

Bonnardel, N. (1996). Les topoi: un mode de représentation des connaissances en conception de produits aérospatiaux. In P.-Y. Raccach (Ed.), *Topoi et Gestion de la Connaissance* (pp. 41-56). Collection Sciences Cognitives, Paris: Masson.

#### CHAPITRE QUATRE

## Les topoi : un mode de représentation des connaissances en conception de produits aérospatiaux

Nathalie Bonnardel\*

*Résumé* : Le développement de systèmes à base de connaissances nécessite le recueil et la formalisation de connaissances d'experts, et, de ce fait, peut tirer profit de travaux réalisés en psychologie cognitive. Ainsi, deux études ont été conduites dans une perspective d'assistance à l'activité de conception : l'une a visé à caractériser les connaissances des concepteurs, l'autre à définir un mode de représentation de ces connaissances.

*L'assistance à l'activité* peut se révéler nécessaire lorsque les opérateurs doivent effectuer des tâches complexes ou lorsqu'ils débudent dans un domaine professionnel. Cela est plus particulièrement le cas lorsque les opérateurs doivent résoudre des *problèmes de conception*, c'est-à-dire des problèmes *mal définis* (dont les spécifications sont incomplètes et imprécises, cf. Reitman 1965 ; Eastman 1969 ; Simon 1973) et *ouverts* (admettant un grand nombre de solutions possibles, cf. Fustier 1989). Dans ces situations, l'assistance à l'activité peut être fournie par un système à base de connaissances. Elle requiert alors le recueil et la formalisation de connaissances d'experts dans le domaine.

Une telle perspective d'assistance à l'activité a sous-tendu deux études conduites dans le domaine de la *conception de produits aérospatiaux*<sup>14</sup> (par exemple, des produits constitutifs du lanceur Ariane ou destinés à être placés en orbite). La première étude a permis de caractériser les connaissances prises en compte par les concepteurs, et la seconde étude, de définir un mode de représentation des connaissances qui soit adapté au fonctionnement cognitif des concepteurs. Ce faisant, les questions du recueil de connaissances et de leur formalisation ont été abordées.

\* CREPCO – Université de Provence, av. Robert Schuman, 13090 Aix-en-Provence.

<sup>14</sup> Ces études ont été conduites dans le cadre d'un contrat entre l'INRIA et l'Aérospatiale.

difficultés (telles que l'absence de solution prédéfinie et adaptable au problème traité, la nécessité de choisir entre des options alternatives, etc.) ; les concepteurs, étant confrontés à des collègues spécialistes, explicitent « spontanément » une partie de leur raisonnement afin d'en montrer le bien-fondé et d'argumenter leurs propositions.

La seconde étude a permis de déterminer les caractéristiques de certaines connaissances des concepteurs : celles qui se présentent sous la forme de relations entre différents paramètres (dits « référents évaluatifs »<sup>15</sup>). Pour ce faire, des référents évaluatifs appréhendés antérieurement (cf. Bonnardel 1992a) ont été présentés à douze concepteurs afin qu'ils explicitent les relations qu'ils percevaient entre ces référents évaluatifs. Les données ainsi recueillies nous ont permis de caractériser les relations qui peuvent être établies entre les référents évaluatifs, puis d'envisager différents modes de représentation de ces connaissances.

La formalisation des connaissances doit, selon nous, non seulement permettre de structurer les connaissances recueillies de telle sorte qu'elles soient exploitables par un système d'aide, mais doit également se conformer au fonctionnement cognitif des opérateurs afin que le système soit mieux adapté aux utilisateurs. La structure linguistique des énoncés des concepteurs étant susceptible de refléter – tout au moins partiellement – la structure de leurs connaissances, une importance particulière a été accordée à la formulation adoptée par les concepteurs, cela lors de l'analyse de verbalisations produites dans les deux situations décrites ci-dessus.

Certaines relations entre référents évaluatifs ont directement pu être représentées au moyen de *topoi* : les relations qui associent des référents évaluatifs graduels. La représentation d'autres relations entre référents évaluatifs a nécessité un recours à d'autres modes de représentation, mais certains de nos résultats tendent à montrer que les *topoi* pourraient être utilisés pour rendre compte de la majeure partie des relations exprimées par les concepteurs. Les *topoi* pourraient, dans ce cas, sous-tendre différentes modalités d'assistance à l'activité de conception.

## 1. Les connaissances utilisées au cours du dialogue de conception

La première étude a visé à définir la nature des connaissances utilisées par les concepteurs au cours d'un dialogue de conception. Les caractéristiques de ce dialogue vont être rapidement énoncées, puis les différents types de connaissances pris en compte par les concepteurs seront décrits.

15 L'acceptation que nous accordons ici au terme *réfèrent* diffère évidemment de celle qui lui est accordée en linguistique (relation entre un signe et un objet du monde auquel il renvoie) : le terme *réfèrent évaluatif* désigne les paramètres auxquels se réfèrent les concepteurs lors de l'évaluation de solutions de conception.

Le recueil de connaissances est considéré comme difficile car les experts ne sont généralement pas en mesure d'explicitier toutes leurs connaissances, ni d'expliquer comment ils les utilisent (Raccah 1992). En effet, les experts, n'étant pas habitués à formuler leurs connaissances, risquent de transmettre des connaissances incomplètes ou erronées. De plus, l'accroissement de l'expérience dans un domaine a pour effet de transformer des processus conscients en processus automatiques et, ce faisant, de rendre inaccessibles aux experts les connaissances utilisées pour mettre en œuvre ces processus (Caverni, Faure & Gonzalez 1987).

Une intervention « extérieure » à l'expert est donc souvent nécessaire pour appréhender certaines de ses connaissances, par exemple, une interaction avec un outil informatique ou avec un « médiateur humain » (Nuss 1987 ; Gaines 1988 ; Boose 1989). Les méthodes utilisées en psychologie font appel à un tel médiateur – le « cognitifien » – et s'appuient souvent sur les verbalisations des opérateurs. Ainsi l'expert peut être amené à commenter une activité antérieure (verbalisation *a posteriori*) ou l'activité qu'il est en train d'effectuer (verbalisation « simultanée » ou « concomitante » à l'activité). Bien qu'efficaces, ces méthodes sont soumises à des limites que nous avons tenté de pallier :

– Les verbalisations *a posteriori*, suscitées lors d'entretiens, permettent d'accéder à certaines connaissances de l'expert, mais ne fournissent pas d'indication sur la façon dont ces connaissances sont utilisées en « temps réel » (Visser & Morais 1991). L'expert risque, de plus, de fournir des explications incomplètes, par exemple lorsqu'il omet des exceptions à certaines règles, ou des explications erronées, lorsqu'il fournit sa propre interprétation des phénomènes (cf. Visser & Falzon 1988). Cette méthode présente, en outre, un inconvénient majeur : elle permet uniquement d'appréhender la *représentation* que l'expert s'est constituée de sa démarche ; aussi l'expert peut-il décrire son activité comme plus structurée qu'elle ne l'est en réalité (« rationalisation »).

– Les verbalisations simultanées risquent de modifier l'exécution de la tâche et la performance du sujet (Caverni 1988).

De plus, des biais dans les données recueillies peuvent être induits par la présence du cognitifien : l'expert sait qu'il s'adresse à une personne extérieure à son domaine d'expertise, aussi risque-t-il de restreindre les informations qu'il transmet et, de ce fait, de verbaliser des connaissances qui peuvent manquer d'intérêt pour des spécialistes dans le domaine.

Afin d'éviter ces inconvénients (rationalisation d'une activité antérieure, modification de l'activité en cours, etc.), les deux études que nous avons réalisées ont reposé sur l'analyse de verbalisations « spontanées », suscitées par différentes méthodes de recueil de données.

La première étude visant à caractériser les connaissances des concepteurs, la situation de recueil de données devait à la fois présenter des similitudes avec certaines étapes de conception « naturelle » et susciter une verbalisation « spontanée » de la part des concepteurs. Une méthode dite de « transfert de projet », inductrice d'un dialogue entre concepteurs (cf. Bonnardel 1993), a été utilisée afin de satisfaire les deux exigences précitées :

– la situation de recueil de données présente des similitudes avec des phases de conception collective, observables lorsque les concepteurs sont confrontés à des

### 1.1 Une situation de conception collective

Le dialogue de conception analysé a été suscité par une situation de *transfert de projet* : deux concepteurs affectés à la résolution d'un problème nouveau<sup>16</sup> étaient supposés quitter l'entreprise, et un autre concepteur -expert dans la conception de produits similaires mais ne connaissant pas le problème en question - devait reprendre et terminer le travail de conception commencé. La conversation qui s'est établie entre ces concepteurs a été enregistrée et retranscrite.

Cette situation a induit non seulement une transmission d'éléments de connaissance mais également une réelle *activité de conception collective* se caractérisant par :

- l'occurrence de processus de génération, d'évaluation et de modification de solutions, et cela de la part de chacun des concepteurs ;
  - une participation de chaque concepteur au processus initié par un autre concepteur.
- Ainsi, l'évaluation d'une solution, initiée par un concepteur, a pu être complétée par l'un de ses collègues, ou une solution générée par un concepteur a pu être développée par un autre concepteur.

### 1.2 Les connaissances utilisées par les concepteurs

Différents types de connaissances utilisées par les concepteurs ont pu être définis, ainsi que les étapes de conception au cours desquelles les concepteurs y ont recours.

#### 1.2.1 Différents types de connaissances

L'analyse du dialogue a montré que les concepteurs se réfèrent à différents types de connaissances :

- des *contraintes prescrites*, découlant de la prise en compte de spécifications contenues dans le cahier des charges.  
Exemple : « Ils [les commanditaires] disent qu'il ne faut pas dépasser 12 mm. ».
- des *contraintes construites*, résultant de la prise en compte de *critères* définis par les concepteurs au fur et à mesure de l'accroissement de leur expérience<sup>17</sup>.  
Exemple : la contrainte « ne pas embarquer de masse supplémentaire » qui concourt au respect du critère de « légèreté », particulièrement important lors de la conception de produits destinés à évoluer dans l'espace.

<sup>16</sup> Il s'agissait de concevoir une structure dite ARTEP (Ariane Technology Experiment Project), destinée à être intégrée dans la fusée Ariane afin de supporter des dispositifs expérimentaux et/ou un petit satellite supplémentaire.

<sup>17</sup> Nous distinguons les *critères*, conceptuels (*i.e.* qui spécifient les propriétés générales et globales des solutions), des *contraintes*, opérationnelles (*i.e.* qui spécifient concrètement les propriétés des solutions et, ce faisant, leurs caractéristiques techniques). En outre, les critères peuvent être opérationnalisés par certaines contraintes, que nous avons qualifiées de "construites" (*cf.* Bonnardel, 1992a).

Exemple : la contrainte « limiter l'utilisation de l'outillage » qui concourt au respect du critère de *coût*, également prépondérant.

- des *contraintes déduites*, générées à l'issue d'une analyse de l'état de résolution, c'est-à-dire des caractéristiques de la solution courante, et/ou des implications de contraintes déjà définies.

Exemple : la contrainte « recourir à un technicien expérimenté » est déduite du choix d'un matériau en « sandwich ».

- des *relations établies entre des critères et/ou des contraintes* (paramètres désignés par le terme générique de *référénts évaluatifs*).

Exemple 1 : « si [la solution est] une structure plate, puisque *a priori* c'est simple à faire, ça ne coûte pas cher du tout ».

Exemple 2 : « on a un critère de masse qui va être très difficile à tenir car l'on nous a imposé une rigidité très forte ».

Exemple 3 : - « Ça va être lourd »

- « Oui, mais l'avantage c'est que tu gagnes en rigidité. »

Ce dernier type de connaissances - les relations établies entre référénts évaluatifs - semble pouvoir être représenté au moyen de *topoi* :

- chaque argument des énoncés peut être caractérisé sur une échelle (de simplicité de réalisation, de coût, de masse ou de rigidité) ;
- les relations entre ces arguments peuvent elles-mêmes être graduées.

Exemple 1 : « plus [la solution] est simple, moins elle est chère »

// plus simplicité, moins coût //

Exemples 2 et 3 : « plus [la solution] doit être rigide, moins elle peut être légère (ou plus elle est lourde) »

// plus rigidité, moins légèreté //

#### 1.2.2 Le recours aux différents types de connaissances

Certains types de connaissances semblent pris en compte de façon privilégiée à certaines étapes de l'activité de conception :

- la *génération de solutions* apparaît surtout liée à la prise en compte de contraintes prescrites et, le cas échéant, de contraintes déduites ;
- l'*évaluation de solutions* et la *sélection d'une solution* parmi plusieurs alternatives semblent reposer sur la prise en compte de critères, de contraintes construites et/ou déduites, ainsi que sur la prise en compte de relations existant entre certains référénts évaluatifs (*cf.* exemples 1 et 3 précédents).

Exemple d'évaluation d'une solution en fonction de critères de *simplicité de fixation des équipements* et de *légèreté* (*cf.* figure 1) :

- « On peut faire un cadre fin plus une petite aile » [élément de solution relatif à la forme et à l'épaisseur de la structure], « On aura davantage de place pour fixer le matériel »...

- « L'avantage, c'est que l'on n'embarque pas une masse supplémentaire ».

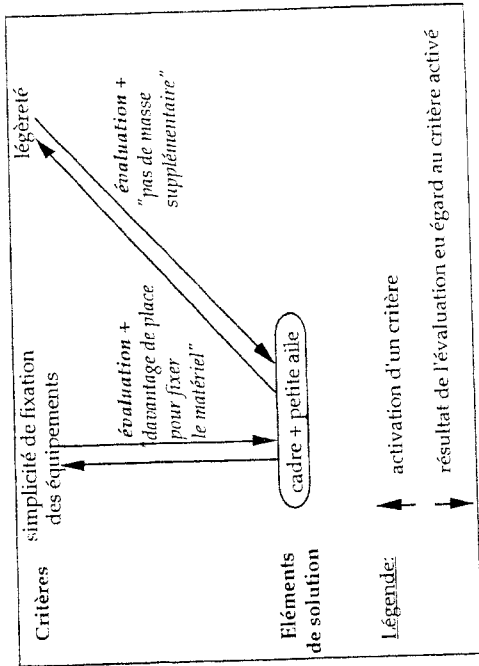


Figure 1 : Évaluation d'éléments de solution en fonction de référents évaluatifs.

Exemple de sélection d'une solution parmi plusieurs alternatives (cf. figure 2) : C1 et C2 sont les concepteurs spécialisés dans le problème, C3 est l'expert qui est censé continuer le travail commencé.

C1 : « [Le matériau]... apparemment, il y aurait le choix, entre du monolithique, du monolithique raidi, sandwich, métallique, métallique raidi. Comme critère de choix, il y a la masse. » [énonciation d'éléments de solutions alternatifs]...

C2 : « Ce [le matériau] n'est pas encore arrêté là alors ? »  
 C2 : « On ne sait pas du tout parce qu'il y a plusieurs critères. Il y a les critères coût et masse, versatilité [c'est-à-dire] avoir des applications différentes... Au point de vue du coût, c'est le métallique [qui convient] ». [énonciation des critères à prendre en compte et émission d'un jugement relatif à l'un des éléments de solution]

C3 : « Le monolithique, moi, je trouve que ce serait le mieux. C'est ce qui se rapproche le plus du métallique, donc on peut faire des trous n'importe où. Alors qu'avec du sandwich, il faut mettre des inserts, il faut faire des emportages. » [émission de jugements relatifs à deux éléments de solution alternatifs]  
 C2 : « Oui, mais en ce qui concerne le coût de développement [ça ne convient pas]. Des structures monolithiques, on n'en a jamais qualifié ici, or ils [les commanditaires] veulent un produit pas cher ». [émission d'un jugement allant à l'encontre de l'élément de solution privilégié par C3].

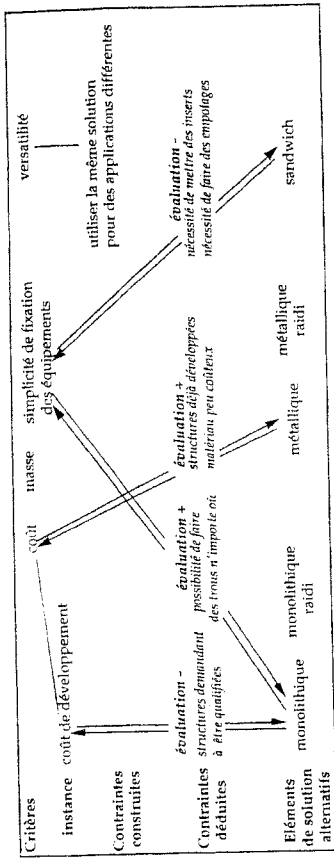


Figure 2 : Évaluation de solutions alternatives finalisée par la sélection de l'une d'elles

Les différents types de connaissances identifiés peuvent donc assurer des fonctions distinctes dans l'activité de conception. Les connaissances de type relations entre des référents évaluatifs semblent, en particulier, influencer sur le déroulement de l'activité de conception. Ces connaissances permettent en effet :

- de préciser les jugements portés sur les solutions (cf. exemple 1),
- d'identifier des conflits entre référents évaluatifs, induisant la définition de nouveaux problèmes pour les concepteurs (cf. exemple 3).

Dans une perspective d'assistance à l'activité de conception, la nature des relations entre référents évaluatifs nous semble devoir être définie, ainsi qu'un ou plusieurs modes de représentation de ce type de connaissances. Dans ce but, une étude centrée sur les relations entre référents évaluatifs a été réalisée.

## 2. Les relations entre référents évaluatifs

La seconde étude a visé à identifier les relations que les concepteurs percevaient entre différents référents évaluatifs. Les caractéristiques de la situation expérimentale mise en place dans ce but vont tout d'abord être énoncées, puis les résultats qu'elle a permis d'obtenir.

### 2.1 La situation expérimentale

Différents référents évaluatifs - 80 environ - recueillis au cours d'une étude précédente (cf. Bonnardel 1992a), ont été utilisés pour constituer le matériel expérimental : chacun d'eux a été porté sur une carte et ces cartes ont été présentées, dans un ordre aléatoire, à 12 concepteurs (6 ingénieurs-calculateurs, 6 techniciens-dessinateurs). Ceux-ci ont dû retenir les référents évaluatifs qu'ils jugeaient pertinents pour la réalisation d'une tâche de conception, puis expliciter les liens qu'ils percevaient entre ces différents référents. Pour ce faire, ils disposaient d'un support de type tableau magnétique, sur lequel ils devaient disposer les cartes portant les référents évaluatifs retenus, puis spécifier la nature des relations existant entre ces référents.

## 2.2 Les différents types de relations entre référents évaluatifs

Les relations énoncées entre les référents évaluatifs rendent compte de l'influence qu'ils exercent les uns sur les autres. Ainsi l'activation d'un référent évaluatif peut induire l'activation d'un autre référent évaluatif ou, au contraire, son inhibition.

Les relations entre référents évaluatifs peuvent, en outre, être *continues*, *discrètes* ou *hybrides*, selon que les énoncés des concepteurs concernent des référents évaluatifs apparemment graduels ou, au contraire, non graduels (discrets). Des modes de représentation différents semblent donc, dans un premier temps tout au moins, devoir être envisagés pour rendre compte de ces différents types de relations. Dans ce but, nous nous sommes inspirés des *topoi* et de l'implication logique.

a) La relation entre des référents évaluatifs P et Q apparaît *continue* lorsque ces référents sont graduels, c'est-à-dire lorsqu'ils peuvent être l'objet d'une variation quantitative du type « beaucoup d'expérience industrielle » ou « peu de risques », et que la relation qui les unit est également graduelle (« plus..., plus... »). Dans ce cas, le référent évaluatif P peut être l'objet d'une variation dans un sens et le référent évaluatif Q peut être l'objet d'une variation dans le même sens ou, au contraire, dans un sens inverse :

$$+ P, + Q \text{ ou } - P, - Q \text{ ou } + P, - Q.$$

(+ P traduit une variation croissante du référent évaluatif P, et - P une variation décroissante).

Une représentation au moyen de *topoi* permet de rendre compte directement de ce type de relations. Les concepteurs ont, en effet, énoncé explicitement des relations topiques entre des référents évaluatifs. Elles se présentent souvent sous la forme classique (« plus..., plus... », « moins..., moins... », « moins..., plus... », « plus..., moins... ») mais elles peuvent également être véhiculées par des verbes ou des adverbess exprimant une gradualité (ex : augmenter, diminuer... ; beaucoup de..., peu de...).

Exemple :

« Plus la structure est légère, plus elle coûte cher »

// + légèreté, + coût //

b) La relation entre des référents évaluatifs P et Q semble *discrète* lorsque les référents évaluatifs P et Q restent stables. Ainsi si le référent évaluatif P est satisfait par le produit à concevoir (ou ne l'est pas), alors le référent évaluatif Q est également satisfait ou, au contraire, ne l'est pas :

$$P \Rightarrow Q \text{ ou } P \Rightarrow \neg Q \text{ ou } \neg P \Rightarrow Q \text{ ou } \neg P \Rightarrow \neg Q.$$

( $\neg P$  signifie que le référent P n'est pas satisfait par la solution envisagée).

Les relations discrètes peuvent se présenter sous une forme conditionnelle (« si..., [alors]... », « quand..., [alors]... ») et/ou finale (« pour...[alors]... »), ou sous une forme verbale (« implique », « assure », « garantit », « entraîne », « détermine... »). Les états ainsi décrits étant stables (non soumis à des variations continues), ces relations pourraient être représentées au moyen de l'implication logique.

Exemple :

« Si on choisit une solution pour laquelle on dispose d'expérience industrielle, il n'y a aucun développement »  
// *expc\_indus*  $\Rightarrow$   $\neg$  développement //

c) La relation entre des référents évaluatifs P et Q peut être qualifiée d'*hybride* lorsqu'elle associe un référent évaluatif graduel et un référent évaluatif discret. Par exemple, si le référent évaluatif P est satisfait par le produit à concevoir (ou ne l'est pas), le référent évaluatif Q peut être l'objet d'une variation (croissante ou décroissante) :

$$P \rightarrow Q^+ \text{ ou } P \rightarrow Q^- \text{ ou } \neg P \rightarrow Q^+ \text{ ou } \neg P \rightarrow Q^- \\ P^+ \rightarrow Q \text{ ou } P^+ \rightarrow \neg Q \text{ ou } P^- \rightarrow Q \text{ ou } P^- \rightarrow \neg Q$$

Seul l'un des référents est l'objet d'une variation, l'autre référent reste stable ainsi que la relation qui les unit (ce type de relation diffère ainsi des relations continues, aussi avons-nous désigné par P<sup>+</sup> ou par P<sup>-</sup> le référent qui est l'objet d'une variation).

Exemple :

« Quand on peut tester, on est d'autant plus fiable »  
// *testabilité*  $\rightarrow$  *fiabilité* //

Malgré ces différences quant à l'expression de gradualité à propos de tous les référents évaluatifs cités (relations topiques), de certains d'entre eux (relations hybrides) ou d'aucun d'entre eux (relations discrètes), les relations entre référents évaluatifs peuvent présenter des *propriétés communes*, telles que la possibilité d'associer plus de deux référents évaluatifs et d'être modulées.

Bien que la plupart des relations aient associé deux référents évaluatifs, quelques-unes en ont concerné davantage (ce qui correspond à l'énonciation de plusieurs relations dans une même phrase).

Exemples :

« Quand la géométrie augmente, la masse augmente et la fréquence diminue »

// + géométrie, + masse //

// + géométrie, - fréquence //

« L'expérience industrielle permet de tenir les coûts, les performances, les délais »

// *expc\_indus*  $\Rightarrow$  *tenue\_des\_coûts* [*prescrits*] //

// *expc\_indus*  $\Rightarrow$  *tenue\_des\_performances* [*prescrits*] //

// *expc\_indus*  $\Rightarrow$  *tenue\_des\_délais* [*prescrits*] //

Les relations entre référents évaluatifs peuvent être *modulées* par certains termes, tels que *pouvoir* ou *devoir*.

L'emploi de la modalité « peut » ou « risque » a pour effet de limiter la portée de la relation à certains cas (représentation au moyen du signe : (svt)).

Exemples :

« S'il y a beaucoup de risques, il risque d'y avoir un surcoût »

// + risques, (svt) + coût //

« Si les structures doivent être fournies très rapidement,  
on peut avoir des surcoûts »

// -délai, (svt) + coût //

L'emploi de la modalité « doit » ou « il est nécessaire de » a pour effet d'explicitier des actions à effectuer.

Exemples :

« Plus les exigences sont précises,  
plus on doit utiliser des technologies nouvelles »

// + précision\_des\_exigences, + nouveauté\_technologique //

« Pour faire dans des délais très courts,  
il est nécessaire de faire appel à des moyens coûteux »  
// délais\_très\_courts => moyens\_couteux //

Il est, en outre, apparu qu'une relation entre référents évaluatifs peut être modulée non seulement par une limitation de la portée de cette relation (« souvent... ») mais également par l'application d'une relation sur un lien déjà établi, ce qui peut avoir pour effet d'inhiber ce lien ou de le potentialiser.

Exemple (cf. figure 3) :

« Les exigences d'interfaces peuvent être sévères, mais on peut y répondre si on dispose d'expérience industrielle ».

Les relations sous-jacentes à cette expression seraient alors :

exigences\_d'interfaces\_sévères => ¬ faisabilité [cette relation étant inférée]  
expérience\_industrielle => faisabilité

La présence de la conjonction « mais » rend compte à la fois de l'antagonisme entre ces deux relations et de la prépondérance de la seconde.

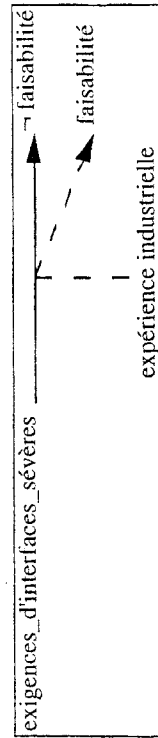


Figure 3 : Exemple d'application d'une relation sur un lien déjà établi

L'existence de propriétés communes aux trois types de relations identifiés (topiques, discrètes et hybrides) peut susciter des interrogations quant à la nécessité de conserver un mode de représentation spécifique à chaque type de relations entre référents. Plus précisément, on peut, à l'instar de Ducrot (1988), se demander si le non-graduel ne constitue pas un cas particulier du graduel et, par conséquent, si les topoi ne pourraient pas recouvrir les différentes relations énoncées par les concepteurs. Un argument en cette faveur est l'énoncé, par le même concepteur ou par des concepteurs différents, d'une relation entre deux référents à la fois sous la forme d'une relation topique et d'une relation d'implication (ou hybride).

Exemples provenant de concepteurs différents :

« Si on a beaucoup d'expérience, il y a peu de risques » (relation topique)

« Il n'y a pas de risque industriel si on a l'expérience industrielle » (relation discrète)

Exemples provenant d'un même concepteur :

« Faire quelque chose de testable assure sa fiabilité » (relation discrète)  
« Quand on peut tester, on est d'autant plus fiable (relation hybride)

Le fait que des concepteurs formulent différemment une relation entre les mêmes référents évaluatifs peut s'interpréter de plusieurs façons :

- les concepteurs expriment la même relation mais l'un d'eux en élargit la portée par une formulation topique (car il ne peut, par exemple, énoncer tous les cas d'application de cette relation) ;
- ils peuvent s'être construits une représentation différente de cette relation.

La première possibilité justifierait l'utilisation de topoi pour représenter les différentes relations entre référents évaluatifs. La seconde possibilité impliquerait, par contre, de recourir à des formalismes différents, appropriés à chaque type de relations.

Des études complémentaires demandent donc à être conduites afin de déterminer si une représentation des connaissances sous une forme topique pourrait suffire à rendre compte de toutes les relations entre référents évaluatifs.

### 3. La représentation des relations entre référents évaluatifs

Dans une perspective d'assistance à l'activité de conception, il nous paraît important de parvenir à représenter non seulement des relations entre deux référents évaluatifs, mais également un ensemble de relations entre référents évaluatifs. Pour ce faire, deux modes de représentation ont été envisagés : un codage permettant de générer et/ou de stocker des relations entre référents évaluatifs, et un réseau permettant de représenter graphiquement les relations.

#### 3.1 Un codage des relations entre référents évaluatifs

Un codage des relations entre référents évaluatifs, tel que celui proposé ci-dessous, pourrait permettre d'en systématiser le recueil et d'en assurer la validation :

(Id, RE\_origine, RE\_cible, type de relation, nature de l'influence)

Légende :

- « Id » est l'identificateur permettant de référencer les différentes relations.
- « RE\_origine » désigne le premier référent évaluatif considéré dans la relation établie.
- « RE\_cible » désigne le second référent évaluatif considéré dans la relation, ou la relation sur laquelle s'applique le référent évaluatif\_origine.
- « type de relation » permet de préciser s'il s'agit d'une relation topique, discrète ou hybride.
- « nature de l'influence » permet de préciser si RE\_origine entraîne l'activation (+) ou l'inhibition (-) de RE\_cible.

Exemples :

(101, masse, fréquence, relation topique, -) rend compte de la relation : « quand la masse augmente, la fréquence diminue ».

(102, expérience\_industrielle, développement, relation discrète, -) rend compte de la relation : « si on dispose d'expérience industrielle, il n'y a pas de développement à effectuer ».

(103, exigences\_d'interfaces\_sévères, faisabilité, implication, -)

(104, expérience\_industrielle, 103, relation discrète, -) rend compte de l'application d'un référent évaluatif sur une relation prédéfinie (correspondant à l'exemple porté sur la figure 3).

Ce codage permet donc de rendre compte de l'orientation de la relation (RE\_origine vers RE\_cible), du caractère graduel (ou non) des référents évaluatifs, et de l'influence activatrice ou inhibitrice exercée par un référent évaluatif sur un autre référent ou sur une relation prédéfinie.

Un tel codage pourrait être utilisé lors d'études complémentaires destinées à :

- valider (ou infirmer) les relations identifiées,
- préciser les conditions d'application de ces relations,
- déterminer, pour chaque relation entre référents évaluatifs, le type de relation (topique, discrète ou hybride) qui en rend le mieux compte, ou si les topoi peuvent recouvrir toutes les relations entre référents évaluatifs.

### 3.2. Un réseau de relations entre référents évaluatifs

Si le formalisme précédent est adapté pour préciser et/ou valider les relations identifiées, une représentation graphique des relations entre référents évaluatifs nous paraît plus facilement accessible par les concepteurs et plus conviviale, dans une perspective d'assistance à l'activité de conception. Aussi proposons-nous de représenter les relations entre référents évaluatifs sous la forme d'un *réseau* (cf. figure 4). Cette proposition est alors sous-tendue par l'hypothèse que les topoi peuvent recouvrir les différentes relations exprimées par les concepteurs.

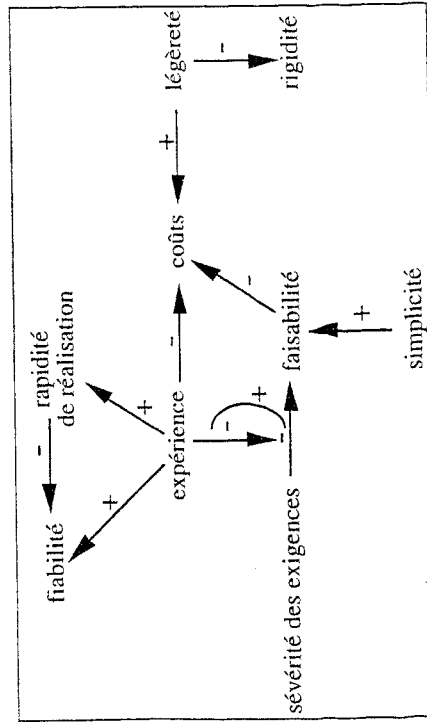


Figure 4 : Exemple de réseau permettant de représenter les relations entre référents évaluatifs.

Légende :

- chaque nœud du réseau correspond à un référent évaluatif ;
- les flèches rendent compte de l'existence d'une relation entre deux référents évaluatifs ;
- les signes (+) et (-) rendent respectivement compte de l'influence activatrice ou inhibitrice exercée par un référent évaluatif sur un autre référent évaluatif ou sur une relation entre deux référents évaluatifs.

L'exemple ci-dessus constitue un extrait d'un réseau de *critères*, et donc de référents évaluatifs généraux. Ce type de réseau pourrait être utilisé pour assister le concepteur lors du traitement de divers cas de conception de produits aérospatiaux.

Un réseau similaire pourrait être réalisé afin de rendre compte de relations existant entre des *contraintes*, et donc des référents évaluatifs opérationnels. Dans ce cas, chaque réseau serait associé à un cas de conception (les contraintes « prescrites » dépendant des spécifications propres à chaque cas).

L'affectation d'une pondération aux relations entre référents évaluatifs et la possibilité d'inhiber ou de potentialiser ces relations pourraient permettre de n'indiquer aux concepteurs que les relations atteignant un certain seuil. Ces dernières seraient alors considérées comme pertinentes, compte tenu des caractéristiques du contexte de résolution du problème et, éventuellement, de caractéristiques propres aux utilisateurs d'un tel système d'aide.

## 4. Des modalités d'assistance à l'activité de conception

Les connaissances du type *relations entre référents évaluatifs* pourraient sous-tendre diverses modalités d'assistance à l'activité de conception. Elles pourraient, en particulier, contribuer à la capitalisation des connaissances, à l'assistance à certaines étapes de l'activité de conception, ainsi qu'à la formation des concepteurs.

### 4.1 La capitalisation de connaissances

Les connaissances consistant en des référents évaluatifs et en des relations établies entre eux pourraient être recueillies et stockées dans la base de connaissances d'un système d'aide à la conception de produits aérospatiaux :

- les référents évaluatifs pourraient permettre de caractériser les solutions de conception existantes, en vue de les stocker dans le système ;
- les relations établies entre référents évaluatifs rendent compte de « règles » acquises par les concepteurs, aussi pourraient-elles être recensées dans le but de conserver dans l'entreprise différents savoir-faire.

## 4.2 L'assistance, à différentes étapes de la conception

Les relations entre référents évaluatifs pourraient également sous-tendre l'assistance à certaines étapes de l'activité de conception : la génération, l'évaluation et la modification de solutions.

### 4.2.1 L'assistance à la génération de solutions

Bien que l'assistance par la réponse soit soumise à différentes limites (cf. Falzon 1989), ce mode d'assistance peut se révéler utile dans certains cas, par exemple pour présenter des solutions pré-existantes à des concepteurs novices dans le domaine. Dans cette perspective, la base de connaissances du système d'aide pourrait comporter des solutions de conception définies en fonction des référents évaluatifs qu'elles satisfont (assortis éventuellement d'un degré de satisfaction) et associées, chacune, à une configuration correspondant aux relations établies entre ces référents. L'utilisateur (un concepteur novice) spécifierait au système les exigences que la solution recherchée doit respecter et cela aurait pour effet l'activation, éventuellement pondérée, des relations associées à ces exigences. Le système sélectionnerait ensuite, parmi les solutions stockées, celles dont la configuration de relations correspond à la configuration qui a été induite par l'utilisateur. Ces solutions seraient alors présentées à l'utilisateur, et leurs avantages et leurs inconvénients seraient soulignés.

### 4.2.2 L'assistance à l'évaluation de solutions

Contrairement au mode d'assistance précédent, ce type d'aide -- fourni par les « systèmes experts critiques » (cf. Fischer, Lemke, Mastaglio et Morch 1991) -- ne vise pas à proposer à l'utilisateur une solution censée résoudre son problème mais vise à analyser la solution fournie par l'utilisateur afin de mettre en évidence les avantages et les inconvénients qu'elle présente (« critiques » relatives à la solution). Dans cette perspective, l'utilisateur indiquerait au système -- sous une forme verbale et/ou graphique -- les caractéristiques de la solution qu'il envisage (ex : le matériau, la forme). Le système activerait les référents évaluatifs que satisfont (ou ne satisfont pas) ces caractéristiques, et cette activation se propagerait aux référents évaluatifs établissant des relations avec ceux qui ont été activés. Les différents référents évaluatifs ainsi activés seraient indiqués à l'utilisateur.

Certains référents évaluatifs identifiés comme spécifiquement utilisés par certains concepteurs (cf. Bonnardel 1991) pourraient être pris en compte pour fournir à l'utilisateur des explications adaptées à son niveau d'expertise et/ou à son type d'expertise (ingénieurs vs dessinateurs). Des référents évaluatifs identifiés comme spécifiquement utilisés pour évaluer des solutions situées à certains niveaux d'abstraction (conceptuelles vs physiques) pourraient également être utilisés par le système (ibid.). Le caractère obligatoire ou simplement souhaitable du respect des référents évaluatifs pourrait être spécifié aux utilisateurs (cf. Bonnardel 1992b) ou défini dans le système, afin de faciliter la gestion de conflits entre des référents évaluatifs antagonistes. Dans les situations où le système ne parviendrait pas à gérer de tels conflits, une interaction avec

l'utilisateur pourrait avoir lieu afin de définir les référents évaluatifs que celui-ci privilégie (cf. le système de Boissier et Al-Hajjar 1990).

### 4.2.3 L'assistance à la modification de solutions

Pour réaliser ce type d'aide, diverses solutions connues seraient représentées par une configuration de référents évaluatifs faisant apparaître leurs avantages et leurs inconvénients. La modification que l'utilisateur envisage pour une solution donnée (ex : changement de matériau) se répercuterait sur la configuration de référents évaluatifs et permettrait ainsi à l'utilisateur de visualiser les avantages et les inconvénients qui résulteraient de la modification projetée.

Un exemple intéressant de simulation graphique des conséquences induites par la modification d'un paramètre donné, est fourni par le système 3DKAT (cf. Dieng et Trousse 1988). Cet outil permet, en particulier, de répondre à des questions du type « que se passe-t-il si je change tel paramètre ? » (« what-if ») ou « comment puis-je changer tel paramètre ? » (« how-to »).

## 4.3 La formation des concepteurs

Le suivi d'une formation peut admettre plusieurs finalités, par exemple, la familiarisation de concepteurs novices avec un domaine de conception, ou la facilitation de phases de conception collective.

### 4.3.1 La familiarisation avec un domaine de conception

L'une des façons de familiariser des concepteurs novices avec un domaine donné peut être de leur présenter des cas typiques de conception. Dans cette perspective, plusieurs problèmes « types » pourraient être présentés à l'utilisateur d'un système, ainsi que les solutions associées à ces problèmes. Chaque solution serait représentée au moyen d'un état de relations entre des référents évaluatifs. L'utilisateur pourrait explorer ce domaine de conception, par exemple en modifiant les solutions typiques qui lui sont présentées dans le but d'appréhender les avantages et les inconvénients de solutions différentes.

### 4.3.2 La facilitation de phases de conception collective

Lors de phases de conception collective, des concepteurs se différenciant par leur niveau d'expertise et/ou leur type d'expertise (ingénieurs vs dessinateurs) doivent collaborer, ce qui requiert qu'ils partagent certaines connaissances. Or, il a pu être constaté que le niveau d'expertise et le type d'expertise influent sur les référents évaluatifs pris en compte par les concepteurs (cf. Bonnardel 1991). Aussi des programmes de formation pourraient être définis afin d'amener les concepteurs à mieux connaître les référents évaluatifs spécifiques à d'autres concepteurs, et faciliter ainsi les échanges de communication.



## Conclusion

Les deux études décrites montrent l'intérêt du recours au formalisme des topoi pour représenter certaines connaissances des concepteurs :

- des relations entre référents évaluatifs ont spontanément été prises en compte par des concepteurs au cours de la résolution collective d'un problème ;
- les relations entre référents évaluatifs se sont révélées pouvoir être formalisées au moyen de topoi (tout au moins une grande partie d'entre elles).

Différentes modalités d'assistance à l'activité de conception reposant sur la notion de topoi ont été suggérées, et ont confirmé l'utilité de ce formalisme en Intelligence Artificielle (*cf.* Raccach 1992 ; Dieng & Trouse 1989 ; Davis 1989).

Les résultats obtenus et les propositions d'assistance demandent cependant à être précisés par des études complémentaires visant, en particulier, à valider les relations identifiées, à déterminer si les topoi peuvent rendre compte de toutes les relations entre les référents évaluatifs et si certaines relations sont spécifiquement prises en compte à certaines étapes de l'activité de conception.

# TOPOI ET GESTION DES CONNAISSANCES

dirigé par  
Pierre-Yves RACCAH

Préface de Oswald DUCROT

