

L'évaluation réflexive dans la dynamique de l'activité du concepteur

Nathalie Bonnardel
CREPCO - UMR 6561 : CNRS & Université de Provence,
Aix en Provence

Dans le domaine industriel, le processus de conception, considéré dans son ensemble, implique de nombreux acteurs et est soumis à des décisions prises à différents niveaux dans l'entreprise. H. Houdoy décrit ainsi quatre niveaux d'évaluation aboutissant à des choix décisionnels de nature très différente (Houdoy, 1997) ☐

- l'évaluation "politique", réalisée par "l'état-major" de l'entreprise, qui permet de déterminer la position de l'entreprise sur le marché;
- l'évaluation "stratégique", qui est réalisée par différentes instances de l'entreprise, telles que la Direction du Marketing (en fonction des besoins de la clientèle) ou la Direction de la Recherche & Développement (en fonction des technologies émergentes, par exemple);
- l'évaluation "tactique", effectuée par l'équipe de projet, par exemple au sein du Bureau d'Etudes où certains choix décisionnels participent à la définition progressive du produit;
- l'évaluation "réflexive" effectuée par le concepteur au cours de sa propre activité de conception.

Le produit qui est finalement conçu peut donc être considéré comme résultant de différentes formes d'évaluation, conduisant chacune à des décisions complémentaires, même si elles sont parfois perçues comme conflictuelles, de par la prise en compte d'objectifs et de critères différents.

Une meilleure compréhension et une plus grande prise en compte, par chacun des acteurs du processus de conception, des décisions effectuées aux autres niveaux, ne peuvent que faciliter la communication et la collaboration entre les différents niveaux et, ainsi, améliorer le processus de conception lui-même. Dans cette perspective, nous allons nous focaliser sur l'évaluation "réflexive" mise en œuvre par des concepteurs travaillant en situations individuelles et collectives au sein d'un bureau d'études. Cet article présente ainsi un travail de psychologie cognitive contribuant à cerner le rôle de l'évaluation dans la dynamique de l'activité de conception et comment elle s'effectue.

Après une présentation théorique de l'activité de conception, nous caractériserons notre contexte d'étude (la conception de produits aérospatiaux) et décrirons les méthodes qui ont été employées. Nous présenterons ensuite certains résultats relatifs (1) au rôle de l'évaluation mise en œuvre par les concepteurs au cours de leur activité, (2) aux procédures d'évaluation qui peuvent être développées et (3) aux connaissances évaluatives utilisées. Nous terminerons cet article par une réflexion sur les difficultés que rencontrent les concepteurs dans leurs activités d'évaluation.

1. L'activité de conception : ses caractéristiques

En Psychologie cognitive, l'activité de conception est définie comme une *activité de résolution de problème*. Le concepteur doit définir un produit ayant une fonctionnalité particulière et se conformant à certaines spécifications – ce qui définit en partie le but à atteindre – mais il ne dispose d'aucune procédure directement applicable pour atteindre ce but (cf. Malhotra, Thomas, Carroll & Miller, 1980). C'est cette *absence de procédure prédéfinie pour atteindre le but* qui caractérise les situations de problème. Cela nous amène à distinguer les situations de conception proprement dites, associées à la notion d'innovation (même restreinte), des situations de production dans lesquelles le produit est déjà connu et pour lesquelles des procédures prédéfinies peuvent être directement appliquées.

Une seconde caractéristique, spécifique aux problèmes de conception, est que ces problèmes sont *mal définis* ou *mal structurés* : le concepteur ne dispose au départ que d'une représentation mentale incomplète et imprécise du but du problème (Eastman, 1969; Simon, 1973). Ce n'est que progressivement, au cours même de la résolution du problème, que le concepteur complète et précise sa représentation mentale en choisissant certaines options de conception. De ce fait, on ne peut dissocier la phase de construction de la représentation du problème – "problem framing" – de celle de résolution du problème – "problem solving" – (cf. Simon, 1995). Chaque concepteur se construit ainsi sa propre représentation du problème et traite en fait un problème qui lui est spécifique.

Une conséquence du caractère mal défini des problèmes de conception est à l'origine d'une troisième caractéristique : ces problèmes peuvent, de plus, être considérés comme *ouverts*, en ce sens qu'un problème donné admet une variété de solutions possibles (Fustier, 1989). Ainsi, plusieurs concepteurs confrontés à un même problème construisent des représentations mentales différentes de ce problème et parviennent donc à des solutions différentes, bien que toutes acceptables (cf. 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, éventuellement, des préférences personnelles (Bonnardel, 1992). Les critères d'évaluation seront donc nombreux et vont varier d'un concepteur à l'autre.

Il est à noter qu'une telle évaluation multi-critères s'observe non seulement au niveau des solutions envisagées ou des résultats obtenus (i.e. les produits conçus) mais aussi — pour les gestionnaires, par exemple — au niveau du processus de conception proprement dit (cf. Barthélémy, 1997). Ainsi le caractère "ouvert" des problèmes de conception peut-il se manifester à trois niveaux : le niveau des solutions potentielles, celui des critères d'évaluation de ces solutions et celui des critères d'évaluation du processus de conception. La part de choix laissée à chaque acteur dans le processus de conception est donc particulièrement importante.

Ces différentes caractéristiques suggèrent déjà que la résolution de problèmes de conception constitue une activité réellement complexe, à la fois lors de

l'élaboration de solutions et lors de leur évaluation. Afin d'appréhender les relations existant entre les étapes d'élaboration et d'évaluation de solutions et de comprendre comment s'effectue l'évaluation réflexive, nous allons présenter un travail réalisé dans un domaine de conception de produits de haute technologie : les produits aérospatiaux¹.

2. Contexte d'étude et méthodes utilisées

Comme toute situation de conception de produits industriels, la conception de produits aérospatiaux peut être décrite en fonction d'au moins deux points de vue□

- celui de la définition complète du produit, qui implique la participation de différents acteurs allant du client aux opérateurs travaillant dans l'atelier de fabrication (point de vue "macroscopique");
- celui de la tâche et de l'activité² de l'opérateur qui est affecté à une étape spécifique de définition du produit (point de vue plus localisé ou "microscopique").

Le travail que nous allons présenter étant centré sur l'évaluation développée par un ou plusieurs concepteurs, nous adoptons le point de vue plus microscopique et nous nous centrons sur une étape particulièrement adaptée à cette analyse en raison de la fréquence et de l'importance des choix de conception qui y sont effectués : la conception réalisée au sein du bureau d'étude (B.E.).

Dans le bureau d'étude où a été conduite notre recherche, les concepteurs sont répartis en deux groupes de travail, chacun spécialisé dans la conception de certains produits aérospatiaux (réflecteurs vs. structures intégrables dans la fusée Ariane). Selon leur nombre d'années d'expérience dans l'un ou dans l'autre de ces secteurs, les concepteurs peuvent être plus ou moins expérimentés.

Chaque groupe de travail est constitué de plusieurs ingénieurs et techniciens. Les tâches qui leur incombent sont différentes□il peut s'agir, par exemple, pour les ingénieurs, de tâches de dimensionnement des structures (sur la base de calculs par éléments finis) et, pour les techniciens-dessinateurs, de tâches de définition précise et de représentation graphique de la forme des structures (sur la base d'esquisses, puis de "plans d'étude" jusqu'aux "plans de fabrication"). Bien que leurs tâches soient distinctes, ils travaillent souvent en collaboration, notamment lors de grandes décisions de conception, comme, par exemple, lors du choix du matériau ou de la forme globale envisagée pour la structure aérospatiale.

Cette description sommaire du B.E. nous permet de définir deux traits distinctifs des concepteurs ou "facteurs invoqués" (i.e. préexistant à l'intervention d'un expérimentateur)□

¹ Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un contrat entre l'INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) et l'AEROSPATIALE.

² En Ergonomie et en Psychologie cognitive, les termes "tâche" et "activité" font référence, respectivement, à l'état final auquel doit parvenir l'opérateur (ici, le concepteur) dans des conditions déterminées ("tâche prescrite") et à ce que fait réellement l'opérateur pour parvenir à cet état final (en tenant compte à la fois de ses comportements physiques et de ses processus cognitifs).

- leur "*niveau d'expertise*" dans leur domaine de spécialité (celui de la conception de réflecteurs ou de structures intégrables dans la fusée Ariane). Compte tenu de leur ancienneté dans l'entreprise et sur leur poste de travail, les concepteurs peuvent se situer sur un continuum allant des "novices" aux "expérimentés" (s'ils bénéficient de plus de 2 années d'expérience) et aux "experts" (lorsqu'ils bénéficient de dizaines d'années d'expérience et sont considérés comme tels par leurs pairs);
- leur "*type d'expertise*" qui rend compte de la formation qu'ont reçue les concepteurs et de la spécificité des tâches qu'ils effectuent (ingénieurs-calculateurs vs. techniciens-dessinateurs).

Afin de poursuivre des objectifs progressivement circonscrits et de pallier les limites propres à chaque méthode de recueil de données, plusieurs méthodes ont été associées (pour plus de détails sur ces méthodes, cf. Bonnardel, 1992) ☐

- 1) Des activités de conception individuelles ont tout d'abord été étudiées, sur la base d'entretiens et d'observations en temps réel auprès d'experts (qui bénéficiaient d'une trentaine d'années d'expérience dans l'entreprise), pour caractériser la démarche de résolution individuelle de problèmes de conception et pour déterminer le rôle de l'évaluation dans la dynamique de l'activité de conception.
- 2) Des activités de conception collectives ont ensuite été analysées, sur la base de situations dites de "transfert de projet" (Bonnardel, 1993). Ces situations étaient induites par un scénario de type "passation de consigne". Selon les cas, un ou deux concepteurs travaillant sur un projet donné devaient imaginer qu'ils allaient quitter la division de l'entreprise (pour se rendre à l'étranger) et qu'ils devaient, de ce fait, présenter le problème de conception en question et préciser l'état d'avancement de leur travail à l'un de leurs collègues (spécialisé dans le même domaine mais n'ayant pas eu connaissance de ce projet particulier), afin que celui-ci puisse poursuivre le travail commencé. De telles situations se sont révélées particulièrement intéressantes puisqu'elles ont suscité non seulement une transmission d'informations mais également une réelle activité de conception collective, au cours de laquelle les différents concepteurs collaboraient en vue de la résolution du problème (par exemple, en complétant des étapes d'élaboration, d'évaluation ou de modification de solutions initiées par un autre concepteur) et verbalisaient spontanément une partie de leur raisonnement. Les données ainsi obtenues ont permis de compléter les résultats de l'étape précédente et, notamment, d'identifier différentes procédures d'évaluation de solutions.
- 3) Des situations expérimentales ont finalement été mises en oeuvre pour appréhender de façon plus précise la nature et l'organisation des connaissances évaluatives des concepteurs ☐
 - Une première situation visait à amener les concepteurs à évaluer des solutions qui leur étaient proposées pour résoudre, d'une part, un problème traditionnel dans l'entreprise et, d'autre part, un problème nouveau, tout en énonçant les paramètres auxquels ils se référaient pour cette évaluation. Nous avons proposé le terme générique de "*référénts évaluatifs*" pour regrouper les différents paramètres évaluatifs possibles et montrer que l'évaluation s'effectue en fonction d'un champ de référence ou d'un point de

vue qui peut dépendre de plusieurs facteurs (tels que le type d'expertise des concepteurs, leur niveau d'expertise, le type de problème à résoudre, etc.).

- La seconde situation a été constituée sur la base des référents évaluatifs recueillis précédemment □ elle visait à appréhender l'organisation de ces référents évaluatifs. Dans ce but, les concepteurs ont eu à catégoriser les différents référents évaluatifs et à énoncer les relations qu'ils percevaient entre eux.

3. L'évaluation en conception : rôle, procédures et connaissances

3.1 Le rôle de l'évaluation

Les différentes données recueillies, tant en situations de conception individuelles que collectives, montrent qu'il ne peut y avoir de conception sans évaluation, celle-ci assurant de plusieurs façons le *contrôle de l'activité de conception*, c'est à dire la régulation de l'activité en vue du bon déroulement de la tâche de conception □

- par la détermination de l'étape suivante de conception,
- par la sélection d'une solution parmi d'autres,
- par la définition du focus de l'attention du concepteur.

3.1.1 Détermination de l'étape suivante de conception

Chaque état courant de résolution du problème, aboutissant à la définition d'un nouvel élément de solution (ou solution partielle), est l'objet d'une évaluation qui permet au concepteur de déterminer l'étape suivante de conception (Bonnardel, 1992).

- Si la solution partielle est jugée satisfaisante, le concepteur va chercher à la développer davantage, sur la base d'un *processus de concrétisation* (cf. figure 1), consistant à □

- (1) prendre en compte l'un des attributs de la structure (aérospatiale), tels que son matériau ou sa forme (étape de "discrétisation"),
- (2) définir, sous la forme d'une ou plusieurs contraintes, certaines propriétés souhaitables pour l'élément de solution recherché (étape de "spécialisation"),
- (3) sélectionner un élément de solution respectant la contrainte précédemment définie (étape "d'instanciation").

Cette description schématique correspond à la démarche la plus directe pour développer une solution mais les concepteurs peuvent dévier d'une telle démarche, pour passer d'un élément de solution à un autre ou d'un niveau d'abstraction à un autre, ce qui traduit le caractère "opportuniste" de l'activité de conception (Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1979; Visser, 1990). Nous verrons par la suite que de tels changements de focus de l'attention peuvent s'expliquer par l'établissement de relations entre les référents évaluatifs que prennent en compte les concepteurs.

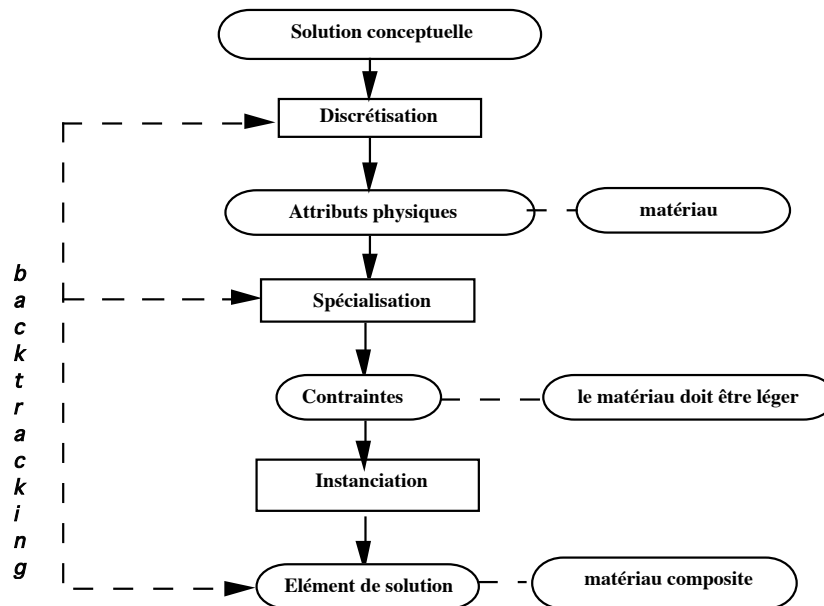


Figure 1 Les étapes de concrétisation de solutions

- Si la solution partielle est considérée comme insatisfaisante, le concepteur va chercher à effectuer une *modification* pouvant intervenir à différents niveaux mais se conformant généralement à l'ordre de priorité suivant
 1. modifier la solution courante,
 2. modifier une solution de plus haut niveau d'abstraction, ou modifier une solution de même niveau d'abstraction que la solution courante mais avec laquelle elle paraît incompatible,
 3. essayer de modifier certaines spécifications (ce qui suscite généralement des négociations avec une instance située en amont).
- Si la solution partielle se rajoute aux éléments de solution antérieurs pour constituer la solution complète et si celle-ci apparaît satisfaisante, les plans qui lui sont associés sont transmis à l'atelier en vue de sa *fabrication*.

Il est à noter que le statut "satisfaisant - insatisfaisant" n'est pas toujours simple à déterminer : il peut donner lieu à des *compensations*, non seulement entre plusieurs concepteurs (se traduisant par des négociations) mais aussi pour un seul concepteur.

Exemple de jugements produits par deux concepteurs

- "Cette structure va être beaucoup trop lourde"
- "Oui, mais l'avantage est qu'elle gagne en rigidité".

Exemple de jugements produits par un seul concepteur

"L'ébauche [de cette pièce] coûte peut-être cher mais, par contre, quand c'est terminé, c'est terminé".

D'autre part, bien que les jugements que les concepteurs portent sur les solutions puissent souligner les traits positifs et les traits négatifs des solutions, il est apparu que les concepteurs focalisent davantage leur attention sur les *aspects négatifs* (en développant une réflexion plus poussée à leur égard). Ces aspects négatifs sont en effet davantage informatifs pour les concepteurs puisqu'ils indiquent ce qui doit être modifié ou amélioré dans la solution

courante, alors que les aspects positifs confirment uniquement le bien-fondé de l'étape de conception précédente.

3.1.2 Sélection d'une solution

La sélection d'une solution peut s'effectuer à différentes étapes de la résolution d'un problème de conception et en fonction d'objectifs très différents. Si l'une des solutions considérées à un moment donné doit être sélectionnée en vue d'un développement, le concepteur va privilégier celle qui présente le moins de traits négatifs et/ou les traits négatifs considérés comme les moins importants (nous verrons par la suite comment peuvent s'effectuer de tels jugements). Si l'une des solutions est sélectionnée en vue d'une modification, il s'agira de celle dont la modification est considérée comme la moins coûteuse, à la fois financièrement et cognitivement. Ainsi, bien que les objectifs poursuivis soient différents, les choix du concepteur reposent sur le même principe : *limiter le coût cognitif*, c'est à dire simplifier le plus possible les actions à effectuer et, de ce fait, alléger la charge mentale qu'elles requièrent.

3.1.3 Détermination du focus de l'attention

Outre la définition d'orientations générales pour la poursuite de l'activité de conception (telles que le développement ou la modification de solutions), les résultats de l'évaluation amènent le concepteur à prendre en compte des contraintes précises. Ainsi, au début de la résolution du problème de conception (et, éventuellement, par la suite), le concepteur évalue les spécifications qui lui sont présentées dans le cahier des charges afin de sélectionner celles qui lui semblent pertinentes, compte tenu de la spécificité de sa tâche et, ainsi, définir des "contraintes prescrites" (par exemple, des contraintes dimensionnelles pour la structure aérospatiale). Comme nous l'avons souligné précédemment, ces contraintes ne sont pas suffisantes pour permettre au concepteur de se construire une représentation précise et complète du but (caractéristique des problèmes "mal définis"), aussi va-t-il les compléter par la définition de nouvelles contraintes (cf. Bonnardel, 1989). Certaines d'entre elles, dites "contraintes déduites", résultent d'une analyse des caractéristiques de l'état courant de résolution du problème ou des conséquences de contraintes déjà définies (par exemple, le fait de choisir une solution "à tricot" pour un réflecteur amène les concepteurs à définir la contrainte "homogénéiser la déformée du tricot" [i.e., la configuration de la surface réfléchissante du réflecteur]). D'autres sont dites "contraintes construites" car elles ont été développées par le concepteur au fur et à mesure de son acquisition d'expertise. Ces dernières contraintes permettent aussi à l'opérateur d'opérationnaliser certains critères généraux, c'est à dire de choisir, compte tenu de son expérience et de ses préférences, certains moyens pour satisfaire un critère donné (par exemple, pour satisfaire un critère de "coût" de la solution — i.e. limitation du coût de revient — le concepteur peut décider "d'utiliser des technologies connues" ou "de limiter la durée d'usinage").

A 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 (par exemple, consécutivement à l'évaluation négative d'un matériau traditionnel, le concepteur considère comme prioritaire la contrainte "utiliser un matériau ne

In J. Perrin (Ed.), *Pilotage et évaluation des activités de conception*. Paris : L'Harmattan, 87-105.

se dilatant pas", ce qui l'amène à focaliser son attention sur les différents matériaux existants et à proposer la solution "Invar").

3.2 Les procédures d'évaluation

Quatre procédures d'évaluation ont été identifiées (Bonnardel, 1992)☐

1. Un mode d'évaluation *global*, qui permet aux concepteurs d'apprécier d'emblée l'intérêt d'une solution de conception, sans analyser en détails ses caractéristiques techniques (ex: "le monolithique, je trouve que ce serait le mieux"). Cette procédure d'évaluation semble être surtout mise en œuvre pour traiter des solutions présentant des traits conceptuels ou schématiques. De plus, elle semble être principalement le fait de concepteurs experts ou expérimentés, ce qui pourrait traduire l'adoption de "raccourcis" dans leur raisonnement, conformément au modèle de Rasmussen (1986).

2. Un mode d'évaluation *analytique*, qui permet aux concepteurs d'identifier les inconvénients et les avantages des solutions eu égard à certains référents évaluatifs (ex: "la structure nue, même pas aménagée, ferait 50 kg. C'est beaucoup trop lourd" [évaluation en fonction du critère "légèreté", prépondérant dans le domaine]). Cette procédure peut être mise en œuvre pour traiter des solutions conceptuelles qui ont été jugées globalement insatisfaisantes et, surtout, pour traiter des solutions physiques (i.e. dont les caractéristiques techniques sont définies).

3. Un mode d'évaluation *comparatif*, qui permet aux concepteurs d'évaluer termes à termes et eu égard aux mêmes référents évaluatifs, soit des solutions alternatives, soit la solution envisagée en fonction d'une solution de référence (ex: "avec du monolithique, on peut faire des trous n'importe où, alors qu'avec du sandwich, il faut mettre des inserts, il faut faire des empotages ..." [évaluation de la facilité de fixation d'équipements sur la structure]).

4. Un mode d'évaluation *analogique*, qui permet aux concepteurs de transférer à la solution courante —☐solution dite "cible" — un jugement porté antérieurement sur une solution similaire — solution dite "source" — (ex: "le monolithique, c'est ce qui se rapproche le plus du métallique, donc on peut y faire des trous").

La prise en compte de référents évaluatifs par les concepteurs apparaît centrale dans l'activité de conception☐ elle sous-tend trois des quatre procédures d'évaluation identifiées (les procédures analytique, comparative et analogique). De plus, nous avons vu que la prise en compte de certains référents évaluatifs aboutit à la génération de nouvelles contraintes ("construites" et "déduites") qui déterminent le focus de l'attention des concepteurs. Aussi était-il intéressant d'analyser les connaissances évaluatives utilisées par les concepteurs.

3.3 Les connaissances évaluatives

Comme cela a été évoqué précédemment, deux situations expérimentales ont permis d'approfondir la nature des connaissances évaluatives des concepteurs (cf. Bonnardel, 1992). La première amenait les concepteurs à évaluer des solutions tout en énonçant les paramètres auxquels ils se réfèrent (cf. figure 2).

<p><u>Sujets</u> :</p> <p>14 concepteurs de niveau d'expertise et de type d'expertise différents.</p> <p><u>Matériel expérimental</u> :</p> <p>2 problèmes de conception : l'un traditionnel, dans le domaine des structures intégrables dans la fusée Ariane; l'autre nouveau, dans le domaine des réflecteurs.</p> <p>Chaque problème était associé à un ensemble de solutions potentielles³ : le problème traditionnel à des solutions "physiques" (dont les caractéristiques sont définies de façon précise et concrète) et le problème nouveau à des solutions "conceptuelles" (plus schématiques).</p> <p><u>Tâche pour les concepteurs</u> :</p> <p>évaluer les solutions proposées pour chacun des problèmes et sélectionner la plus satisfaisante, tout en énonçant à haute voix les paramètres auxquels ils se réfèrent.</p>

Figure 2 : Caractéristiques de la première situation expérimentale

Les données recueillies au cours de cette situation expérimentale ont été analysées quantitativement et qualitativement.

En ce qui concerne la quantité de référents évaluatifs pris en compte, les résultats obtenus montrent que les concepteurs considèrent explicitement un *nombre restreint* de référents évaluatifs : en moyenne, 8 pour le problème traditionnel et 6 pour le problème nouveau — ce qui ne va pas sans rappeler la taille de l'empan mnémorique (7 ± 2 éléments). Par ailleurs, *le niveau d'expertise des concepteurs* semble influencer sur la quantité de référents évaluatifs considérés pour traiter le problème nouveau (contrairement au problème traditionnel) : les concepteurs expérimentés dans le domaine du problème nouveau prennent en compte, en moyenne, 8,4 référents évaluatifs contre 4,75 pour les concepteurs non expérimentés.

En ce qui concerne la nature des référents évaluatifs pris en compte par les concepteurs, nous avons distingué ceux qui étaient relatifs aux caractéristiques générales des solutions (comme "l'intérêt" d'une solution ou sa "faisabilité") de ceux relatifs aux caractéristiques précises et concrètes des solutions (ex: "limiter le nombre d'actuateurs"). Les premiers (relatifs aux caractéristiques générales) jouent le rôle de principes directeurs dans l'activité de conception et sont souvent cités lors de l'évaluation de solutions; aussi les désignons-nous par le terme de *critères*. Les seconds (relatifs aux caractéristiques précises et concrètes) limitent l'espace de recherche de solutions et, ainsi, contraignent directement l'activité du concepteur; aussi les désignons-nous par le terme de *contraintes* (qui peuvent être subdivisées en contraintes prescrites, déduites et construites).

Nous avons utilisé cette typologie pour analyser les référents évaluatifs énoncés par les concepteurs. Il est ainsi apparu qu'environ 80% des référents évaluatifs recueillis étaient *généraux*, c'est à dire utilisés par les différents concepteurs, quels que soient leur type et leur niveau d'expertise (par exemple,

³ Les problèmes de conception et les solutions ont été définis par deux chefs de service (l'un spécialisé dans le domaine des structures intégrables dans la fusée Ariane, l'autre dans le domaine des réflecteurs) et il est à noter que le problème traditionnel a été spontanément associé à des solutions "physiques" et le problème nouveau à des solutions "conceptuelles".

le coût, la fiabilité, etc.). Les autres référents évaluatifs étaient *spécifiques* et pouvaient dépendre alors de trois facteurs :

- les particularités des produits à concevoir (comme, par exemple, la contrainte de hauteur dans le cas du problème traditionnel)☐
- le niveau de développement des solutions (par exemple, les critères d'utilité et d'intérêt sont utilisés pour évaluer globalement des solutions abstraites alors que le délai de livraison est pris en compte pour les solutions physiques)☐
- le type d'expertise des concepteurs ou leur niveau d'expertise (par exemple, le critère "facilité de calcul" est spécifiquement pris en compte par les ingénieurs).

La seconde situation expérimentale avait pour finalité de déterminer comment les concepteurs catégorisaient les référents évaluatifs qu'ils jugeaient pertinents pour traiter des solutions de conception et de caractériser la nature des relations existant entre ces référents évaluatifs (cf. figure 3).

<p><u>Sujets</u>☐ 12 concepteurs de niveau d'expertise et de type d'expertise différents.</p> <p><u>Matériel expérimental</u>☐ 80 critères énoncés au cours de la situation expérimentale précédente, présentés chacun sur une carte. 1 tableau magnétique permettant aux concepteurs de disposer les cartes comme ils le souhaitent.</p> <p><u>Tâche pour les concepteurs</u>☐ 1) regrouper les critères qui "vont ensemble" tout en explicitant les raisons des regroupements effectués; 2) sélectionner les critères qu'ils jugent pertinents pour la réalisation d'une tâche de conception et expliciter les relations qu'ils perçoivent entre ces critères (en les plaçant sur le tableau magnétique et en représentant ces relations par des segments de droites reliés aux critères).</p>

Figure 3☐ Caractéristiques de la seconde situation expérimentale

Les résultats obtenus ont montré que les concepteurs pouvaient adopter des points de vue différents pour catégoriser les référents évaluatifs☐

- un point de vue *chronologique*, lorsque les regroupements effectués reflétaient la succession des tâches au niveau du bureau d'étude☐
- un point de vue *sémantique*, lorsque les concepteurs regroupaient des référents évaluatifs véhiculant des significations similaires. Ces regroupements sémantiques peuvent rendre compte de relations "classe-instances" ou de relations de "cause et effet" établies entre certains référents évaluatifs (cf. figure 4).

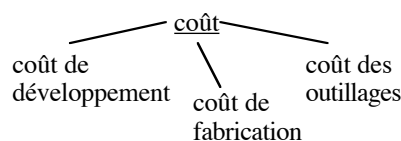


Figure 4☐ Exemple de relation "classe-instance"

Par ailleurs, les relations spécifiées par les concepteurs entre les référents évaluatifs rendent compte de *l'influence* que les référents exercent les uns sur les

autres (cf. Bonnardel, 1996). Ainsi, le respect d'un référent évaluatif peut induire l'*activation* d'un autre référent ou, au contraire, son *inhibition*. De telles relations peuvent être exprimées à différents niveaux de gradualité, allant de relations discrètes à des relations continues, définissant ainsi des "topoi" (cf. Raccah, 1996).

Exemple de relation discrète☐

"Si nous choisissons la solution pour laquelle nous disposons d'expérience industrielle, il n'y a aucun développement" // expérience_industrielle => ¬ développement //

Exemples de relations continues (ou topiques)☐

"Plus la structure est légère, plus elle est chère" // + légèreté, + coût //
"Lorsque la légèreté augmente, la rigidité diminue" // + légèreté, - rigidité //

Les relations sont le plus souvent énoncées entre deux référents évaluatifs mais elles peuvent aussi en concerner davantage. Ainsi, des concepteurs peuvent inhiber une relation déjà établie entre deux référents évaluatifs en appliquant à cette relation un nouveau référent (Bonnardel, 1996).

Exemple☐

"Les exigences d'interface peuvent être sévères, mais nous pouvons les respecter si nous disposons d'expérience industrielle".

Deux relations sous-tendent cet énoncé (cf. figure 5)☐

// exigences_d'interface_sévères => ¬ faisabilité// [cette relation est inférée]
// expérience_industrielle => faisabilité//

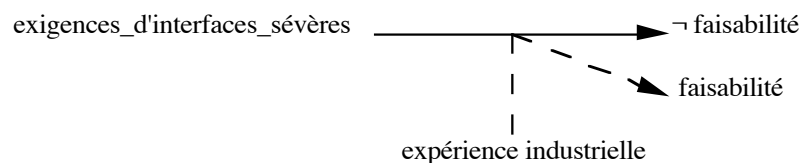


Figure 5☐ Exemple d'application d'une relation sur un lien déjà établi

De nouvelles relations peuvent ainsi être établies au cours de la résolution d'un problème de conception et affecter des relations apparemment préétablies (probablement 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 les *changements de focus de l'attention* de la part du concepteur et, ainsi, le caractère *opportuniste* de l'activité de conception. Par exemple, la prise en compte d'un critère de légèreté associé au trait descriptif "matériau de la structure" peut entraîner la prise en compte d'un nouveau critère☐ celui de rigidité (ex: "une structure légère risque d'être trop souple"). Ce dernier critère peut alors être lié, via une relation sémantique, au trait descriptif "forme de la structure", ce qui va amener le concepteur à changer de focus de l'attention☐ avant même de définir avec précision le matériau choisi pour la structure aérospatiale, il va s'intéresser à sa forme (ex: "si la structure est conique, elle sera plus rigide que si elle a une forme aplatie").

La prise en compte de certains référents évaluatifs (accompagnée de l'activation ou de l'inhibition d'autres référents) s'explique aussi par le fait que les

concepteurs *évaluent* les référents évaluatifs. Cette nouvelle forme d'évaluation leur permet alors de définir

- le statut des référents évaluatifs, c'est à dire s'ils doivent être considérés comme "à satisfaire obligatoirement" (dits " destructifs" par les concepteurs) ou "à satisfaire de préférence";
- leur importance relative, qui dépend de différents facteurs, tels que le type de problème de conception considéré, l'état courant de résolution du problème, la nature des autres référents évaluatifs pris en compte à un moment donné, ainsi que les préférences propres à chaque concepteur.

Les résultats de l'appréciation du statut et de l'importance relative des référents évaluatifs permettent au concepteur de définir *un ordre de priorité* entre les référents évaluatifs, qui intervient dans la plupart des procédures évaluatives identifiées et sous-tend les différentes fonctions de l'évaluation de solutions que nous avons décrites précédemment.

4. Conclusion : puissance et limites de l'évaluation réflexive

La puissance de l'évaluation réflexive mise en œuvre par un concepteur donné (ou par des concepteurs travaillant en collaboration) a été illustrée au cours des descriptions précédentes. L'évaluation des référents évaluatifs apparaît sous-jacente à l'évaluation de solutions, et les résultats de l'évaluation de solutions constituent les déterminants majeurs des différentes décisions que prennent les concepteurs (décision de développer ou de modifier une solution, d'en sélectionner une parmi d'autres, etc.). De plus, le focus de l'attention s'est révélé dépendre à la fois des conséquences de l'évaluation d'une solution courante (via la définition de nouvelles contraintes) et de relations préétablies entre certains référents évaluatifs (stockées en mémoire) ou qui s'établissent au cours même de la résolution d'un problème. Ces différentes composantes de l'évaluation réflexive permettent alors d'expliquer le déroulement de l'activité de conception et, en particulier, les démarches opportunistes.

Les limites de l'évaluation réflexive se manifestent par les difficultés que rencontrent les concepteurs lors de l'évaluation de solutions. Ces difficultés peuvent être dues à différents facteurs : des connaissances évaluatives limitées, une anticipation difficile des caractéristiques du produit final et une méconnaissance du comportement réel des futurs utilisateurs.

- Tout concepteur dispose de connaissances évaluatives limitées. C'est évidemment le cas de concepteurs débutant dans un domaine (nous avons ainsi vu que les concepteurs non expérimentés dans le domaine du problème nouveau n'évaluaient que partiellement les solutions qui leur étaient proposées), mais c'est aussi le cas de concepteurs expérimentés et même experts. En effet, la complexité de certains domaines de conception est telle que les connaissances évaluatives d'un concepteur donné doivent être complétées par celles d'opérateurs relevant de champs de spécialité différents et/ou situés à un autre niveau dans le processus de conception (en amont ou en aval du concepteur considéré).

Pallier de telles difficultés ou, tout au moins, essayer de les atténuer apparaît comme une tâche délicate. Néanmoins, certaines méthodes de conception et d'évaluation ont été proposées et certains systèmes informatiques d'assistance

à l'activité de conception ont été développés. Parmi ceux-ci, les systèmes "critiques" nous paraissent particulièrement intéressants (cf. Fischer, Lemke, Mastaglio & Morch, 1991). Il s'agit de systèmes d'aide à l'évaluation intégrés dans l'environnement de conception qu'utilisent les concepteurs pour construire leurs solutions. Contrairement aux systèmes experts classiques, les systèmes critiques ne proposent pas aux utilisateurs des solutions prédéfinies, ce qui apparaîtrait comme extrêmement limitateur et contraire au caractère "ouvert" des problèmes de conception. Ils aident les concepteurs à évaluer leurs propres solutions (ou éléments de solution) en fonction de connaissances évaluatives relevant de leur champ d'expertise et, éventuellement, de connaissances évaluatives complémentaires pouvant refléter d'autres champs d'expertise. De tels systèmes se sont révélés utiles pour aider des concepteurs débutants dans leurs activités d'évaluation mais aussi pour des concepteurs expérimentés et experts, leur impact sur l'activité de conception étant alors de nature différente (cf. Bonnardel & Sumner, 1996).

Les systèmes critiques jouent ainsi un rôle important au niveau de la résolution proprement dite du problème de conception. Ils peuvent, de plus, fournir un apport considérable aux deux autres niveaux de l'organisation du "pilotage de l'innovation-produit" proposée par C. Pellegrin (1997) ☐

- celui de la capitalisation des connaissances, puisque des connaissances évaluatives variées doivent être recueillies et organisées de façon pertinente pour développer les bases de connaissance des systèmes critiques;
- celui des interactions et de la collaboration entre différents acteurs et services dans l'entreprise.

En ce qui concerne ce dernier aspect, J. Perrin (1997) nous a montré que des points de vue différents de l'objet à concevoir doivent être confrontés dans les situations de conception complexes. Ces points de vue peuvent se rapporter à des services différents au sein de l'entreprise (ex: service de marketing, service financier, etc.) ou à différents métiers impliqués dans la conception de l'objet en question (ex: motoristes vs. électriciens en construction automobile). Les systèmes critiques peuvent alors faciliter l'établissement de compromis entre les différents acteurs puisque la base de connaissances évaluatives de ces systèmes peut être complétée de manière à refléter d'autres points de vue que celui d'un concepteur intervenant, par exemple, en bureau d'étude. Dans ce cas, des informations relevant d'autres services ou d'autres métiers et introduisant ainsi d'autres niveaux d'évaluation peuvent être fournies au concepteur de façon "précoce" (par exemple, des contraintes liées à la fabrication peuvent lui être indiquées par le système au cours même de son activité de conception) et de façon "contextuelle" (les informations étant directement liées à l'état de résolution courant du problème). Ainsi, un concepteur peut d'emblée tenir compte de points de vue traditionnellement adoptés par des instances en amont et/ou en aval, pour les intégrer dans le travail en cours ou pour s'en servir pour préparer des discussions ou négociations avec ces instances. Une meilleure compréhension des autres points de vue pourrait ainsi faciliter la coopération entre les différents services et/ou métiers (et, à terme, aboutir à des décisions moins conflictuelles et plus cohérentes).

- Les difficultés d'évaluation peuvent également résulter de difficultés d'anticipation du produit final. Ainsi, lorsque le processus allant de la conception à la fabrication est long et relève d'acteurs différents, ceux chargés de la conception ont des difficultés à anticiper toutes les caractéristiques du

produit final. Certains outils de simulation peuvent alors les assister dans leur analyse. Ainsi, le système proposé par Sénéchal, Raviart & Tahon (1997) peut fournir au concepteur des indicateurs de performances physiques et/ou économiques et, ainsi, faciliter l'anticipation de certaines caractéristiques de la solution de conception envisagée ou de solutions alternatives. Il nous apparaît, de plus, souhaitable d'intégrer l'outil de simulation dans l'environnement de conception qu'utilise le concepteur, éventuellement, en association avec un système critique, comme cela a été fait dans l'environnement de conception VDDE (Voice Dialog Design Environment) pour l'assistance à la conception de messageries vocales (cf. Sumner, Bonnardel & Harstad, 1997). Ce système propose aux concepteurs une simulation visuelle de la navigation dans la messagerie vocale ainsi qu'une simulation auditive des messages vocaux qui pourront être présentés à l'utilisateur final.

- La prise en compte du comportement réel des futurs utilisateurs est nécessaire pour une "conception simultanée du produit et de l'usage" mais elle se révèle particulièrement difficile (cf. Houdoy, 1997). L'organisation classique freine l'expression des utilisateurs, les utilisateurs eux-mêmes ne souhaitent et, surtout, ne parviennent pas toujours à expliciter ce dont ils ont besoin ou à rendre compte de leurs comportements. Or, il est indispensable que le concepteur dispose d'informations relatives aux conditions d'utilisation et d'utilisabilité du futur produit (un produit potentiellement utile pouvant se révéler inutilisable). Une telle anticipation ne peut s'effectuer sans une analyse approfondie des attentes et des besoins des futurs utilisateurs et, surtout, sans une analyse de leurs comportements physiques et de leurs processus cognitifs. Le concepteur n'a généralement ni la formation, ni le temps nécessaire pour procéder à cette analyse; aussi est-il indispensable d'inclure dans les différents métiers participant à la conception d'un produit nouveau l'intervention d'ergonomes, cela dès le début (ou même dans le cadre d'une analyse préalable) – et, bien évidemment, pas à la fin du processus de conception (le produit étant alors conçu et les modifications profondes quasi impossibles). Leur contribution permet de connaître la tâche et l'activité réelle des futurs utilisateurs et, sur cette base, de leur proposer des produits réellement utiles et facilement utilisables car adaptés à leurs attentes et besoins, à leurs caractéristiques physiques et, ce qui est souvent le plus délicat, à leur fonctionnement cognitif.

Références bibliographiques

- Barthélémy, P. (1997). Critères d'évaluation du processus de conception de produit. *dans cet ouvrage*.
- Bisseret, A., Figéac-Letang, C. & Falzon, P. (1988). *Modeling opportunistic reasonings: the cognitive activity of traffic signal setting technicians*. (Rapport de Recherche INRIA n°893). Rocquencourt □ INRIA.
- Bonnardel, N. (1989). *L'évaluation de solutions dans la résolution de problèmes de conception*. (Rapport de Recherche INRIA n°1072). Rocquencourt □ INRIA.
- Bonnardel, N. (1992). *Le rôle de l'évaluation dans les activités de conception*. Thèse de Doctorat de l'Université de Provence.

- In J. Perrin (Ed.), *Pilotage et évaluation des activités de conception*. Paris : L'Harmattan, 87-105.
- Bonnardel, N. (1993). Expertise transfer, knowledge elicitation, and delayed recall in a design context. *Behaviour & Information Technology*, **12** (5), 304-314.
- 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. & Sumner, T. (1996). Supporting evaluation in design. *Acta Psychologica*, **91**, 221-244.
- Eatsman, C. M. (1969). Cognitive processes and ill-defined problems: a case study from design. *Proceedings of the First Joint International Conference on I.A.*, Washington, D.C., 669-690.
- Fischer, G., Lemke, A. C., Mastaglio, T. and Morch, A. 1991, Critics: An emerging approach to knowledge-based human-computer interaction. *International Journal of Man-Machine Studies*, **35**, 695-721.
- Fustier, M. (1989). *La résolution de problèmes – méthodologie de l'action*. Paris – Editions ESF & Librairies Techniques.
- Hayes-Roth, B. & Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, **3**, 275-310.
- Houdoy, H. (1997). Exploration et évaluation dans une conception simultanée du produit et de son usage. *dans cet ouvrage..*
- Malhotra, A., Thomas, J. C., Carroll, J. M. & Miller, L. A. (1980). Cognitive processes in design. *International Journal of Man-Machine Studies*, **12**, 119-140.
- Pellegrin, C. (1997). Des représentations à l'évaluation dans le pilotage de l'innovation-produit. *dans cet ouvrage.*
- Perrin, J. (1997). Modèles de représentation et formes de pilotage du processus de conception. *dans cet ouvrage.*
- Raccach, P.-Y. (1996). *Topoï et Gestion de la Connaissance*, Collection Sciences Cognitives, Paris: Masson.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam: North-Holland.
- Sénéchal, O., Raviart, D., Tahon, C. (1997). Simulation de la production pour la conception simultanée produit-process. *dans cet ouvrage.*
- 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 (USA): Transaction Publishers, 245-257.
- Sumner, T., Bonnardel, N. , Harstad, B. (1997). The cognitive ergonomics of knowledge-based design support systems. *Proceedings of CHI'97 - Human Factors in Computing Systems* (Atlanta, March 22-27), 83-90.
- Visser, W. (1990) More or less following a plan during design : opportunistic deviations in specification. *International Journal of Man-Machine Studies*, Special Issue : What programmers know, **33** (3), 247-278.