comme la « capacité à produire des idées ou des choses nouvelles et originales » et la création a été définie comme « to bring into being or form *out of nothing* » (définition du dictionnaire citée dans Boden, 1990) et certains « créateurs » tiennent, en effet, ce discours. Néanmoins, une analyse approfondie des situations de création montre que les idées nouvelles sont en fait souvent inspirées, tout au moins partiellement, de situations anciennes, qu'elles relèvent ou non du même domaine que la situation courante de création. Ainsi, Koestler (1975, p. 121, cité par Boden, 1990) décrit la créativité comme « *the sudden interlocking of two previously unrelated skills, or matrices of thought*⁴ ». Plus précisément, la créativité serait le résultat d'une relation établie en mémoire – entre la mémoire de travail et la mémoire à long terme – grâce, selon Koestler, à un processus d'emphase sélective (*selective emphasis*). La réalisation d'analogies peut donc être considérée comme l'un des mécanismes majeurs contribuant à l'émergence d'idées nouvelles (voir, par exemple, Boden, 1990 ; Bonnardel, 2002 ; Kolodner, 1993b). Néanmoins, des questions fondamentales subsistent :

– quelle est la nature des sources qui peuvent faciliter un raisonnement créatif et, notamment, favoriser le processus d'évocation ?

– qu'est-ce qui amène le concepteur à évoquer une situation analogue ou, selon les termes de Koestler (1975), à procéder à une « emphase sélective » ?

Sans avoir l'ambition de répondre directement à ces questions, certains travaux fournissent des éléments de réponses.

4.5.2.1. L'impact de sources de différentes natures

Bien qu'il soit difficile d'anticiper l'impact de sources différentes sur les capacités créatives des individus, certains travaux ont permis d'identifier des sources, présentées sous la forme de cas ou d'exemples, qui limitent la créativité et même lui nuisent. En effet, plusieurs travaux portant sur des tâches cognitives génératives ont mis en évidence un *effet de conformité aux exemples fournis par l'expérimentateur* : les sujets reproduisent des traits des exemples qui leur ont été fournis. Ainsi, Smith, Ward et Schumacher (1993) ont montré que des sujets ayant pour tâche d'inventer et de dessiner des « créatures de l'espace » incorporent à leurs productions des attributs présents dans les exemples qui leur ont été proposés, et cela même lorsqu'il leur est explicitement précisé de ne pas réutiliser les traits présents dans les exemples (Marsh, Landau et Hicks, 1996). Un effet similaire, qualifié de *design fixation*, a été observé dans le cadre de tâches de conception de

4. « L'intrication subite de deux connaissances ou de deux systèmes de pensée jusque là isolés. »

produits techniques : aussi bien des étudiants en « engineering » que des professionnels incorporent à leurs productions de nombreux traits des exemples présentés, y compris lorsque les traits en question ne sont pas pertinents pour la tâche demandée et engendrent des défauts ou des imperfections pour le produit à concevoir (Jansson et Smith, 1989, 1991). De tels effets peuvent être rapprochés de phénomènes décrits de longue date en psychologie cognitive, tels que la « fixité fonctionnelle » et la « mécanisation de la pensée » (Duncker, 1945 ; Luchins, 1942 ; Weisberg, 1988). Ainsi, il a été montré, dans d'autres types de tâches, que des 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 (voir Friemel et Richard, 1988).

En ce qui concerne l'impact des connaissances générales sur la créativité, différents travaux montrent également un *effet de conformité à ces connaissances générales* (en dehors de toute présentation d'exemples). Ainsi, des sujets auxquels il est explicitement demandé d'inventer des créatures de l'espace, « en allant au-delà de leur imagination » ou « foncièrement différentes des animaux terrestres », incluent cependant dans leurs productions des traits caractéristiques des animaux terrestres (Ward, 1994 ; Ward et Sifonis, 1997). Il est à noter que les traits ainsi répliqués sont des traits généraux (par exemple, la symétrie bilatérale) et qu'ils ne résultent apparemment pas de la prise en compte de cas spécifiques.

Ni la présentation de cas, ni l'activation de connaissances générales ne semblent donc favoriser un raisonnement créatif. Certaines sources peuvent-elles favoriser la créativité ou, tout au moins, l'évocation de sources variées susceptibles de stimuler la créativité ?

Une étude réalisée auprès d'étudiants en design (Bonnardel et Rech, 1998), nous a permis d'analyser, par comparaison avec une résolution « libre » du problème de conception, l'impact de sources intra- et interdomaines, tout d'abord présentées sous la forme d'intitulés (par exemple, « rocking-chair » ou « canoë-kayak » indiqués sous une forme verbale, pendant les 25 premières minutes de la passation), puis sous la forme d'exemples concrets (représentations graphiques des objets envisagés, pendant les 25 dernières minutes de la passation). Ces étudiants devaient concevoir un siège particulier pour un cyber-café, à la fois innovant et conforme à certaines contraintes, tout en « raisonnant à voix haute ». Quatre sources potentielles pour la réalisation d'analogies ont été proposées aux sujets : deux sources intradomaines (relevant de la catégorie des sièges) et deux sources interdomaines. Les résultats obtenus ont montré que, contrairement à ce qui a été observé dans les travaux évoqués précédemment, les sujets de la condition « guidée », auxquels des sources ont d'emblée été suggérées, évoquent significativement plus de sources – il s'agit d'autres sources que celles proposées –

que ceux de la condition libre. Cet effet de facilitation du processus d'évocation est dû à l'évocation plus fréquente de sources interdomaines.

Les sources dont il est ici question sont des sources potentielles pour la réalisation d'analogies. Elles ne sont pas nécessairement retenues pour procéder à un transfert analogique (cette analyse porte donc sur l'étape « MAC » du modèle de Forbus, Gentner et Law (1994), et non sur l'étape « FAC »). Néanmoins, il est important de noter que les sources évoquées par les concepteurs jouent de toute façon un rôle prépondérant dans la résolution du problème de conception car elles remplissent deux fonctions (compte tenu du cycle de *problem-framing* et de *problem-solving* décrit précédemment) :

- permettre aux concepteurs de préciser leur représentation mentale du produit à concevoir ;
- contribuer à la résolution proprement dite du problème de conception.

Ainsi, même en l'absence de transfert analogique explicite, les sources évoquées amènent le concepteur à préciser sa représentation mentale du problème et influencent la résolution du problème.

Deux interprétations différentes ont été proposées pour expliquer que les concepteurs de la condition « guidée » ont évoqué davantage de sources que ceux de la condition « libre » :

a) les sources qui ont été proposées aux concepteurs sont initialement présentées sous la forme d'*intitulés*, ce qui peut leur permettre d'imaginer différents cas pouvant correspondre à un intitulé donné (par exemple, un rocking-chair peut être de forme classique et en bois, ou de forme plus contemporaine et en matériau plastique). Au lieu de se focaliser sur des objets spécifiques, comme c'est le cas lorsque des exemples ou des « cas » sont présentés sous la forme de représentations graphiques, les concepteurs peuvent évoquer différents objets relevant d'une même *catégorie*, ce qui étendrait leur espace de recherche ou d'évocation de sources. Se pose alors de nouveau une question relative à la nature de ce qui est évoqué par les sujets. S'agit-il :

- d'une abstraction correspondant au « prototype » de la catégorie (c'est-à-dire à la moyenne des caractéristiques les plus typiques, voir Rosch et Mervis, 1979) ou à la notion de *design prototype*, proposée par Gero (1990), 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 design⁵ » (p. 30),

5. « Un schéma conceptuel permettant de représenter une classe d'éléments généralisés extraits de cas de conception similaires ; ce schéma sert de base pour initier et poursuivre le processus de conception ».

- d'un nombre restreint de cas les plus typiques de la catégorie considérée,
- d'un ensemble plus important d'exemplaires ou de cas relevant de cette catégorie (Medin et Schaffer, 1978) ?

b) la présentation de sources *interdomaines* peut avoir incité les sujets à évoquer d'autres sources interdomaines, ce qui est conforme aux résultats obtenus (la majeure partie des sources évoquées par les concepteurs de la condition guidée étant de nature interdomaine, contrairement à la plupart des sources évoquées par les concepteurs de la condition libre). Par exemple, le fait de citer un « canoë-kayak » en tant qu'éventuelle source pour la réalisation d'une analogie peut montrer aux concepteurs qu'ils ont la possibilité de s'inspirer d'objets divers, même si ces objets sont *a priori* très éloignés de l'objet à concevoir. Les concepteurs peuvent ainsi se rendre compte du pouvoir heuristique de la prise en compte d'objets interdomaines. De ce fait, ils s'attacheraient moins aux caractéristiques de surface de l'objet qu'ils doivent concevoir et rechercheraient dans des domaines variés des sources consistant en des objets connus, pour lesquels le principe de fonctionnement est en partie commun avec celui souhaité pour l'objet à concevoir.

Des recherches complémentaires réalisées dans le même cadre (Bonnardel et Marnèche, sous presse) ont montré que *les traits caractéristiques de différentes sources sont combinés ou associés* pour définir certains traits de l'objet à concevoir. Ainsi, dans ces situations créatives, le raisonnement par analogie n'implique pas uniquement la mise en relation d'une source et d'une cible mais au contraire *plusieurs sources*. Cela rejoint le principe de *conceptual combination* (Gagné et Shoben, 1997 ; Shoben et Gagné, 1997, cités par Marsh ; Bink et Hicks, 1999) : l'association de concepts particuliers peut entraîner l'émergence de traits qui n'étaient pas présents dans les entités considérées séparément. Marsh, Bink et Hicks (1999) ont également montré que la présentation d'exemples partageant certains traits, relevant tous d'un même concept, suscite l'évocation et l'utilisation, pour des tâches cognitives génératives, de traits supplémentaires à ceux présents dans les exemples, mais cohérents avec le concept émergent.

4.5.2.2. Le rôle des contraintes

La seconde question porte sur ce qui amène les sujets à évoquer une ou plusieurs situations analogues à celle considérée. Dans le cadre de situations réelles de conception, la créativité a été décrite comme reposant sur deux mécanismes agissant dans des directions opposées (Bonnardel, 2002) :

- la réalisation d'analogies et, plus particulièrement d'analogies interdomaines, qui aurait pour effet d'élargir l'espace de recherche d'idées (voir paragraphe 4.5.2.1) ;

– la construction d'un « environnement cognitif contraint », qui limiterait progressivement l'espace de recherche, sur la base de contraintes⁶ de différentes natures, et conduirait à l'emphase sélective envisagée par Koestler (1975).

Ces contraintes se sont révélées déterminantes pour la dynamique de l'activité de conception (Bonnardel, 1999) : à l'issue de l'évaluation de l'état courant de résolution du problème, certaines contraintes – déjà définies ou définies à ce moment particulier – vont être considérées comme prioritaires et, de ce fait, jouer le rôle de buts courants, amenant le concepteur à focaliser son attention sur certains aspects de l'activité de conception ainsi que sur certains aspects d'autres situations *a priori* éloignées de la situation considérée. Les contraintes influencent ainsi à la fois l'encodage de la situation courante et celui des situations analogues évoquées par les sujets.

Un mécanisme de « propagation de contraintes » sous-tend, en outre, la mise en relation des buts courants pour la résolution du problème et des éléments de solution successivement générés par les concepteurs. Certaines relations, pouvant conduire à une « emphase sélective » (Koestler, 1975) ou à un « glissement conceptuel » (Hofstadter, 1997 ; le chapitre 9 de Vivicorsi), ont été identifiées sur la base d'une tâche expérimentale comportant trois étapes (Bonnardel, 1996) : (1) la catégorisation de 80 « référents évaluatifs » (c'est-à-dire des critères et des contraintes pris en compte antérieurement par les concepteurs pour évaluer différents types de solutions de conception), (2) la sélection de référents évaluatifs jugés pertinents pour la réalisation d'une tâche de conception, et (3) l'explicitation par les concepteurs des *relations* qu'ils percevaient entre ces référents évaluatifs. Les résultats de cette dernière partie de la tâche ont montré *l'influence* que les référents évaluatifs exercent les uns sur les autres. Ainsi, le respect d'un référent évaluatif s'est révélé induire *l'activation* d'un autre référent ou, au contraire, son *inhibition*. Les relations identifiées ont le plus souvent porté sur deux référents évaluatifs mais elles ont pu également en concerner davantage. Par exemple, des concepteurs se sont révélés inhiber une relation déjà établie entre deux référents évaluatifs en appliquant à cette relation un nouveau référent. De nouvelles relations peuvent ainsi être établies au cours de la résolution d'un problème de conception et affecter des relations apparemment prédéfinies – en particulier, construites au fur et à mesure que le concepteur acquiert de l'expérience. L'activation de relations préétablies ainsi que l'établissement de nouvelles relations au cours de l'activité de conception peuvent expliquer à la fois la focalisation de l'attention sur certaines contraintes et

6. Les contraintes dont il est question ici sont fondamentalement différentes de celles prises en compte dans le cadre de certains modèles du raisonnement par analogie (par exemple, les contraintes sémantiques ou pragmatiques citées par Thagard, Holyoak, Nelson et Goshfeld, 1990) : les contraintes prises en compte par les concepteurs renvoient à des informations précises, traitées par les sujets et qui limitent les options possibles.

l'activation de connaissances abstraites ou spécifiques (schémas ou cas) satisfaisant ces contraintes ou, au contraire, reconnues comme ne les satisfaisant pas. Ainsi, l'évocation pourrait, non seulement avoir lieu en vue d'un transfert analogique, mais aussi afin d'éviter de reproduire des erreurs antérieures.

4.5.2.3. *Vers une nouvelle vision du raisonnement par analogie*

Les résultats présentés permettent de discuter de certains présupposés des modèles du raisonnement par analogie.

4.5.2.3.1. Présupposé selon lequel une représentation explicite de la cible est construite avant la réalisation de l'analogie.

Dans le cadre de la résolution de problèmes de conception, ce présupposé impliquerait que pour pouvoir mettre en œuvre un raisonnement par analogie, le concepteur devrait s'être construit une représentation mentale complète et précise du produit à concevoir, ce qui est impossible compte tenu du caractère « mal défini » des problèmes de conception. En effet, comme cela a été décrit précédemment, ce n'est qu'au cours de la résolution du problème que le concepteur affine sa représentation mentale. Nous avons vu, en particulier, que les sources évoquées par les concepteurs pouvaient jouer un rôle non seulement dans la résolution proprement dite du problème mais également dans la construction de la représentation mentale de l'objet à concevoir : les sources ainsi évoquées permettent aux sujets de compléter et de préciser leur représentation mentale de la cible, c'est-à-dire du produit à concevoir. Etant confrontés à une situation inconnue, les sujets se réfèrent à des situations connues, même si celles-ci peuvent sembler *a priori* particulièrement éloignées de la cible. Ce résultat illustre ainsi un paradoxe souligné par Sander (2000, p. 47) : « si l'analogie permet de comprendre l'inconnu dans les termes du connu, il est paradoxal d'imposer en même temps que l'inconnu soit déjà compris, et ce avant même la réalisation de l'analogie ».

4.5.2.3.2. Présupposé selon lequel une seule source est retenue pour procéder au transfert analogique

Les résultats qui ont été présentés ont montré que les sujets ne se contentent pas d'évoquer une source : ils en évoquent plusieurs et l'analyse des productions graphiques des concepteurs a permis de constater que plusieurs sources étaient retenues et *combinées* pour définir différents aspects du produit à concevoir.

4.5.2.3.3. A propos du rôle des traits de surface dans l'étape d'évocation

Contrairement au fonctionnement de certains modèles, tels que le modèle MAC/FAC (Forbus, Gentner et Law, 1994) :

– d'une part, les caractéristiques de surface et les caractéristiques de structure se sont révélées difficilement dissociables dans le cadre de tâches génératives ;

– d'autre part, certains des résultats présentés ont montré que la prise en compte de sources plus nombreuses par les sujets de la condition guidée que par ceux de la condition libre s'explique par l'évocation de sources interdomaines plus nombreuses. Ainsi, les concepteurs se sont surtout focalisés sur des traits de structure pour l'évocation de sources, contrairement à ce qui est décrit dans l'étape FAC du modèle développé par Gentner (Forbus, Gentner et Law, 1994).

4.5.2.3.4. La nature des sources évoquées

Une autre hypothèse explicative de la facilitation du processus d'évocation dans la condition guidée repose sur la nature des sources qui ont été proposées aux concepteurs. Ainsi, la présentation d'intitulés (et non d'exemples concrets et précis) a pu susciter l'évocation de catégories, qui auraient pour effet d'élargir l'espace de recherche de situations sources.

4.5.2.3.5. Le rôle de contraintes

En outre, il est apparu que, contrairement à une vision de la créativité en tant qu'« expression de liberté », la prise en compte de contraintes prédéfinies ainsi que la définition de nouvelles contraintes permet à chaque sujet de se construire son propre « environnement cognitif contraint » (Bonnardel, 2002). En particulier, les trois types de contraintes décrites joueraient le rôle de buts courants pour la résolution du problème de conception, et l'activation et l'inhibition de relations entre référents évaluatifs aboutiraient à une propagation de contraintes et, ainsi, à l'emphase sélective évoquée par Koestler (1975).

4.6. Analogie et degré de conscience

Quel degré de conscience est, ou peut être, associé aux différentes phases et aux différentes formes de raisonnement par analogie que nous avons précédemment évoquées ? Cette question est à ce jour très peu étudiée en psychologie cognitive, et nous allons proposer dans cette dernière partie un tour d'horizon des questions soulevées par l'étude des rapports entre analogie et degré de conscience.

4.6.1. Conscience et nature des connaissances élaborées et utilisées

S'il est clair que l'élaboration et le recours à une connaissance abstraite, ainsi que le recours à une connaissance spécifique peuvent avoir lieu sous le contrôle conscient du sujet, ces deux types de transfert peuvent-ils néanmoins s'effectuer sans accès conscient des sujets à la connaissance qu'ils transfèrent ? Pour aborder cette question, il faut distinguer la phase d'encodage de la source, de la phase de transfert sur la cible.

4.6.1.1. *Elaboration et projection d'une connaissance abstraite*

Nous avons évoqué une forme de raisonnement par analogie consistant à élaborer et projeter une connaissance abstraite (Gick et Holyoak, 1983) Dans ce cadre, il semble que l'on puisse distinguer deux types différents de raisonnement analogique implicite.

Selon une première conception, les sujets activent de manière consciente, pour la résolution d'une première tâche, une connaissance abstraite qu'ils possèdent. Face à une nouvelle situation, ces sujets vont alors davantage utiliser cette connaissance abstraite que des sujets qui n'ont pas rencontré la première tâche, et cela sans que le lien entre la première situation et la seconde ne soit consciemment établi par les sujets. Dans l'une des rares recherches sur le raisonnement par analogie qui aborde les liens entre degré de conscience et analogie, Schunn et Dunbar (1996) mettent en évidence une telle possibilité de *priming* « implicite ». Dans leur recherche, les sujets participent à deux expériences qui ont lieu deux jours différents, dans deux laboratoires distincts. Le premier jour, ils participent à une expérience sur l'étude des virus puis, lors d'une deuxième journée, ils participent à une recherche sur l'étude des gènes. Les sujets sont tous des étudiants en psychologie, familiers avec le concept d'inhibition. Dans un cours sur l'apprentissage, ils ont eu un texte à lire sur l'inhibition dans le conditionnement pavlovien et, dans un cours sur la mémoire, on leur a parlé d'inhibition. Lors de la première journée de l'expérience, les sujets ont à définir, sur la base d'une simulation sur ordinateur, l'effet d'un enzyme sur un virus. La moitié des sujets est alors amenée à découvrir que l'enzyme inhibe le virus. Lors de la deuxième journée, les sujets traitent un problème de génétique qui nécessite de découvrir qu'un gène en inhibe un autre. Les résultats de Schunn et Dunbar (1996) montrent que les sujets qui ont utilisé le concept d'inhibition le premier jour l'utilisent davantage que les autres sujets le second jour. Mais un questionnaire post-tâche montre que les sujets n'ont établi aucun lien conscient entre les deux expériences qu'ils ont passées.

Si dans le cadre de la conception précédemment évoquée les sujets utilisaient implicitement une connaissance pourtant élaborée consciemment, dans une deuxième conception possible, les sujets n'ont cette fois pas conscience de la connaissance abstraite transférée, ni lors de son utilisation, ni lors de son élaboration. Cette conception est au centre des recherches sur l'apprentissage implicite (Didierjean, 2001 ; Nicolas, 1996 ; Redington et Schater, 1996 pour des revues de question). Dans ce domaine de recherche, un certain nombre d'auteurs défend l'idée selon laquelle les sujets ont, lors de l'analyse d'un matériel complexe, la capacité d'extraire des règles puis de les utiliser sans qu'il y ait d'accès à la conscience de ces règles. Sur ce principe, la tâche la plus largement utilisée est sans conteste l'utilisation de matériel construit à partir d'une grammaire artificielle (voir

Nicolas, 1996). Par grammaire artificielle, on entend un certain nombre de règles arbitraires régissant l'ordre de succession de séries de lettres.

Dans les recherches utilisant une grammaire artificielle, l'expérience se déroule en deux temps : dans un premier temps, on présente au sujet des séries de lettres, construites à partir de la grammaire. Le sujet n'est pas informé du mode de construction de ces séries et sa tâche est, soit de mémoriser les séries (Reber, 1967, 1976), soit de les observer (Reber et Allen, 1978 ; Reber, Kassin, Lewis et Cantor, 1980). Dans un deuxième temps, succédant immédiatement au premier, le sujet est informé du fait que les séries de lettres respectaient en fait certaines règles de construction, et de nouvelles séries de lettres lui sont présentées. Sa tâche est alors de porter un jugement sur ces séries, en termes de respect ou de non-respect des règles qui régissaient les séries de la première phase. Le résultat « classique » de ce type de tâche est que les sujets parviennent à juger les nouvelles séries mieux que le hasard, mais qu'ils s'avèrent incapables de verbaliser les règles qu'ils ont utilisées (Reber, 1969). Selon un certain nombre d'auteurs, les sujets extrairaient de la première phase les règles présentes dans le matériel et les utiliseraient dans la deuxième phase sans jamais prendre conscience de la nature de ces règles (Reber, 1989). Il faut noter toutefois que cette interprétation est vivement critiquée par d'autres auteurs qui interprètent ces résultats en termes d'exemplaires mémorisés (voir Perruchet et Pacteau, 1990 ; Shank et St John, 1994). La structure des expériences réalisées dans ce domaine est ainsi très proche de celle utilisée dans les expériences sur l'analogie, seule la question au centre de ces deux domaines diffère, mais il est clair que des liens sont à établir (voir Didierjean, 2001, pour une mise en perspective des travaux sur le raisonnement par analogie et sur l'apprentissage implicite).

4.6.1.2. *Stockage et projection d'une connaissance spécifique*

C'est sans aucun doute la question la moins étudiée à ce jour dans un cadre de résolution de problèmes. Le domaine dit de « la mémoire implicite » étudie comment des sujets qui ont mémorisé des instances spécifiques, par exemple une liste de mots, peuvent ensuite être influencés par ces instances lors d'une nouvelle tâche, sans effectuer de recherche consciente des items de la première phase (voir Nicolas, 1994, pour une revue de questions). Ainsi, un sujet qui aura étudié une liste de mots contenant le mot « fenêtre », s'il doit dans un délai court compléter l'item suivant « fe... » le complétera davantage avec le mot « fenêtre » que s'il n'avait pas étudié ce mot précédemment. Toutefois, dans ce cadre, on n'utilise généralement que des instances très simples et ce type de question n'a pas été abordé, nous semble-t-il, avec des tâches plus complexes. Ainsi, les recherches de Ross (1987, 1989) sur le raisonnement par analogie pourraient sans doute être reprises en s'intéressant au degré de conscience associé au recours à des épisodes spécifiques.

4.6.2. *Les méthodes utilisées pour tester la conscience qu'a le sujet du lien entre source et cible*

La méthode la plus courante est sans aucun doute le recours à des questionnaires « post-tâche ». Dans les expériences sur l'apprentissage implicite, les expériences comportent toujours une phase de verbalisation où les sujets sont interrogés sur leur connaissance des règles qui régissaient le matériel qu'ils ont étudié. Ainsi, dans la recherche de Schunn et Dunbar (1996) citée précédemment, les auteurs mesurent le caractère implicite de la connaissance utilisée en demandant aux sujets s'ils ont pensé, au cours de l'expérience, à la recherche à laquelle ils avaient contribué la veille et s'ils ont perçu des similarités entre les deux expériences.

Une deuxième façon d'identifier le caractère implicite des connaissances utilisées consiste à montrer que des sujets informés du lien entre source et cible ont des performances différentes de celles de sujets non informés. Ainsi, Reber (1976) montre que si, dans la première phase d'une expérience classique de grammaire artificielle, on demande aux sujets de rechercher explicitement les règles en jeu et que celles-ci sont complexes, les performances des sujets qui cherchent activement les règles sont inférieures dans la deuxième phase à celles d'un groupe de sujets non prévenus initialement de l'existence de règles (Reber, Cassin, Lewis et Cantor, 1980).

A ce jour, la question de la conscience qu'ont les sujets des connaissances qu'ils élaborent et qu'ils utilisent lors de la réalisation de raisonnement par analogie est très peu étudiée. Dans cette perspective, un certain nombre des méthodes utilisées dans d'autres domaines, ceux de l'apprentissage et de la mémoire implicites, sont sans doute directement adaptables aux recherches sur le raisonnement par analogie.

4.7. Conclusion

A partir de cette revue de question, qui porte sur les recherches réalisées depuis une vingtaine d'années dans le domaine de la résolution de problèmes par analogie, il nous semble que les aspects les plus importants sont ceux de l'encodage des situations et, corrélativement, des processus de recherche en mémoire. De nombreuses études montrent en effet que les situations traitées ne sont pas encodées de façon unique : schémas abstraits et épisodes spécifiques co-existent en mémoire à long terme. Au-delà de cette dichotomie, est soulevée la question des différents points de vue qui peuvent être adoptés pour caractériser les situations. En effet, le contexte courant modifie le poids attribué aux propriétés et relations qui définissent les situations. Celles-ci peuvent ainsi être caractérisées de multiples façons. Ceci remet en cause la distinction classiquement établie entre traits de « surface » et traits

de « structure », quant à leur nature et surtout quant à leur fonction. Les traits ne peuvent être définis dans l'absolu. Outre le fait que les traits de surface et de structure sont souvent corrélés, leur importance relative varie selon le problème à résoudre. L'étude des processus d'évocation dans les tâches créatives, mal définies, est à cet égard particulièrement pertinente : de nombreuses sources peuvent être évoquées à partir de la sélection de traits très différents du problème cible à résoudre. L'encodage des situations, les processus de reconnaissance et de recherche en mémoire sont alors nécessairement au centre de la problématique du raisonnement par analogie. Ce sont les modèles de la mémoire qui orienteront les recherches conduites dans ce domaine. Ceci exigera de préciser comment sont représentées les situations en mémoire à long terme – mémoire d'exemplaires et mémoire abstraite –, comment celles-ci sont organisées et comment les représentations des situations évoluent avec l'apprentissage et l'expertise.

4.8. Bibliographie

- Ahn, W., Brewer, W.F., & Mooney, R.J. (1992). Schema acquisition from a single example. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 391-412.
- Anderson, J.R., Fincham, J.M., & Douglass, S. (1997). The role of examples and rules in the acquisition of a cognitive skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 23, 932-945.
- Anderson, J.R., Kline, P.G., & Beasley, C.M. (1979). A General learning theory and its applications to schema abstraction. In G.H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 13, pp. 277-318). San Diego, CA : Academic Press.
- Barsalou, L.W. (1989). Intra-concept similarity and its implications for inter-concepts similarity. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 76-121). Cambridge, England : Cambridge University Press.
- Bernardo, A.B.I. (1994). Problem-specific information and the development of problem-type schemata. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20, 379-395.
- Bisseret, A., Figeac-Létang, C., & Falzon, P. (1988). *Modeling opportunistic reasonings: the cognitive activity of traffic signal setting technicians* (INRIA Research Report no. 893). Rocquencourt : INRIA.
- Boden, M. (1990). *The Creative Mind: Myths & Mechanisms*. London : Weidenfeld & Nicolson.
- Bonnardel, N. (1996). Les topoï : un mode de représentation des connaissances en conception de produits aérospatiaux. In P.-Y. Raccach (Ed.), *Topoï et Gestion de la Connaissance*, Collection Sciences Cognitives. Paris : Masson, 41-56.
- Bonnardel, N. (1999). L'évaluation réflexive dans la dynamique de l'activité du concepteur. In J. Perrin (Ed.), *Pilotage et évaluation des activités de conception*. Paris : L'Harmattan, 87-105.
- Bonnardel, N. (2002). Towards understanding and supporting creativity in design: Analogies in a constrained cognitive environment. *International Journal of Knowledge-Based Systems* (Vol. 13, pp. 505-513). Oxford : Elsevier Science B.V.
- Bonnardel, N., & Marmèche, E. (2003, sous presse). Supporting the evocation process in creative design. In C. Stephanidis (Ed.), *Human Computer Interaction*. Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum.
- Bonnardel, N., & Rech, M. (1998). Les sources d'inspiration en conception. *Sciences et Techniques de la Conception*, 6, 37-53.
- Bredart, S., Ward, T.B., & Marczewski, P. (1998). Structured imagination of novel creatures' faces. *American Journal of Psychology*, 111, 607-625.
- Brooks, L.R., Norman, G.R., & Allen, S.W. (1991). Role of specific similarity in a medical diagnostic task. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120(3), 278-287.
- Carbonell, J.G. (1983). Learning by analogy: Formulating and generalizing plans from past experience. In R. Michalsky, J.G. Carbonell, & T.M. Mitchell (Ed.), *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Palo Alto, CA : Tioga Press.
- Catrambone, R., & Holyoak, K.J. (1989). Overcoming contextual limitation on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1147-1156.
- Cauzinille-Marmèche, E., & Didicrjean, A. (1999). Résolution de problèmes par analogie et généralisation des connaissances (p. 125-152). In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et Fonctionnement Cognitifs*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Cauzinille-Marmèche, E., & Julo, J. (1998). Studies of micro-genetic learning brought about by the comparison and solving of isomorphic arithmetic problems. *Learning and Instruction*, 8, 253-269.
- Chase, W.G., & Simon, H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, 55-81.
- Chi, M.T.H., Bassok, M., Lewis, M.W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanation : How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M.T.H., Feltovich, P.J., & Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- Claessen, H., & Boshuizen, H. (1985). Recall of medical information by students and doctors. *Medical Education*, 19, 61-67.
- Clement, C.A., & Gentner, D. (1991). Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. *Cognitive Science*, 15, 89-132.

- Cooke, N.J., Atlas, R.S., Lane, D.M., & Berger, R.C. (1993). Role of high-level knowledge in memory for chess positions. *American Journal of Psychology*, 106, 321-351.
- Cummins, D.D. (1992). Role of analogical reasoning in the induction of problem categories. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 5, 1103-1124.
- Dejong, G.F., & Mooney, R. (1986). Explanation-based learning: An alternative view. *Machine learning*, Vol. 1, 145-176.
- Détienne, F. (1998). *Génie logiciel et psychologie de la programmation*. Paris : Editions Hermès, collection « Cognition, communication, calcul ».
- Didierjean, A. (2001). Apprendre à partir d'exemples : Abstraction de règles et/ou mémoire d'exemplaires ? *L'Année Psychologique*, 101, 325-348.
- Didierjean, A. (sous presse). Is case-based reasoning a source of knowledge generalization? *European Journal of Cognitive Psychology*.
- Didierjean, A., & Cauzinille-Marmèche, E. (1998). Reasoning by analogy: Is it schema-mediated or case-based ? *European Journal of Psychology of Education*, 13, 385-398.
- Didierjean, A., Cauzinille-Marmèche, E., & Savina, Y. (1999). Learning from examples: case-based reasoning in chess for novices. *Current Psychology of Cognition*, 18, 337-361.
- Duncker, K. (1945). On problem solving. *Psychological Monographs*, 270.
- Eastman, C.M. (1969). Cognitive processes and ill-defined problems: A case study from design. *Proceedings of the First Joint International Conference on Artificial Intelligence*, Washington, D.C., 669-690.
- Elio, R., & Anderson, J.R. (1981). The effect of category generalizations and instance similarity on schema abstraction. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 7, 397-417.
- Elio, R., & Anderson, J.R. (1983). Effects of category generalization and instance similarity on schema abstraction. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 113, 541-555.
- Erickson, M.A., & Kruscke, J.K. (1998). Rules and Exemplars in Category Learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127, 107-140.
- Falzon, P., Bisseret, A., Bonnardel, N., Darses, F., Détienne, F., & Visser, W. (1990). Les activités de conception: L'approche de l'ergonomie cognitive. *Actes du colloque « Recherches sur le design »*, Compiègne : UTC.
- Fergusson-Hessler, M.G.M., & Dejong, T. (1990). Studying physics texts: Differences in study processes between good and poor solvers. *Cognition and Instruction*, 7, 41-54.
- Ferrari, V., Didierjean, A., & Marmèche, E. (2001). Problem similarity effects on case-based and schema-based knowledge activation: study of chess players. *Current Psychology Letters*, 5, 33-48.

- Forbus, K.D., Gentner, D., & Law, K. (1994). MAC/FAC: A model of similarity-based retrieval. *Cognitive Science*, 19, 141-205.
- Friemel, E., & Richard, J.-F. (1988). Apprentissage de l'utilisation d'une calculette. In J.-M. Hoc & P. Mendelsohn (Eds.), *Les langages informatiques dans l'enseignement. Psychologie Française*. Paris : Colin.
- Fustier, M. (1989). *La résolution de problèmes: méthodologie de l'action*. Paris : Editions ESF & Librairies Techniques.
- Gagné, C., & Shoben, E.J. (1997). The influence of thematic relations on the comprehension of nonpredicating combinations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 23, 71-87.
- Gentner, D. (1983). Structure Mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 199-241). New York : Cambridge University Press.
- Gentner, D., Rattermann, M.J., & Forbus, K.D. (1993). The role of similarity in transfer: Separating retrievability from inferential soundness. *Cognitive Psychology*, 25, 524-575.
- Gero, J.S. (1990). Design prototypes: A knowledge representation schema for design. *AI Magazine*, Winter, 27-36.
- Getz, I. (1996). *L'expertise cognitive aux échecs*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gibson, E.J. (1969). *Principles of perceptual learning and development*. Appleton-Century Crofts.
- Gick, M., & Holyoak, K.J. (1980). Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 12, 306-355.
- Gick, M.L., & Holyoak K.J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.
- Gick, M.L., & McGarry, S.J. (1992). Learning from mistakes: Inducing analogous solution failures to a source problem produces later successes in analogical transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 623-639.
- Gineste, M.D. (1997). *Analogie et Cognition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Gobet, F., & Simon, H.A. (1996a). Recall of random and distorted chess positions: implications for the theory of expertise. *Memory & Cognition*, 24, 493-503.
- Gobet, F., & Simon, H.A. (1996b). Templates in chess memory: A mechanism for recalling several boards. *Cognitive Psychology*, 31, 1-40.
- Goldstone, R.L. (1994). Influences of categorization on perceptual discrimination. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 178-200.

- Groot de, A.D. (1965). *Thought and choice in chess*. The Hague : Mouton.
- Groot de, A.D. (1966). Perception and memory versus thought: Some old ideas and recent findings. In B. Kleinmuntz (Ed.), *Problem Solving*. New York, Wiley, 19-50.
- Hammond, K.J. (1990). Case-based planning: A framework for planning from experience. *Cognitive Science*, 14, 385-443.
- Heydenbluth, C., & Hesse, F.W. (1996). Impact of superficial similarity in the application phase of analogical problem solving. *American Journal of Psychology*, 109, 37-57.
- Hintzman, D.L. (1986). « Schema Abstraction » in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 93, 411-428.
- Hintzman, D.L. (1988). Judgments of frequency and recognition memory in a multi-trace memory model. *Psychological Review*, 95, 528-551.
- Hintzman, D.L., Curran T., & Oppy B. (1992). Effects of similarity and repetition on memory: registration without learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 667-680.
- Hofstadter, D.R., & the Fluid Analogies Research Group (1997). *Fluid Concepts and Creative Analogies*. Somerset : The Penguin Press.
- Holyoak, K.J. (1984). Analogical thinking and human intelligence. In R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence*, vol. 2. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Holyoak, K.J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory and Cognition*, 15, 332-340.
- Jacoby, L.L., & Brooks, L.R. (1984). Nonanalytic cognition: Memory, perception, and concept learning. *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol. 18.
- Jansson, D.G., & Smith, S.M. (1989). Design fixation. In National Science Foundation, *Proceedings of the Engineering Design Research Conference*, College of Engineering, University of Massachusetts, Amherst, 53-76.
- Jansson, D.G., & Smith, S.M. (1991). Design fixation. *Design Studies*, 12, 3-11.
- Kieras, D.E., & Bovair, S. (1986). The acquisition of procedures from text: A production system analysis of transfer of training. *Journal of Memory and Language*, 25, 307-375.
- Koestler, A. (1975). *The Act of Creation*, London.
- Kolodner, J.L. (1993a). *Case-based reasoning*, Morgan Kaufman Publishers.
- Kolodner, J.L. (1993b). 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*, 837, Berlin: Springer-Verlag, 3-20.
- Kruschke, J.K. (1992). ALCOVE: An exemplar-based connectionist model of category learning. *Psychological Review*, 99, 22-44.
- Lanzara, G.F. (1986). La théorie de la conception entre « problem-solving » et « problem-setting » : quelques implications cognitives et organisationnelles. In A. Demailly & J.L. Lemoigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel*, Lyon : Presses Universitaires de Lyon, 447-454.
- Lebahar, J.-C. (1983). *Le dessin d'architecte*. Roquevaire : Parenthèses.
- Logan, G.D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492-527.
- Luchins, A.S. (1942). Mechanization in problem-solving. *Psychological Monographs*, 248.
- Marmèche, E., & Didierjean, A. (2001). Is generalisation conservative? A study with novices in chess. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, 475-491.
- Marsh, R.L., Bink, M.L., & Hicks, J.L. (1999). Conceptual priming in a generative problem-solving task. *Memory & Cognition*, 27, 355-363.
- Marsh, R.L., Landau, J.D., & Hicks, J.L. (1996). How examples may (and may not) constrain creativity. *Memory & Cognition*, 24, 669-680.
- Medin, D.L., Goldstone, R.L., & Gentner, D. (1993). Respects for similarity. *Psychological Review*, 100, 254-278.
- Medin, D.L., & Shaffer, M.M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, 85, 207-238.
- Michalsky, R.S. (1983). Theory and methodology of inductive learning. In R.S. Michalsky, J.G. Carbonell, & T.M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach*. Palo Alto, CA : Tioga Press.
- Mitchell, T.M., Keller, R.M., & Kedar-Cabelli, S.T. (1986). Explanation-based generalization: A unifying view. *Machine Learning*, 1, 47-80.
- Mooney, R.J. (1990). Learning plan schemata from observation: Explanation-based learning from plan recognition. *Cognitive Science*, 14, 483-509.
- Nicolas, S. (1994). Reflexions autour du concept de mémoire implicite. *L'Année Psychologique*, 94, 63-80.
- Nicolas, S. (1996). L'apprentissage implicite: le cas des grammaires artificielles. *L'Année Psychologique*, 96, 459-493.
- Nosofsky, R.M., & Alfonso-Reese, L.A. (1999). Effects of similarity and practice on speeded classification response times and accuracies: Further tests of an exemplar-retrieval model. *Memory & Cognition*, 27, 78-93.
- Nosofsky, R.M. (1987). Attention and learning processes in the identification and categorization of integral stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 87-108.
- Nosofsky, R.M. (1991). Typicality in logically defined categories: Exemplar-similarity versus rule-instantiation. *Memory & Cognition*, 19, 131-150.

- Nosofsky, R.M., Clark, S.F. & Shin, H.J. (1989). Rules and exemplars in categorization, identification, and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 15, 282-304.
- Nosofsky, R.M., Palmeri, T.J., & McKinley, S.C. (1994). Rule-plus-exception model of classification learning. *Psychological Review*, 101, 53-79.
- Novick, L.R., & Holyoak, K.J. (1991). Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 398-415.
- Perruchet, P., & Pacteau, C. (1990). Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge? *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 264-275.
- Pierce, K.A., Crain, R.M., Gholson, B., Smither, D., & Rabinowitz, F.M. (1996). The source of children's errors during nonisomorphic analogical transfer: Script theory and structure mapping theory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 62, 102-130.
- Pirolli, P., & Bielaczyc, K. (1989). Empirical analyses of self-explanation and transfer in learning to program. In *Proceeding of the 11th Annual Conference of Cognitive Science Society*. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Pirolli, P., & Recker, M. (1994). Learning strategies and transfer in the domain of programming. *Cognition and Instruction*, 12, 235-275.
- Posner, M.I., & Keele, S.W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 353-363.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85, 59-108.
- Reber, A.S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 5, 855-863.
- Reber, A.S. (1969). Transfer of syntactic structure in synthetic languages. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 115-119.
- Reber, A.S. (1976). Implicit learning of synthetic languages: The role of instructional set. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 88-94.
- Reber, A.S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219-235.
- Reber, A.S., & Allen, R. (1978). Analogy and abstraction strategies in synthetic grammar learning: A functional interpretation. *Cognition*, 6, 189-221.
- Reber, A.S., Kassin, S.M., Lewis, S., & Cantor, G.W. (1980). On the relationship between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6, 492-502.
- Redington, M., & Chater, N. (1996). Transfer in artificial grammar learning: A reevaluation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 123-138.

- Reed, S.K. (1987). A structure-mapping model for word problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 13, 124-139.
- Reed, S.K. (1989). Constraints on the abstraction of solutions. *Journal of Educational Psychology*, 81, 532-540.
- Reed, S.K., & Bolstad, C.A. (1991). Use of examples and procedures in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, 753-766.
- Reed, S.K., Ackinclose, C.C., & Voss, A.A. (1990). Selecting analogous problems: Similarity versus inclusiveness. *Memory & Cognition*, 18, 83-98.
- Rips, L.J. (1989). Similarity, typicality, and categorization. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Analogy, and Thought*, (p 21-59). Cambridge, MA : Cambridge University Press.
- Rodet L., & Tiberghien G. (1994). Toward a dynamic model of associative semantic memory. *Journal of Biological Systems*, 2, 401-411.
- Rosch, E.H., & Mervis, C.B. (1979). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 7, 573-605.
- Ross, B.H. (1987). This is like that: The use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13, 629-639.
- Ross, B.H. (1984). Reminders and their effects in learning a cognitive skill. *Cognitive Psychology*, 16, 371-416.
- Ross, B.H. (1989a). Distinguishing types of superficial similarities: Different effects on the access and use of earlier problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 456-468.
- Ross, B.H. (1989b). Reminding in learning and instruction. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*. Cambridge : Cambridge University Press, 438-469.
- Ross, B.H., & Bradshaw, G.L. (1994). Encoding effects of reminders. *Memory & Cognition*, 22, 591-605.
- Rothkopf, E.Z., & Dashen, M.L. (1995). Particularization: Inductive speeding of rule-governed decisions by narrow application experience. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21, 469-482.
- Rothkopf, E.Z., Dashen, M., & Teft, K. (1997). Aggregation in memory of episodic influences on rule-guided decisions, soumis.
- Saariluoma, P. (1989). Chess players'recall of auditorily presented chess positions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1, 309-320.
- Sander, E. (2000). *L'analogie, du naïf au créatif*. Paris : L'Harmattan.
- Schank, R.C. (1982). *Dynamic memory, a theory of reminding and learning in computers and people*. Cambridge, MA : Cambridge University Press.

- Schunn, C.D., & Dunbar, K. (1996). Primary, analogy, and awareness in complex reasoning. *Memory and Cognition*, 24, 271-284.
- Schunn, C.D., Reder, L.M., Nhoyvyanisvong, A., Richards D.R., & Sroffolino P.J. (1997). Familiarity's role in strategy selection. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 3-29.
- Schyns, P.G., & Murphy, G.L. (1991). The ontogeny of units in object categories. *Proceedings of the XIII meeting of the Cognitive Science Society* (pp. 197-202). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum.
- Schyns, P.G., & Murphy, G.L. (1994). The ontogeny of part representation in object concepts. In D.L. Medin (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, vol. 31, 301-349. San Diego, CA : Academic Press.
- Schyns, P.G., & Rodet, L. (1997). Categorization Creates Functional Features. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 681-696.
- Schyns, P.G., Goldstone, R.L., & Thibaut, J-P. (1998). The development of features in object concepts. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 1-54.
- Shanks, D.R., & ST. John, M.F. (1994). Characteristics of dissociable human learning systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 367-447.
- Shoben, E.J., & Gagné, C. (1997). Thematic relations and the creation of combined concepts. In T.B. Ward, S.M. Smith, & J. Vaid (Eds.), *Creative thought: An investigation of conceptual structures and processes*. Washington, DC : American Psychological Association, 31-50.
- Simon, H.A. (1973). The Structure of Ill Structured Problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-201.
- Simon, H.A. (1995). Problem forming, problem finding and problem solving in design. In A. Collen & W. Gasparski (Eds.), *Design & Systems*. New Brunswick, Etats-Unis : Transaction Publishers, 245-257.
- Simon, H.A. (1996). *The Sciences of the Artificial*. Third edition. Cambridge, MA : MIT Press.
- Smith, S.M., Ward, T.B., & Shumacher, J.S. (1993). Constraining effects of examples in a creative generation task. *Memory & Cognition*, 21, 837-845.
- Thagard, P., Holyoak, K.J., Nelson, G., & Goschfeld, D. (1990). Analogical retrieval by constraint satisfaction. *Artificial Intelligence*, 46, 259-310.
- Tiberghien, G. (1986). Context and cognition: Introduction. *CPC: European Bulletin of Cognitive Psychology*, 6, 105-121.
- Tiberghien, G. (1997). *La mémoire oubliée*. Sprimont : Mardaga.
- Tulving, E. (1983). *Elements of episodic memory*. Oxford : Oxford University Press.
- Tulving, E. (1985). How many systems memory are there? *American Psychologist*, 40, 385-398.

- Ward, T.B., & Sifonis, C. (1997). Task demands and generative thinking: What changes and what remains the same? *Journal of Creative Behavior*, 31, 245-259.
- Ward, T.B. (1994). Structured imagination: The role of category structure in exemplar generation. *Cognitive Psychology*, 27, 1-40.
- Weisberg, R.W. (1988). Problem solving and creativity. In R.J. Sternberg (Ed.), *The Nature of Creativity: Contemporary Psychological Perspectives*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Whittlesea, B.W.A., & Dorken M.D. (1993). Incidentally, things in general are particularly determined: an episodic-processing account of implicit learning. *Journal of Experimental Psychology : General*, 122, 227-248.

TRAITÉ DES SCIENCES COGNITIVES

Métaphores et analogies



sous la direction de
Charles Tijus