



HAL
open science

L'évaluation de solutions dans la resolution de problemes de conception

Nathalie Bonnardel

► **To cite this version:**

Nathalie Bonnardel. L'évaluation de solutions dans la resolution de problemes de conception. [Rapport de recherche] RR-1072, INRIA. 1989. inria-00075487

HAL Id: inria-00075487

<https://inria.hal.science/inria-00075487>

Submitted on 24 May 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRIA

UNITE DE RECHERCHE
INRIA-ROCOUENCOURT

Institut National
de Recherche
en Informatique
et en Automatique

Domaine de Voluceau
Rocquencourt
BP105
78153 Le Chesnay Cedex
France
Tél. (1) 39 63 55 11

Rapports de Recherche

N° 1072

Programme 8
Communication Homme-Machine

L'EVALUATION DE SOLUTIONS DANS LA RESOLUTION DE PROBLEMES DE CONCEPTION

Nathalie BONNARDEL

Août 1989



★ R R - 1 0 7 2 ★

**L'EVALUATION DE SOLUTIONS DANS LA RESOLUTION DE PROBLEMES DE
CONCEPTION**

EVALUATING SOLUTIONS WHILE SOLVING DESIGN PROBLEMS

Nathalie BONNARDEL

Juillet 1989

Programme 8

Ce rapport a été rédigé dans le cadre d'une recherche réalisée par le **Projet de Psychologie Ergonomique de l'INRIA**, et financée en partie par l'**AEROSPATIALE** (contrat n°1 88 D213 00 21123 01 2).

Résumé

Ce texte concerne l'évaluation, par un expert, des solutions qu'il envisage pour résoudre un problème de conception.

Pour appréhender l'évaluation mise en oeuvre, il a été réalisée une analyse de protocoles verbaux recueillis a posteriori auprès d'un concepteur de pièces en matériaux composites.

L'analyse des données recueillies montre que la solution finale (i.e. la procédure de fabrication recherchée) est constituée par adjonction d'éléments de solution. Pour être retenu, chacun de ces éléments doit préalablement être évalué et se révéler acceptable. Le jugement d'acceptabilité est émis à l'issue d'une appréciation de la compatibilité de l'élément de solution avec plusieurs types de contraintes - "prescrites", "construites" et "déduites". Les solutions évaluées présentent des caractéristiques différentes selon l'état du problème au moment où elles sont élaborées. Elles peuvent être "standards", "alternatives" ou "nouvelles".

Une seconde résultante de l'évaluation a été identifiée (en plus du jugement d'acceptabilité) : l'orientation de l'attention. En effet, en focalisant l'attention du concepteur sur des aspects du problème, l'évaluation se révèle déterminante de la suite de l'élaboration de la solution.

Le processus d'évaluation apparaît, ainsi, comme interagissant avec celui d'élaboration de solutions.

Mots-clés Conception, évaluation, contraintes, solutions, jugement d'acceptabilité, focalisation de l'attention.

Abstract

This text concerns the evaluation by an expert of the solutions he considers to resolve a conceptual problem.

In order to apprehend the evaluation which was used, an analysis of verbal protocols, gathered about a conceptor of pieces in composite materials, was performed.

The analysis of the collected data shows that the final solution (i.e. the fabrication process) is formed by adjunction of elements of solution. In order to be selected, each of these elements must be previously evaluated and proved itself acceptable. The judgement of acceptability is decided after the appreciation of the element of solution with several types of restraints : "prescribed", "constructed" and "deduced". The evaluated solutions offer different characteristics according to the problem when they are elaborated. They can be "standards", "alternatives", or "news".

A second resultant of the evaluation has been identified (in addition to the judgement of acceptability) : the orientation of the attention. Indeed, when focalizing the conceptor's attention on some aspects of the problem, the evaluation shows it determining the following of the elaboration of the solution.

The evaluating process appears, so, as interacting with the process of elaborating solutions.

Keywords: Conception, evaluation, restraints, solutions, judgement of acceptability, focalizing of the attention.

SOMMAIRE

PRESENTATION DE L'ETUDE	1
1. Le caractère opportuniste de la conception	1
2. Objectif de l'étude	2
3. Description de l'étude.....	2
3.1 Tâche de conception étudiée: la définition de procédures pour la réalisation de pièces en matériaux composites	2
3.2 Le sujet.....	2
3.3 Recueil de données	2
3.4 Analyse des données	4
3.4.1 Données analysées.....	4
3.4.2 Mode d'analyse	4
RESULTATS	5
1. Rôle de l'évaluation dans la conception.....	5
2. Référence de l'évaluation: les contraintes	6
2.1 Processus de détermination des différentes contraintes	6
2.1.1 Contraintes prescrites	6
2.1.2 Contraintes construites	7
2.1.3 Contraintes déduites	7
2.2 Utilisation des contraintes	8
2.2.1 Moment d'utilisation des contraintes	8
2.2.2 Pondération des contraintes	8
3. Objet de l'évaluation: les solutions	11
3.1 Evocation de solutions "standards" en mémoire	11
3.2 Elaboration progressive de solutions.....	12
3.2.1 Solutions "alternatives"	12
3.2.2 Solutions "nouvelles" ou "innovations"	12
4. L'évaluation et ses résultantes	13
4.1 Emission d'un jugement d'acceptabilité	13
4.2 Orientation de l'attention du concepteur	14
5. Illustration de l'activité évaluatrice	15
CONCLUSION.....	34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	35

PRESENTATION DE L'ETUDE

Dans la résolution de problèmes, la composante sur laquelle la plupart des recherches ont porté est l'élaboration de la solution. L'évaluation des solutions élaborées constitue une autre composante, qui a reçu beaucoup moins d'attention. Ce rapport apportera quelques éléments d'information sur l'activité évaluatrice étudiée dans un contexte de conception.

I. LE CARACTERE OPPORTUNISTE DE LA CONCEPTION

Plusieurs études ont relevé les caractéristiques d'une démarche opportuniste dans des tâches de conception (Bisseret, Figéac-Létang et Falzon, 1988; Hayes-Roth, 1983; Visser, 1987). Pour en rendre compte, ces auteurs ont proposé et/ou essayé de formaliser la conception au moyen d'un modèle de type "Blackboard". Ce modèle comporte trois composantes (Cf. Bisseret, 1987; Bisseret, Figéac-Létang et Falzon, 1988; Nii, 1986, a et b):

- Un module de contrôle ("control") qui détermine le déroulement du raisonnement. Il fixe le "focus de l'attention", c'est à dire qu'il sélectionne, parmi les sources de connaissance susceptibles d'être appliquées à un moment donné, celle qui va traiter un ou plusieurs objets choisis sur le tableau. Il en résulte un nouveau pas de raisonnement et, ainsi, une construction pas à pas et non pré-établie de la solution.
- Un tableau ("blackboard") qui comporte les objets de l'espace de solution (données d'entrée, solutions partielles, alternatives, finales), hiérarchiquement organisés en niveaux d'analyse. Le tableau rend ainsi compte, à tout moment, de l'état de la solution du problème.
- Une base d'unités de raisonnement segmentées et indépendantes, appelées sources de connaissance ("knowledge sources"). Elles vont, en fonction de leurs préconditions, se proposer pour extraire des informations du tableau et les traiter selon leur "savoir-faire" spécifique. Chaque source de connaissance sélectionnée par le contrôle va donc induire des changements sur le tableau. Leur intervention a lieu de façon dynamique et opportune, compte tenu de l'état du problème, afin de parvenir à une ou plusieurs solutions acceptables.

Dans ce contexte, on peut émettre l'hypothèse selon laquelle chaque solution considérée à un moment donné du raisonnement est évaluée et que le jugement qui en résulte détermine - tout au moins en partie - le focus de l'attention, en vue de la sélection du pas de raisonnement suivant. Par cette fonction d'orientation de l'attention, l'évaluation contribuerait à la nature "opportuniste" de l'activité de conception. Chaque pas de résolution sélectionné par le contrôle serait donc induit par les caractéristiques de l'évaluation précédemment effectuée. L'élaboration et l'évaluation de solutions constitueraient ainsi deux processus intimement liés dans la démarche de conception.

2. OBJECTIF DE L'ETUDE

Selon l'hypothèse ci-dessus, l'évaluation des solutions élaborées au cours de la résolution de problèmes de conception contribue à orienter le raisonnement du concepteur. Aussi essaierons-nous d'appréhender comment procède cette activité évaluatrice, quelles sont ses composantes et dans quelle mesure elle détermine le parcours du raisonnement.

3. DESCRIPTION DE L'ETUDE

3.1 Tâche de conception étudiée : la définition de procédures pour la réalisation de pièces en matériaux composites

Le processus d'évaluation étudié s'applique à des solutions envisagées à propos de problèmes de conception de procédures de fabrication de pièces en matériaux composites (la "préparation" de telles pièces). Comme l'indiquent Visser et Falzon (1988) à la suite d'une première analyse de cette activité¹ la préparation présente les caractéristiques propres aux tâches de conception: définition incomplète du problème au début du traitement, absence de méthode de résolution pré-établie, obtention généralement progressive des informations pertinentes, participation du concepteur à la définition des contraintes, existence de plusieurs solutions acceptables.

3.2 Le sujet

L'étude a été conduite auprès d'un seul sujet. Il bénéficiait de plusieurs dizaines d'années d'expérience dans le domaine considéré et avait le statut d'"expert". Son expérience a été acquise dans un premier temps en atelier et, ensuite, dans la fonction de concepteur de procédures pour la réalisation de pièces.

3.3 Recueil de données

Le raisonnement développé par un expert dans un domaine fait appel à différents types de connaissances, construites à partir d'un certain nombre de concepts propres au domaine. Cette distinction concepts/connaissances utilisés dans le raisonnement a suscité, auprès du concepteur, un recueil des données en deux étapes²

- le recueil des concepts (description globale de la tâche, description de concepts).
- le recueil des connaissances (commentaires à propos de problèmes traités ou concernant des modifications de modes de fabrication des pièces ou des constats d'anomalies ; confrontations entre des opérateurs de niveau différent ou ayant différents types de connaissances).

Toutes les séances de travail ont été enregistrées au magnétophone et transcrites.

¹ Notre étude a eu lieu à partir de données recueillies par ces auteurs au cours d'une étude de recueil d'expertise.

² Le recueil des données et les techniques utilisées sont décrits en détail dans Visser et Falzon (1988).

Compte tenu de certaines caractéristiques de la méthode de recueil des données, les résultats obtenus seront soumis à des limites de validité et de possibilité de généralisation:

a) Délai écoulé depuis la résolution des problèmes

L'analyse réalisée porte sur des informations recueillies a posteriori. Le concepteur, en retraçant certains des problèmes qu'il a rencontrés et résolus, essaie de décrire le raisonnement et la démarche adoptés. Le recueil d'informations, n'ayant donc pas lieu en temps réel, est dépendant du souvenir que le concepteur a gardé des différentes situations auxquelles il s'est trouvé confronté.

b) Difficultés d'explicitation du raisonnement

La situation étudiée est soumise à un phénomène général: l'existence de difficultés pour un opérateur d'explicitier son raisonnement.

Le concepteur relève lui-même la difficulté qu'il éprouve pour rendre compte de sa démarche:

"Vous voulez des exemples...c'est pas évident...parce que ça semble tellement logique après coup ..."

"On a fait ça parce que c'est logique... on a eu quelque chose, une définition ...une façon de faire , on a cherché puis on l'a améliorée ...et on est arrivé à autre chose mais ce déroulement ...nous semble tellement logique, qu'il n'y a pas de point marquant ."

c) Différences entre l'activité décrite par l'opérateur et l'activité observée

Les travaux réalisés par Visser (1987) à propos de la conception de machine-outils corroborent l'hypothèse selon laquelle la description que fournissent les concepteurs de leur activité ne traduit pas la structure de leur activité réelle. Les résultats obtenus montrent que le concepteur dévie du plan qu'il dit suivre, dès que la possibilité de procéder à une action plus "opportune" se présente.

3.4 Analyse des données

3.4.1 Données analysées

Dans le corpus de dialogues obtenu par Visser et Falzon (1988), nous avons sélectionné **trois** entretiens. Ces entretiens sont constitués de commentaires du concepteur à propos de problèmes traités antérieurement. Le choix a porté sur ces protocoles car le concepteur y fait une synthèse de sa démarche au cours de la résolution de problèmes et ne commente pas seulement le résultat de celle-ci, i.e., la solution finale.

Une relative unité apparaît dans ces entretiens puisque le même projet y est décrit. Il s'agit de la définition de procédures de réalisation d'un support - dit de type Sylda*³ - permettant le transport par la fusée Ariane de deux satellites de communication destinés à être placés sur orbite.

3.4.2 Mode d'analyse

Dans un premier temps, nous recherchons les régularités apparaissant dans le raisonnement du concepteur lors de sa résolution des problèmes de conception relatés (Cf. Résultats, Chapitre 1).

Dans un second temps, nous analysons en détail les différents sous-processus identifiés comme mis en oeuvre au cours de l'évaluation (Cf. Résultats , Chapitres 2 à 4).

³ Les termes techniques signalés par un astérisque sont définis dans l'Annexe.

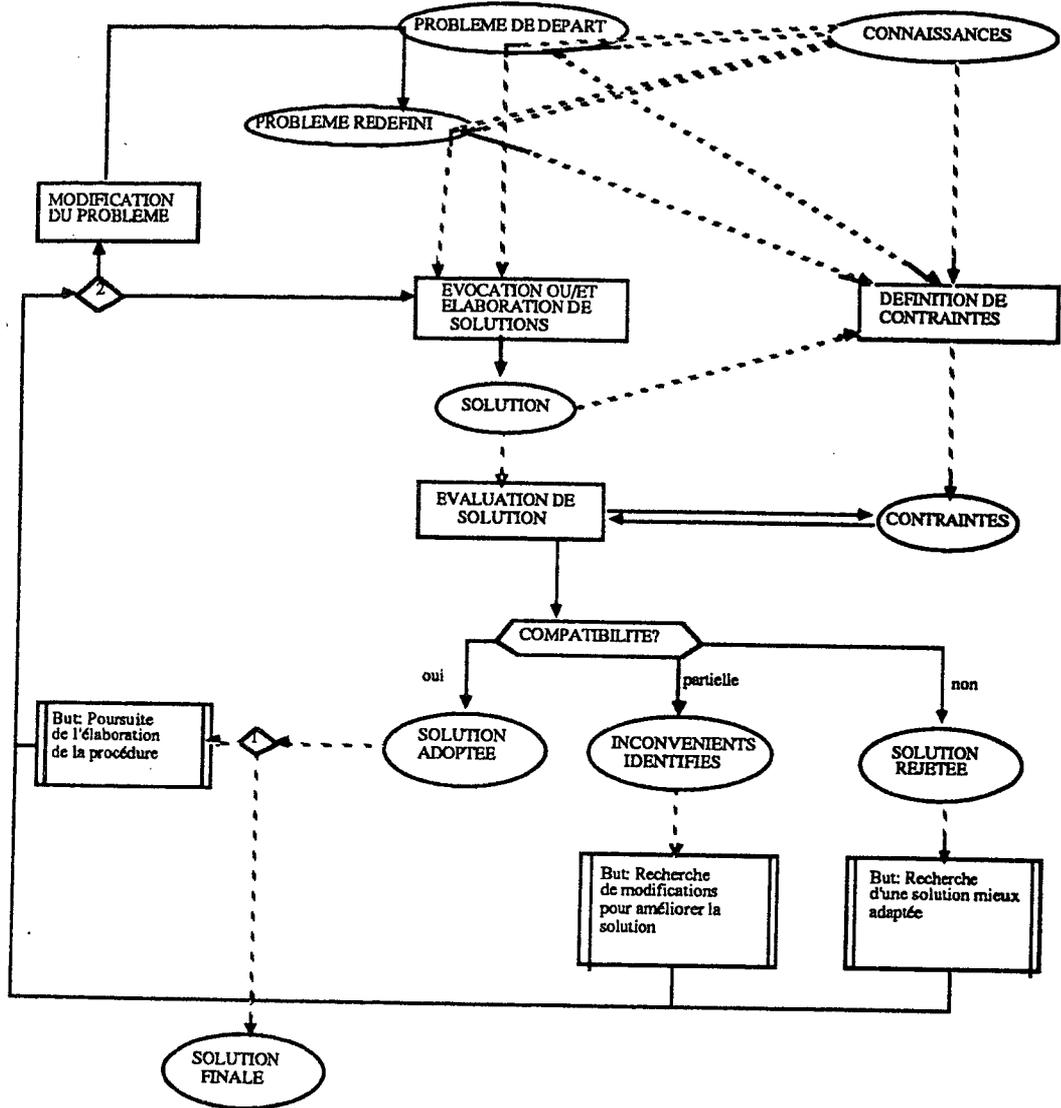
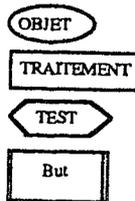


Figure 1. Déroulement du raisonnement du concepteur

Légende :



- relie objet et traitement (ou poursuite de but) qu'il déclenche
- relie traitement (ou but) et son résultat
- appel et sélection
- test spécifié dans le texte

RESULTATS

Pour situer l'activité évaluatrice dans l'ensemble de la résolution du problème, nous décrivons tout d'abord les grandes lignes de la démarche du concepteur.

Puis, nous distinguons, de façon analytique, tout en considérant les relations qui existent entre ces éléments :

- les contraintes auxquelles se réfère l'évaluation,
- les solutions qui sont l'objet de l'évaluation,
- les résultantes de cette évaluation.

L'analyse d'un cas de résolution de problème illustre enfin la démarche évaluatrice du concepteur et met en évidence l'interaction des processus d'élaboration et d'évaluation de solutions.

1. DESCRIPTION GLOBALE DE LA DEMARCHE DU CONCEPTEUR ET ROLE DE L'ACTIVITE EVALUATRICE

(Cf. figure 1)

- . Le concepteur extrait des données du problème auquel il est confronté celles qui sont constitutives de contraintes. A celles-ci, il peut adjoindre des contraintes supplémentaires, en recourant à des connaissances spécifiques à son domaine d'expertise et en analysant l'état de la solution. Le traitement des données initiales suscite aussi l'évocation ou/et l'élaboration d'éléments de solution.
- . Chaque solution (ou élément de solution) est évalué(e) et jugée plus ou moins compatible avec les contraintes. Cette activité évaluatrice oriente l'attention du concepteur vers certains aspects du problème et induit, ainsi, la suite du raisonnement :
 - Une solution respectant les contraintes est adoptée. Si elle définit une procédure répondant aux spécifications (test 1), elle constitue la solution finale. Sinon, le concepteur poursuit l'élaboration de la procédure en envisageant d'autres éléments de solution. Ces derniers sont ajoutés à la solution en construction, jusqu'à l'obtention d'une solution finale acceptable.
 - Une solution se révélant partiellement ou totalement incompatible avec les contraintes focalise l'attention du concepteur sur les inconvénients qu'elle présente. Il en résulte soit la recherche de modifications susceptibles d'améliorer la solution, soit son rejet et la recherche d'une solution plus adéquate.

Tout élément de solution évoqué, que ce soit afin de poursuivre l'élaboration de la procédure, d'améliorer la solution envisagée ou de remplacer celle-ci par une autre, est évalué par le concepteur.

- Lorsque le problème paraît non résoluble, compte tenu de ses données (test 2), une modification de celles-ci peut avoir lieu et permettre au concepteur de poursuivre son raisonnement.

L'activité évaluatrice mise en oeuvre par le concepteur fait donc intervenir des contraintes, porte sur des solutions (ou éléments de solution) et les résultantes de l'évaluation sont déterminantes du raisonnement. Les caractéristiques de ces composantes de l'évaluation et leur fonctionnement vont être détaillées ci-dessous.

2. REFERENCE DE L'EVALUATION : LES CONTRAINTES

Evaluer une solution consiste à juger si elle respecte les contraintes fixées. Ces contraintes sont de types variés et leur utilisation s'effectue à différents moments au cours de l'activité du concepteur.

2.1 Processus de détermination des différentes contraintes

2.1.1 Contraintes prescrites

Il s'agit de contraintes que le bureau d'étude (B.E.) - service en amont de la préparation- fixe et fait parvenir au préparateur. Elles concernent des aspects "techniques", spécifiques au problème de conception traité.

Elles portent, par exemple, sur :

- les dimensions de la pièce ou de ses constituants (exemple : "la pièce doit faire 2m de haut"),
- la composition de la pièce (ses différentes parties en fonction des séquences de lancement, par ex.),
- le type de matière de la pièce (en fonction de la masse, de la rigidité prescrites),
- les procédés de collage des éléments (en fonction des matériaux utilisés),
- les tolérances (i.e. des indications relatives à la précision de la fabrication),
- l'"architecture" de la pièce à fabriquer (ex. positionnement des éléments),
- les conditions "extérieures" i.e. contraintes non relatives au mode de fabrication (ex. délai de fabrication, conditions de transport).

Certaines de ces contraintes sont fixées dès le départ (données initiales du problème) alors que d'autres ne sont définies qu'en cours d'élaboration de la procédure. La détermination de contraintes supplémentaires peut, par exemple, avoir lieu au fur et à mesure que les membres du B.E. approfondissent et précisent les données du problème. Elle peut aussi se produire

lorsque le concepteur est confronté à une impossibilité de poursuivre l'élaboration de la procédure. En ce cas, le concepteur peut proposer au B.E. la modification de certaines données. La définition de nouvelles contraintes prescrites induit une "redéfinition" du problème.

Exemple : En raison d'une impossibilité technique (diamètre de l'autoclave* insuffisant), une contrainte initiale (pièce en un seul élément) est modifiée pour que chaque pièce puisse être réalisée en six éléments.

2.1.2 Contraintes construites

Toutes les contraintes ne sont pas prescrites. Certaines sont définies par le concepteur. Il a, pour cela, recours à des connaissances spécifiques à son domaine d'expertise. Ces contraintes "construites" sont de nature générale i.e. s'appliquent à une classe de problème, ne sont pas spécifiques au problème considéré. Le concepteur se réfère à ces contraintes pour évaluer la faisabilité de la solution (i.e. la possibilité de mettre en oeuvre la procédure envisagée) et l'intérêt qu'elle présente.

Exemples :

"la solution doit être la plus simple possible."

"la solution doit nécessiter un minimum de moyens techniques."

En raison de leur caractère général et de leur utilisation très fréquente par le concepteur, ces contraintes n'ont pas à être spécifiées par le B.E.

2.1.3 Contraintes déduites

Ces contraintes sont déduites par le concepteur d'autres contraintes et/ou de l'état de la solution. Elles concernent le même domaine que celui des éléments qui les ont suscitées (contraintes prescrites ou construites, état de la solution). Elles portent donc, soit sur des aspects techniques, soit sur des aspects relatifs à la faisabilité et à l'intérêt des solutions.

La détermination de ces contraintes peut se faire par :

- La prise en considération des implications des critères prescrits et construits.

Exemples :

Une contrainte prescrite portant sur le "délai de fabrication" induit la définition de contraintes "déduites" telles que l'"emploi préférentiel de systèmes ou technologies déjà utilisés".

La contrainte construite de "limitation du prix de revient" suscite, par un recours à ses connaissances de modes de fabrication, la détermination par le concepteur des contraintes "déduites" de "limitation du nombre de passages sur machine" et d'"utilisation préférentielle de petits outillages".

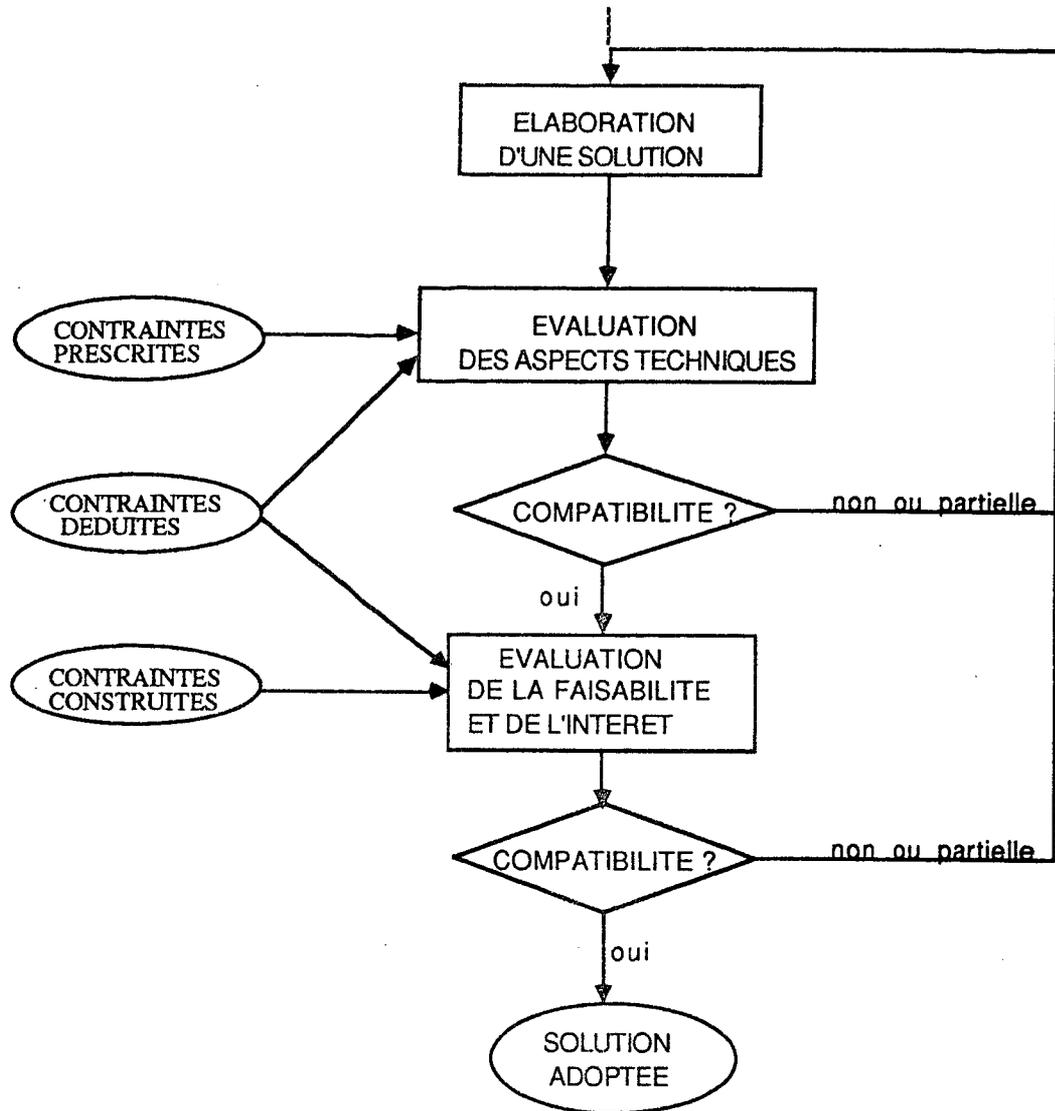


Figure 2. Régularité de l'utilisation des contraintes

Légende :

TRAITEMENT

TEST

OBJET

- La prévision des conséquences de la procédure envisagée.

Exemple :

L'adoption de la solution "constitution d'une pièce circulaire en 6 éléments" a pour conséquence que la totalité de ses éléments constitutifs doit avoir un développé de 360°, d'où la contrainte déduite de "respect d'un développé de 60° pour chaque élément".

- La focalisation de l'attention du concepteur sur certaines caractéristiques de l'état de la solution ainsi que sur leurs implications, conjointement à la prise en compte de contraintes.

Exemple :

La contrainte d'"utilisation d'un matériau d'outillage non dilatable" peut être déduite du fait que les pièces vont être réalisées de façon "finie" (i.e. sans possibilité de "réusinage") - i.e. état de la solution - et de la prise en considération concomitante d'une contrainte prescrite relative à la précision du montage.

2.2 Utilisation des contraintes

2.2.1 Moment d'utilisation des contraintes

Une relative régularité de recours, par le concepteur, aux contraintes est apparue, en fonction de leur domaine de référence. L'évaluation de la solution envisagée concerne, tout d'abord, des aspects techniques. Cette première évaluation s'effectue donc sur la base de contraintes prescrites et de certaines contraintes déduites. Lorsque la solution est compatible avec ces contraintes, l'évaluation se poursuit et porte sur la faisabilité de la solution ou sur l'intérêt qu'elle présente. Cette seconde phase de l'évaluation fait donc intervenir des contraintes construites et des contraintes déduites de ces dernières.

cf. figure 2

2.2.2 Pondération des contraintes

Certaines contraintes paraissent plus importantes que d'autres.

Elles seraient assorties d'une pondération en fonction de leur importance respective, dont il serait tenu compte en cours de l'évaluation des solutions.

Par exemple, la contrainte de "limitation de l'utilisation de machine" est prépondérante par rapport à celle d'"emploi préférentiel de systèmes ou technologies déjà utilisés". Cette prédominance se manifeste, dans le cas observé, par la décision du concepteur de définir un outillage nouveau qui ne satisfait pas la seconde contrainte mais qui permet d'éviter un "réusinage" (impliquant l'emploi à plus long terme d'une machine).

La pondération d'une contrainte varierait selon les caractéristiques du problème de conception considéré et les autres contraintes prises en compte lors de la résolution du problème. Une telle pondération pourrait, de plus, être modifiée en cours d'élaboration de la procédure, en fonction de l'état de la solution.

Par exemple, la contrainte de "précision de la réalisation du montage" a un poids relativement faible lorsque l'état de la solution comporte une technique de réalisation des pièces "en ébauche". En effet, cette technique permet un "rattrapage" des pièces par un réusinage. Par contre, lorsque l'état de la solution spécifie l'utilisation d'une technique "en finition", un rattrapage des pièces n'est plus possible. Dans ce cas, la contrainte citée précédemment devient prépondérante et l'attention du concepteur se focalise sur les aspects qui lui sont attachés.

3. OBJET DE L'EVALUATION : LES SOLUTIONS

L'activité évaluatrice n'intervient pas seulement lorsque la solution finale a été obtenue. Celle-ci est élaborée progressivement par adjonction d'éléments de solution. Les éléments de solution retenus pour constituer la procédure de réalisation des pièces sont préalablement évalués et doivent être jugés adéquats.

L'évaluation a donc lieu parallèlement à l'élaboration de la procédure, au fur et à mesure de la prise en considération des éléments de solution. Différents processus permettent de constituer ces éléments.

3.1 Evocation de solutions "standards" en mémoire

Nous supposons que, dès le premier traitement des données du problème, le concepteur évoque une ou plusieurs solutions "standards". Il s'agit de solutions dont la mise en application est habituelle et fréquente.

Exemple : "L'une des solutions ...de facilité, qui venait tout de suite à l'esprit ..."

Les solutions standards sont envisagées lorsque le problème traité présente des ressemblances avec un (ou plusieurs) problème(s) connu(s). Le concepteur évalue la compatibilité de la solution du problème connu avec le "nouveau" problème. Lorsqu'elle se révèle intéressante, elle est adoptée et adaptée au problème considéré.

Il se peut que plusieurs solutions soient évoquées pour le même aspect du problème et que le concepteur en sélectionne une. La méthodologie utilisée - entretiens a posteriori - ne nous permet pas de déterminer la façon précise dont procède le concepteur face à un tel cas : il est plausible qu'il ne rapporte que la solution retenue.

3.2 Elaboration progressive de solutions

3.2.1 Solutions "alternatives"

Certaines solutions ne sont déterminées qu'après que l'évaluation de la solution envisagée antérieurement a conclu à une incompatibilité avec certaines contraintes. La contrainte non respectée permet au concepteur de définir la ou les dimension(s) de la solution à modifier. Chercher une solution qui ait sur cette dimension la valeur contraire à celle de la solution "standard" jugée insatisfaisante permet d'élaborer sa solution "alternative". L'opposition entre ces deux types de solution peut être partielle - i.e. ne concerner que certains de leurs éléments constitutifs - ou totale.

Exemple :

Pour respecter les contraintes de réduction du cycle de réalisation et des coûts, une solution alternative à la solution standard (constitution de secteurs "en ébauche") a été proposée. La solution alternative permet d'éviter un réusinage : "sortir des secteurs finis".

3.2.2 Solutions "nouvelles" ou "innovations"

Lorsqu'aucune solution, qu'elle soit standard ou alternative, ne satisfait les contraintes fixées, une solution "nouvelle" doit être élaborée. Il s'agit d'une solution non utilisée antérieurement, lors de problèmes analogues.

Exemple :

Pour éliminer un risque de dilatation du matériau de moulage, le concepteur, dans l'impossibilité d'utiliser aucune solution standard, a proposé l'emploi d'un matériau appelé "Invar* ". Ce matériau était connu du concepteur, mais il ne l'avait jamais utilisé dans des situations semblables à celle à laquelle il s'est trouvé confronté.

Bien qu'il soit difficile de déterminer comment le concepteur parvient à proposer des "innovations", nous émettons plusieurs hypothèses :

- . Les innovations peuvent résulter d'une nouvelle prise en considération des informations: prescriptions du problème, contraintes à respecter, possibilités ou impossibilités connues de procéder à certaines réalisations (au terme d'une évaluation de la faisabilité de la solution et compte tenu de l'état d'élaboration de la procédure).
- . Les innovations peuvent être induites par une redéfinition du problème. Celle-ci peut être obtenue par l'adjonction de contraintes supplémentaires, par la modification du poids de celles déjà définies ou par la modification de certaines données du cahier des charges.

- . Les innovations peuvent résulter d'un recours à des connaissances plus générales que celles mises en oeuvre lors de l'évocation de solutions connues. Le concepteur pourrait, par exemple, utiliser des connaissances extérieures à son domaine d'expertise mais qui présentent des analogies avec le problème qu'il doit traiter.

4. L'EVALUATION ET SES RESULTANTES

L'activité évaluatrice développée par le concepteur a, au moins, deux résultantes :

- l'émission d'un jugement d'acceptabilité de la solution envisagée
- l'orientation de l'attention du concepteur vers certains aspects du problème et/ou de sa solution en cours d'élaboration.

4.1 Emission d'un jugement d'acceptabilité

L'évaluation aboutissant à un jugement d'acceptabilité des solutions est effectuée plus ou moins directement et rapidement par le concepteur selon les aspects pris en compte.

- . Le résultat de l'évaluation est émis immédiatement lorsque celle-ci se réfère à des contraintes prescrites. Le jugement d'acceptabilité est alors fonction du respect (ou non) des contraintes spécifiées dans le cahier des charges.

Exemple : "j'assure la concentricité entre ces deux diamètres (diamètres haut et bas des cadres du cône)"

- . L'évaluation de la solution peut être progressive et nécessiter, par exemple, d'envisager les conséquences de la solution ou de simuler mentalement son déroulement. Il en est ainsi lorsque l'évaluation concerne la faisabilité de la solution et l'intérêt qu'elle présente.

La faisabilité d'une solution dépend des moyens nécessaires à sa concrétisation. L'évaluation de la faisabilité peut porter sur des moyens techniques (ex : machines, outillages) ou/et sur des moyens financiers (ex : prix de revient pour les fabricants ou/et pour le commanditaire). La faisabilité est évaluée en comparant les moyens nécessaires et ceux disponibles. Le résultat de la comparaison peut être immédiat ou progressif. Il peut consister en un constat de possibilité (ou d'impossibilité) d'une mise en application de la solution.

L'évaluation de la faisabilité technique comporte trois étapes:

a) Une phase de détermination des moyens nécessaires à la concrétisation de la solution.

Exemples :

"Il faut travailler avec des sandwiches* ...on aura besoin de l'autoclave* ...ici, les besoins sont: un autoclave* de 3 mètres. "

"Etant donné qu'il y avait des impératifs de parallélisme et de concentricité des cadres...il nous fallait un tour de 3m500 de diamètre et de 2m de haut pour usiner les cadres quand on les avait collés sur la structure, il nous fallait un tour de 2m de diamètre et d'une hauteur de 1200 pour réusiner les cadres quand on les avait collés sur le cône".

b) Une phase de détermination des moyens disponibles i.e. un recensement du "parc-outils".

Exemple : " Qu'est-ce que l'on avait comme moyens disponibles?... on avait un autoclave* de 2m500 de diamètre et de 13m. de long...on avait un tour vertical de 5m de diamètre et d'une hauteur de 2450."

c) Une phase de comparaison des moyens techniques identifiés au cours des deux phases précédentes.

Exemple : "Vous avez l'encombrement de l'autoclave. Qu'est ce qu'on peut mettre dedans - outillage compris ? l'outillage que l'on va mettre dans l'autoclave, est-ce qu'il n'est pas trop lourd pour... la charge admissible de l'autoclave?"

Le résultat de l'évaluation comparative est :

- soit un constat de faisabilité

Exemple : "On s'aperçoit qu'...on a les 2 tours compatibles avec ce que l'on veut faire..."

- soit un constat d'infaisabilité

Exemple : "On s'aperçoit que l'on n'a pas d'autoclave pour fabriquer la pièce en un seul élément."

La faisabilité financière est soumise à une contrainte de "limitation des coûts". Celle-ci détermine des contraintes déduites et son respect nécessite un recours à des contraintes construites.

Exemples :

"Eviter d'utiliser une grosse machine"

"Plus vous avez de pièces...plus ça coûte cher" implique de limiter le nombre de pièces

"Plus vous avez de liaisons...plus ça coûte cher" implique de limiter le nombre de liaisons

Le prix de revient dépend, évidemment, du coût des moyens nécessaires à la mise en oeuvre d'une solution, mais aussi de contraintes extérieures au mode de fabrication (par exemple, les

conditions de transport de la pièce) et de décisions (telles que celle de comptabiliser les coûts dans le devis destiné au commanditaire ou au contraire dans l'"investissement-usine").

L'évaluation de l'intérêt d'une solution est fondée sur des contraintes construites et/ou déduites nombreuses et variées. Le résultat de l'évaluation de l'intérêt se constitue progressivement puisqu'il implique plusieurs "sous-évaluations" successives. Chacune de ces sous-évaluations peut être réalisée directement ou nécessiter une réflexion approfondie (simulation mentale, par exemple).

L'analyse des données recueillies auprès du concepteur permet d'identifier certains aspects prépondérants dans l'évaluation de l'intérêt qu'offre une solution. Ils concernent:

a) La simplicité de la solution

Exemple :

"Voir s'il n'y a pas d'autre solution, plus simple, à ce qu'on recherche."

b) La limitation des moyens techniques et financiers

Exemples :

"J'ai gagné 1500 à 2000 heures d'outillage "

"J'ai gagné ... 16 opérations d'usinage des pièces. "

"Vous n'êtes pas obligé de passer sur une grosse machine ... à des prix horaires élevés "

c) La limitation des risques encourus lors de la mise en application de la solution

Exemple d'évaluation immédiate (par comparaison avec la solution "standard" antérieurement utilisée) : "En machine, vous avez le risque suivant : le gars veut donner un petit coup de fraise de trop et c'est fini , il faut recommencer. Tandis que là , pratiquement , vous ne pouvez jamais être mauvais "

Exemple d'évaluation progressive : "Si on avait collé des cadres en ébauche et passé l'ensemble de la pièce en étuve, le fait de prendre la pièce, de la mettre sur un chariot et de la transporter à l'autre atelier...la pièce risque de ramasser des chocs. Vous arrivez à l'atelier mécanique, vous montez cette pièce sur le tour, le compagnon, il usine ses cadres et à la fin il se trompe. "

d) La qualité du résultat de la mise en application de la solution - que l'on ne peut évaluer que suite à des essais (Cf. ci-dessous).

Exemples :

"On obtient mieux ce que l'on vous demande "

"Le résultat est très bon "

L'évaluation sur la base d'une expérimentation ou d'essais intervient dans une phase postérieure à une évaluation uniquement "mentale". Elle n'a lieu que si la procédure s'est révélée satisfaisante, à l'issue des évaluations précédentes. Cette évaluation est donc mise en oeuvre au cours des étapes ultimes de la conception. Elle permet de confirmer ou d'infirmer les appréciations portées précédemment sur la procédure élaborée. Elle repose sur la réalisation d'un prototype, de pré-séries destiné(ées) à subir des contrôles.

Exemples :

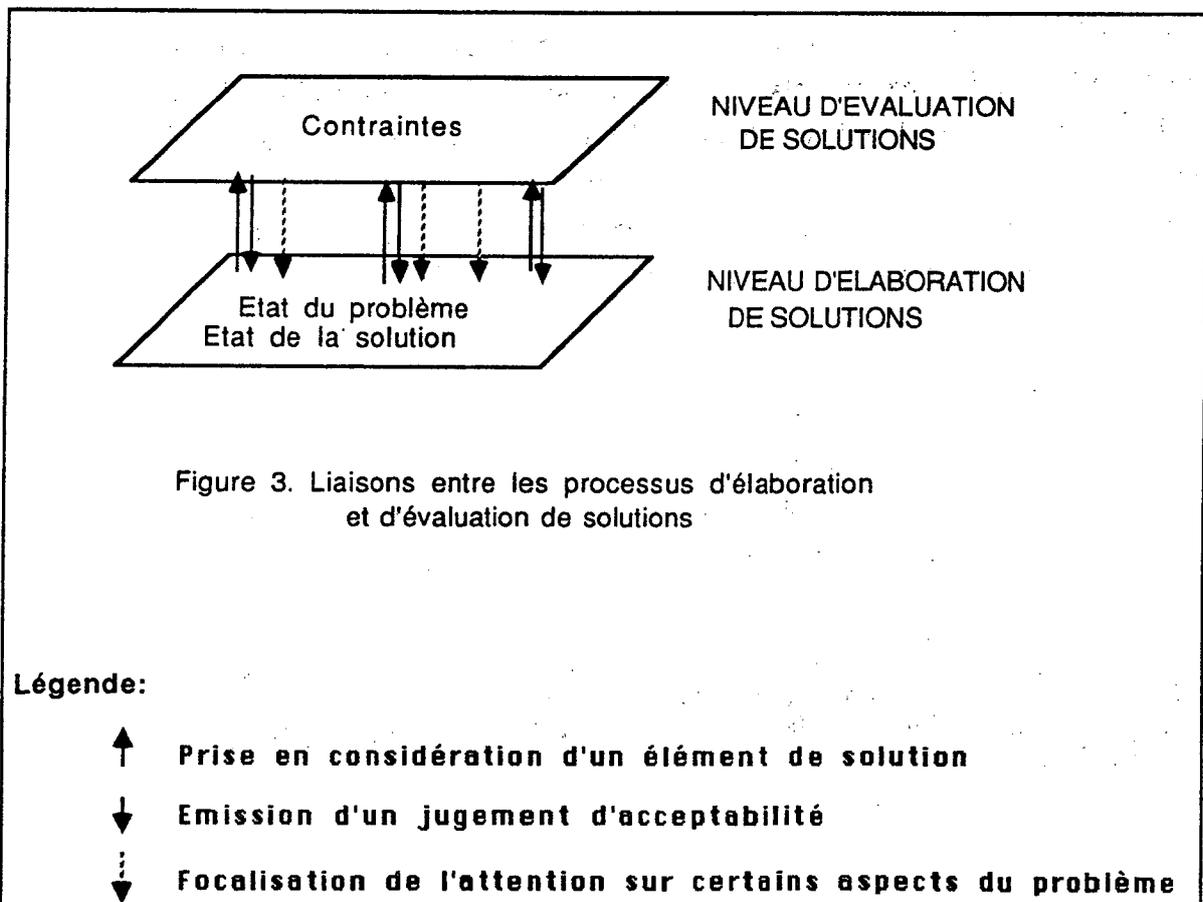
"On a fait des essais : le résultat est très bon "

" On s'est dit: ... on va voir nos premières pièces, comment elles sortent? ...On a vu que les premières pièces sortaient bien "

4.2 Orientation de l'attention du concepteur

L'activité du concepteur associe deux processus :

- un processus d'élaboration de solution(s)
- un processus d'évaluation de l'état de la solution.



Nous représentons l'interaction entre les deux processus par des liaisons s'établissant tout au long de la résolution du problème. Elles peuvent consister en des "allers-retours". L'aller est constitué par la prise en considération d'un élément de solution. Cet élément de solution est évalué et le jugement d'acceptabilité qui en résulte oriente la suite de l'élaboration de solutions (retour). La nature de ce jugement et/ou les contraintes prises en compte orientent l'attention du concepteur vers certains aspects du problème:

- S'il s'agit d'aspects considérés comme négatifs, l'évaluation conduit le concepteur à rechercher des solutions ne présentant pas ces aspects. Pour cela, il peut soit essayer de modifier la solution insatisfaisante pour l'améliorer, soit tenter de la remplacer. Les modifications peuvent reposer sur une heuristique d'inversion des aspects insatisfaisants de la solution et, ainsi, amener le concepteur à proposer une ou plusieurs solutions alternatives.

Exemple:

La solution "constitution de chaque pièce en un seul élément" étant jugée insatisfaisante, une heuristique d'inversion est appliquée pour proposer sa solution alternative i.e. "constitution de chaque pièce en plusieurs éléments".

Lors d'un remplacement de la solution insatisfaisante, son évaluation - en précisant les caractéristiques souhaitées ou non - aboutit à une redéfinition du problème. La zone de recherche en mémoire de solutions appropriées à l'état du problème est ainsi circonscrite. Cette recherche peut aboutir à la sélection de solutions connues. Si elles remplissent les contraintes, elles sont retenues et adaptées au problème. Sinon, elles peuvent être modifiées, améliorées ou servir de "base d'inspiration" pour l'élaboration de solutions nouvelles.

- Si la solution est acceptée (i.e. si ses aspects ont été considérés comme positifs), l'évaluation conduit le concepteur à approfondir la solution et, ainsi, à poursuivre l'élaboration de la procédure recherchée. Dans ce but, le concepteur propose des éléments de solution supplémentaires, qu'il adjoint à ceux déjà élaborés.

Exemple:

La solution consistant à réaliser chaque pièce en 6 éléments a été jugée acceptable. La focalisation de l'attention du concepteur sur l'aspect "en 6 éléments" lui permet d'approfondir cette solution, en recherchant les moyens techniques nécessaires à une telle réalisation des pièces.

5. ILLUSTRATION DE L'ACTIVITE EVALUATRICE

Pour illustrer le déroulement du raisonnement du concepteur l'un des entretiens a été sélectionné, en raison de sa nature synthétique et de la diversité des traitements qui y sont rapportés (Cf. figure 4).

Sont tout d'abord présentées les données dont dispose le concepteur au début du traitement du problème. La démarche mise en oeuvre par le concepteur est, ensuite, décrite chronologiquement. Elle montre l'interaction des processus d'élaboration et d'évaluation de solution.

a) Les données initiales ou prescriptions du problème

- L'objet du projet confié au concepteur concerne un support de type "Sylda*", prévu pour le transport de deux satellites (au lieu d'un seul, ce qui était auparavant réalisé).
- Le délai de livraison imposé est de 21 mois.
- Les principaux "impératifs" du projet sont :
 - . un volume disponible fixe (malgré la présence de deux satellites au lieu d'un seul)
 - . un poids minimal et un matériau rigide
 - . des contingences architecturales propres aux séquences de lancement, à savoir :
 - les séquences de séparation qui déterminent les éjections successives de la coiffe, du satellite haut, de la partie supérieure du Sylda*, du satellite bas.
 - les séquences d'intégration qui impliquent un accès indépendant à chaque partie et aux liaisons des parties (par visserie extérieure.).

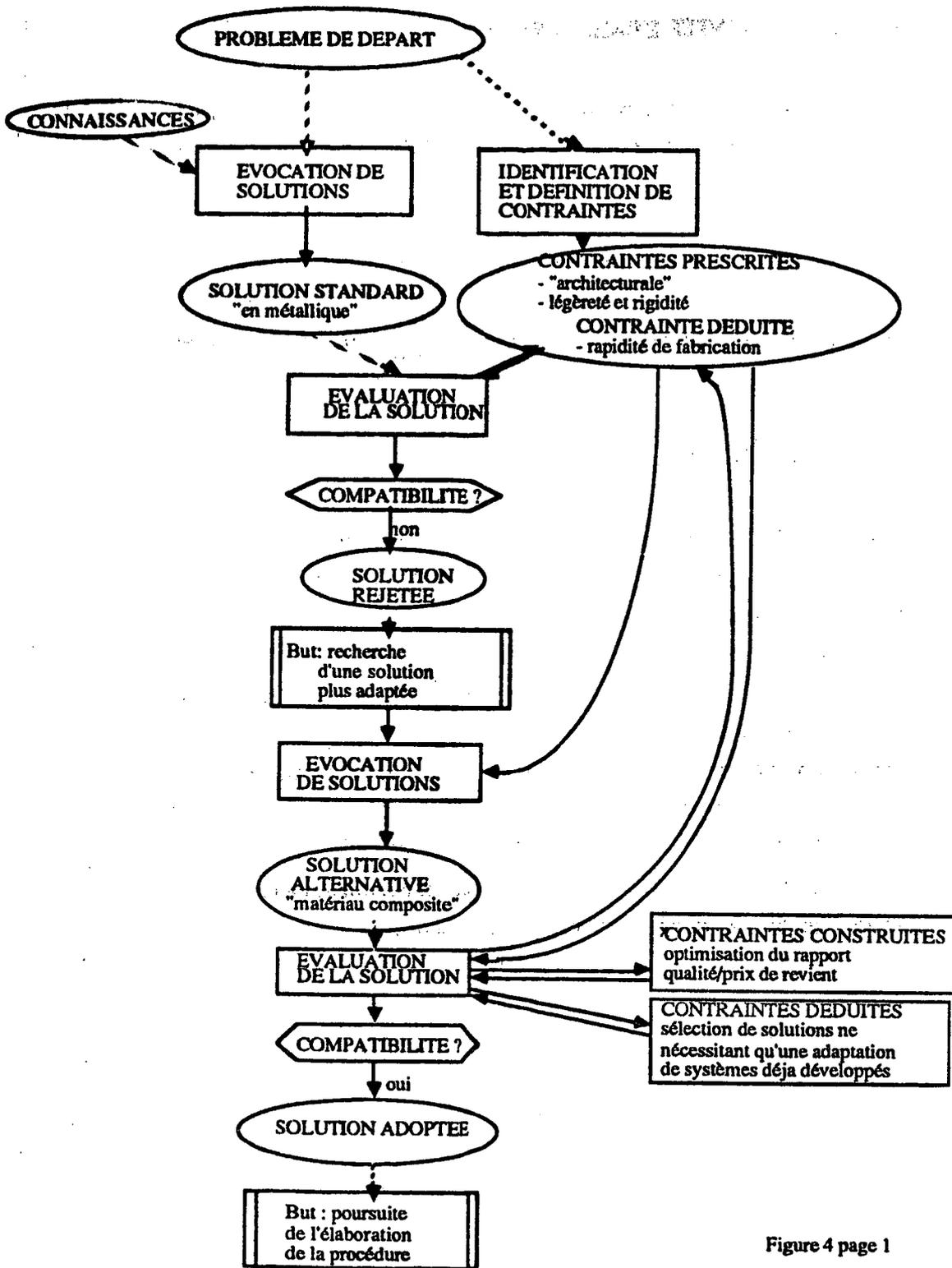


Figure 4 page 1

b) La démarche du concepteur et le rôle de l'activité évaluatrice. Interaction des processus d'élaboration et d'évaluation de solution

Le concepteur oriente son attention vers les données du problème. Il identifie, ainsi, certaines contraintes (ex : intégrer deux satellites dans un volume fixe), et en précise d'autres, souvent grâce à une appréciation des données (par ex., le délai de 21 mois jugé très restreint suscite la constitution d'une contrainte de rapidité de fabrication). La focalisation du concepteur sur ces aspects lui permet de corroborer le bien-fondé de l'élimination (antérieure à son intervention) d'une solution "en métallique" (évaluation et rejet d'une solution "standard" se révélant non compatible avec la contrainte de légèreté).

La solution "alternative" à une telle solution standard consiste en une structure en matériau composite et, plus précisément, en une structure de la matière en "sandwich* carbone". Le concepteur évalue cette solution en se référant à des contraintes prescrites (légèreté, rigidité), construites (optimisation du rapport qualité/prix de revient) et déduites (rapidité de fabrication, sélection de solutions ne nécessitant qu'une adaptation de systèmes déjà développés).

La solution respecte ces contraintes, aussi est-elle adoptée.

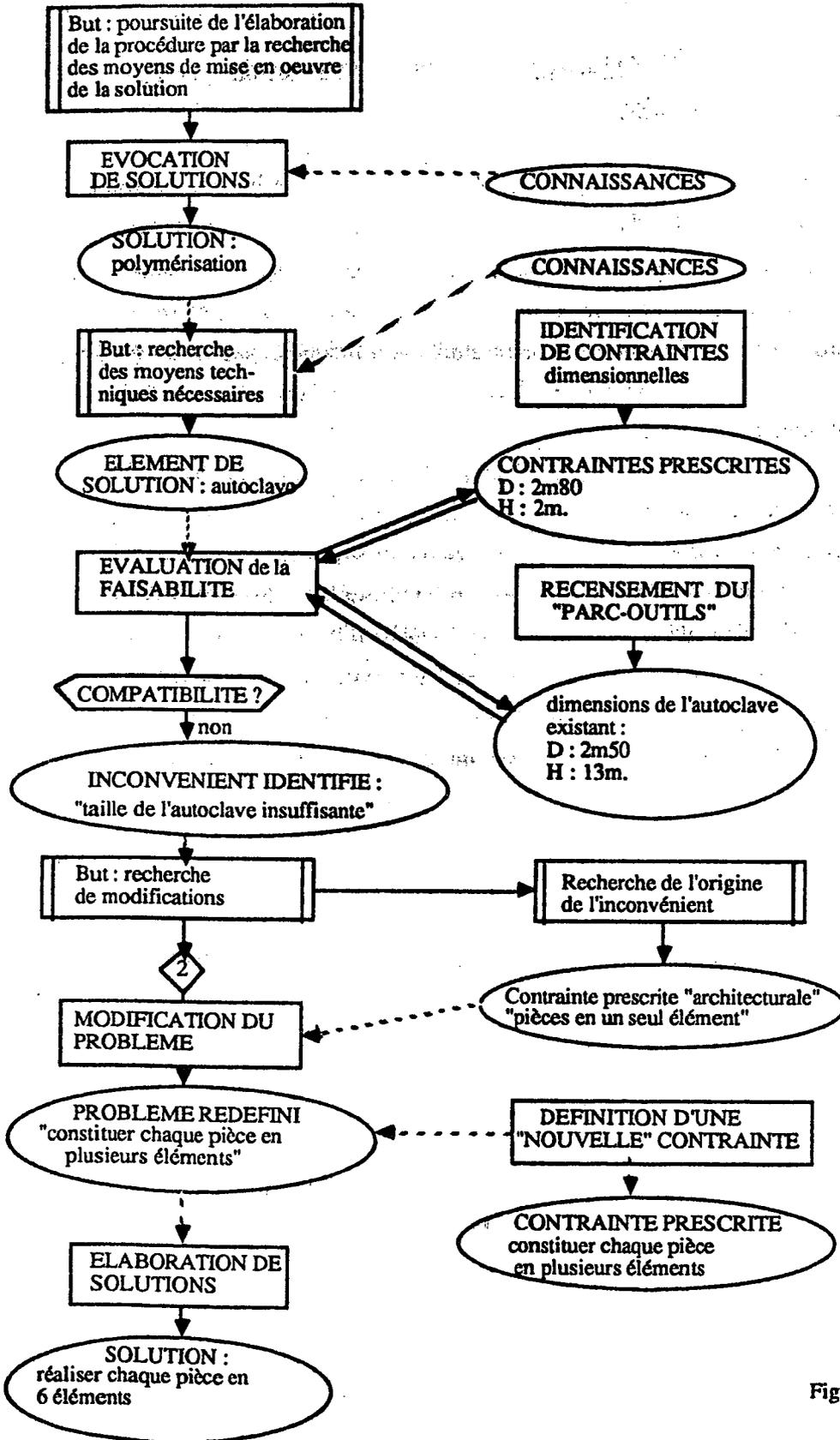


Figure 4 page 2

Le concepteur peut poursuivre l'élaboration de la procédure recherchée et envisager sa réalisation en recherchant les moyens susceptibles d'en permettre la mise en oeuvre. Un recours à ses connaissances lui permet de définir comme procédé de fabrication une polymérisation* du sandwich* (plus précisément une polymérisation à chaud, avec une température de 170 degrés et une pression de 7 bars). Cela oriente son attention en vue d'une recherche des moyens techniques nécessaires à la polymérisation. Il détermine la nécessité d'un autoclave*.

Afin d'évaluer la faisabilité de la solution - autoclave pour polymériser la pièce - le concepteur se réfère à des contraintes prescrites portant sur les dimensions de la pièce (D : 2m80, H : 2m), ce qui lui permet de définir le volume de l'autoclave nécessaire. Ces caractéristiques sont comparées à celles de l'autoclave disponible (D : 2m50, H : 2m). Le concepteur constate une incompatibilité entre les moyens techniques nécessaires et disponibles. Il identifie ainsi une difficulté : "taille insuffisante de l'autoclave".

L'attention du concepteur se focalise sur cette difficulté et sur les modifications qui seraient susceptibles d'y remédier. Aucune solution alternative, ni innovation ne permettant d'éliminer l'inconvénient identifié, l'attention du concepteur s'oriente vers sa cause, à savoir le respect d'une contrainte prescrite de type "architectural" ("pièces en un seul élément"). La difficulté paraissant non résoluble, compte tenu des caractéristiques de l'état du problème, l'action va porter sur les données du problème inductrices de la contrainte prescrite considérée. Dans ce but, le concepteur transmet le problème au bureau d'étude qui a la possibilité de modifier certaines prescriptions.

L'impossibilité identifiée d'une réalisation en "un seul élément" va susciter une redéfinition du problème. Elle conduit à une proposition alternative consistant à fabriquer chaque pièce en "plusieurs éléments ou secteurs". Cette nouvelle contrainte induit l'évocation de solutions dont l'une est de réaliser chaque pièce en 6 éléments joints.

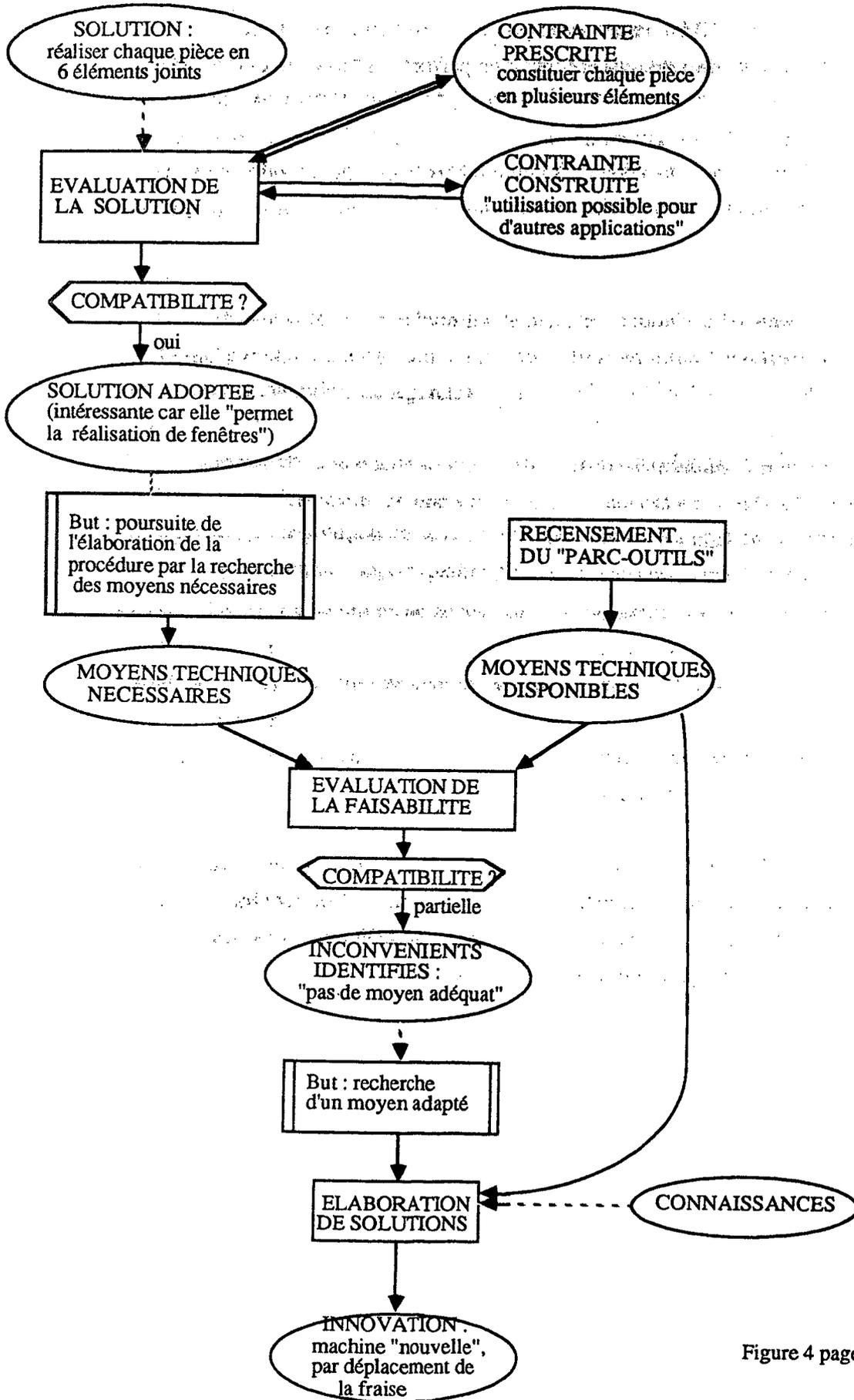


Figure 4 page 3

Le concepteur évalue cette solution en se référant aux contraintes prescrites (évaluation du respect des spécifications du problème) et à des contraintes construites telles que la possibilité d'utilisation pour d'autres applications (évaluation de l'intérêt).

La solution apparaît comme respectant les contraintes (par ex., l'intérêt provient d'une utilisation possible des secteurs pour constituer des "fenêtres"ou ouvertures). Elle est donc adoptée.

Dans le but de poursuivre l'élaboration de la procédure, sur ces nouvelles bases, le concepteur envisage les moyens techniques nécessaires à la mise en application de la solution. Il les compare avec ceux disponibles (évaluation de la faisabilité technique de la solution). Le recensement du parc-outils ne permettant d'identifier aucun moyen convenable, la solution présente donc des difficultés.

L'attention du concepteur s'oriente vers la recherche d'un moyen technique adapté à la solution. Le concepteur porte son attention sur les caractéristiques souhaitables pour ce moyen, ainsi que sur celles des moyens disponibles. Cela le conduit à proposer une machine "nouvelle" (obtenue par déplacement de la position de la fraise sur le dispositif existant).

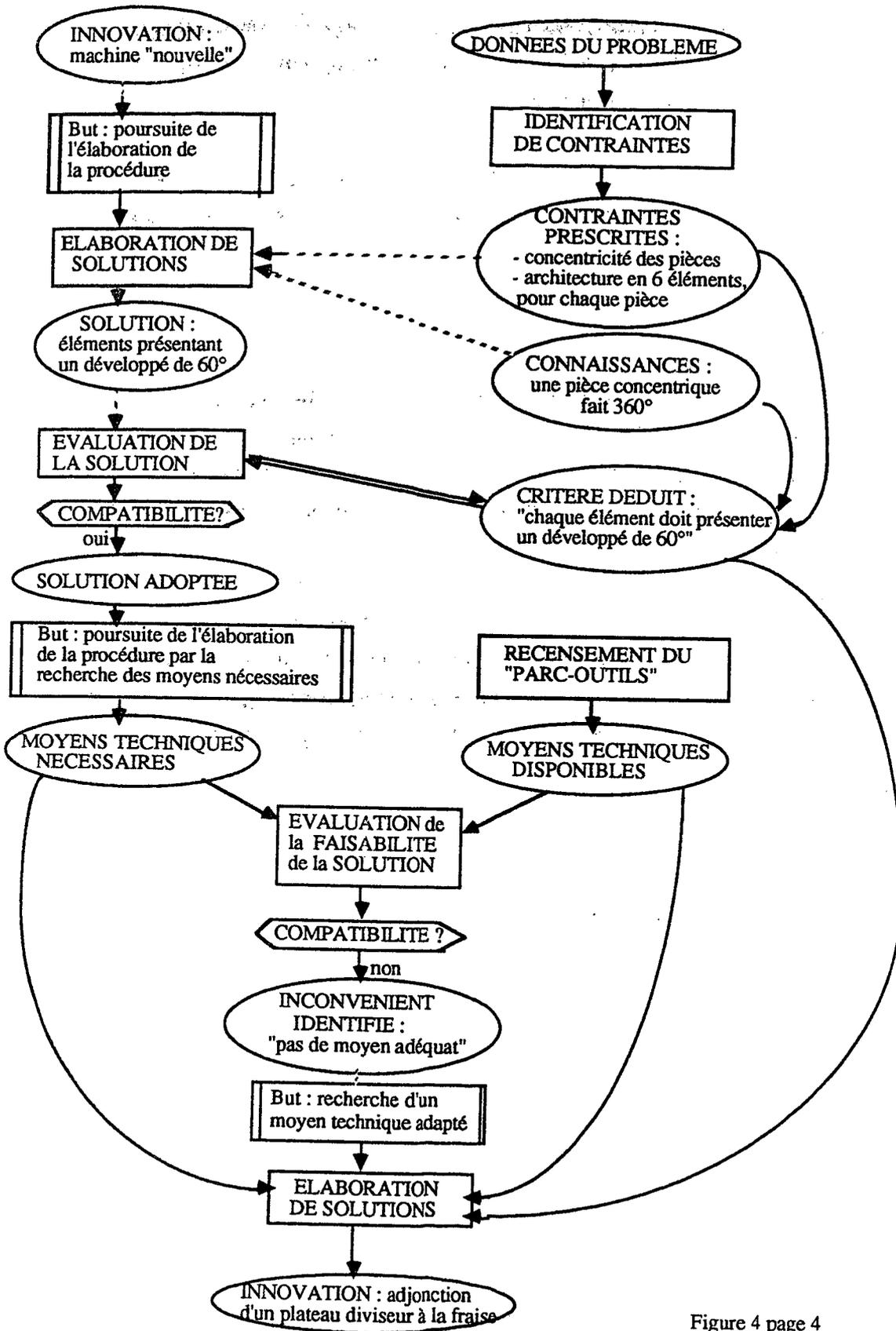


Figure 4 page 4

Pour poursuivre l'élaboration de la procédure, le concepteur doit élaborer d'autres éléments de solution - qui seront adjoints aux précédents. Dans ce but, son attention s'oriente vers d'autres contraintes prescrites (par ex., concentricité des pièces, architecture en 6 éléments pour chaque pièce). Un recours à ses connaissances (ex : une pièce concentrique fait 360°) permet au concepteur de déterminer que chacun des 6 éléments des pièces doit présenter un développé de 60° . Cet élément de solution est évalué. Comme il satisfait les contraintes, il est adopté.

La démarche du concepteur se poursuit par la recherche des moyens techniques nécessaires à la concrétisation de cet élément de solution et par un recensement des moyens techniques disponibles. L'évaluation de la faisabilité de la solution aboutit à l'identification d'une difficulté : aucun moyen technique existant ne lui est adapté.

Le concepteur va donc rechercher un moyen technique propre à cette solution. La focalisation de son attention sur les contraintes pertinentes et sur les moyens techniques disponibles le conduit à proposer un nouvel élément de solution : adjoindre un plateau diviseur à la fraise.

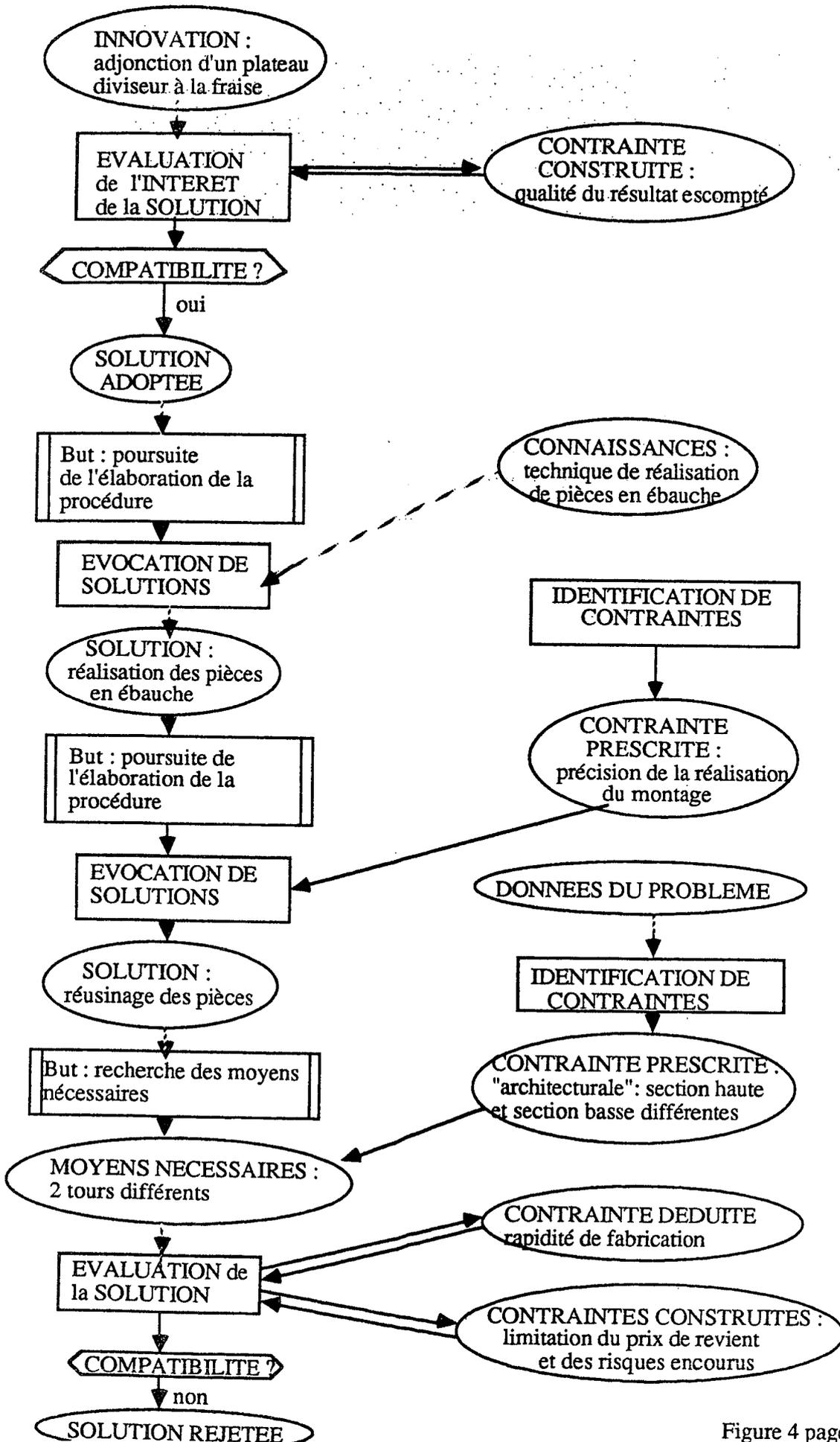


Figure 4 page 5

L'intérêt de cet élément de solution est évalué de façon progressive, par la prévision des conséquences de sa mise en oeuvre et du résultat auquel il donnerait lieu (i.e. respect de l'angle fixé). Cet élément de solution respecte les contraintes et semble concrétisable, aussi est-il adopté.

Pour poursuivre l'élaboration de la procédure, le concepteur évoque d'autres éléments de solution et notamment la réalisation de pièces "en ébauche".

Le concepteur prend en considération une nouvelle donnée du cahier des charges (tolérance de 0,3 par rapport aux côtes fixées) et identifie ainsi une contrainte supplémentaire (contrainte de précision de la réalisation du montage). L'attention du concepteur s'oriente vers cette contrainte prescrite et vers les implications de la solution "réalisation des pièces en ébauche". Il détermine ainsi la nécessité d'un réusinage des pièces (afin de respecter la contrainte de précision). Le concepteur recherche donc les moyens techniques nécessaires au réusinage et définit la nécessité d'un tour.

Le concepteur considère une autre donnée du problème constitutive d'une contrainte "architecturale" : les pièces de la section haute et de la section basse sont différentes. Son attention étant focalisée sur cette contrainte et sur l'élément de solution "réusinage", cela lui permet de déterminer que deux tours différents sont nécessaires.

Ce nouvel élément de solution est évalué. Il ne respecte pas la contrainte déduite de rapidité du cycle de fabrication (un allongement de 2000 heures de travail est prévu), ni les contraintes construites de limitation du prix de revient et des risques encourus. L'élément de solution se révèle donc totalement inacceptable et la solution qui en est à l'origine (réalisation des pièces en ébauche) est rejetée.

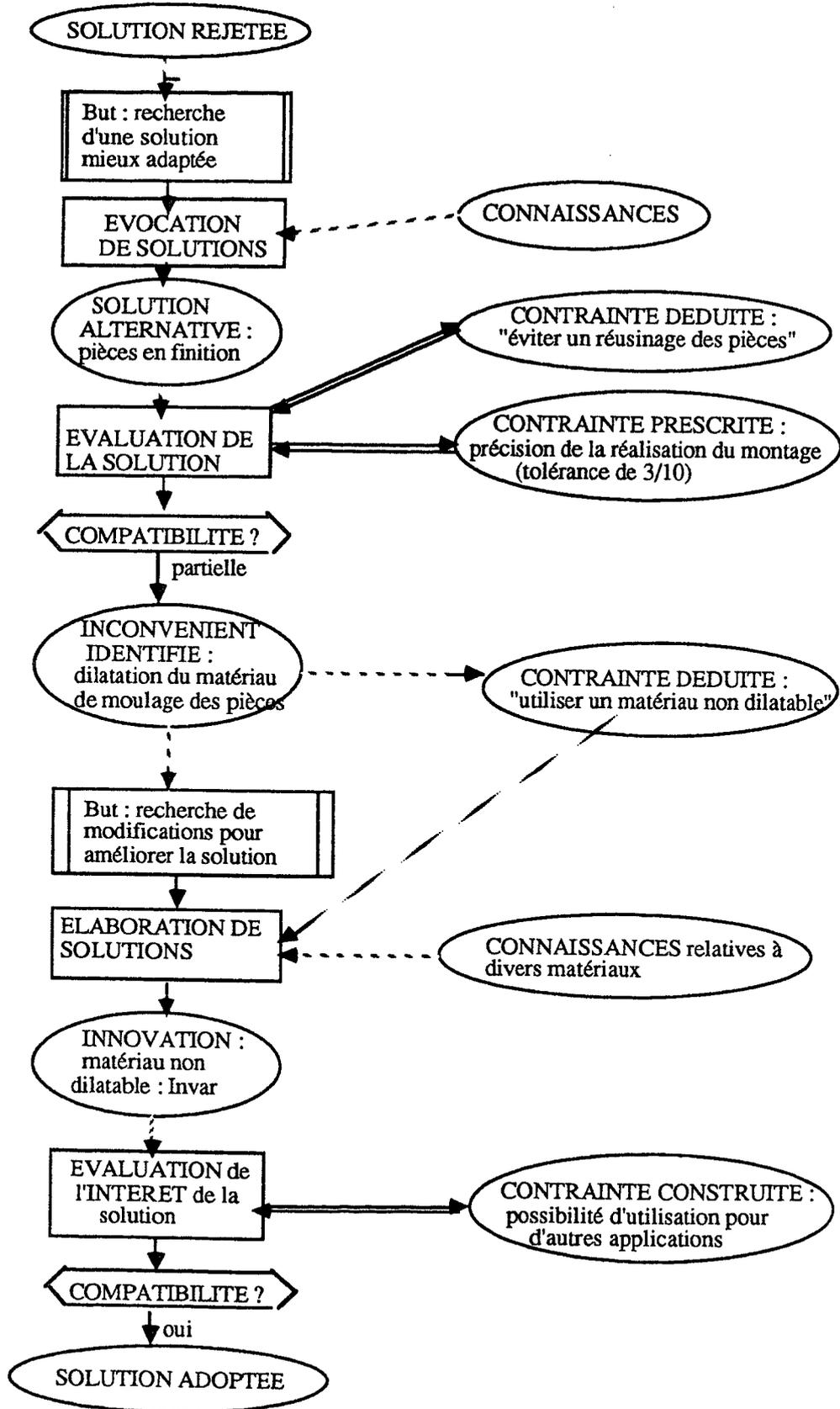


Figure 4 page 6

Une solution plus compatible avec les contraintes est recherchée. Des solutions sont évoquées et notamment la solution alternative à celle rejetée. La solution alternative à la réalisation de pièces "en ébauche" consiste en la réalisation de pièces "en finition".

Une évaluation de la solution alternative a lieu. Elle fait intervenir une contrainte déduite de l'état antérieur d'élaboration de la procédure ("éviter un réusinage des pièces"). La solution alternative apparaît comme respectant cette contrainte déduite mais comme incompatible avec la contrainte prescrite de précision de la réalisation. L'incompatibilité étant partielle, la solution est conservée, mais l'aspect relatif à la précision doit être amélioré.

Il en résulte la recherche par le concepteur d'éléments de solution susceptibles de pallier les inconvénients identifiés. Son attention se focalise sur l'origine de ces inconvénients. Il apparaît que les risques encourus proviennent d'une dilatation possible du matériau utilisé pour le moulage "direct" des pièces (il s'agit d'une technique induite par la solution "réalisation de pièces finies").

Le concepteur va, de ce fait, rechercher un matériau de moulage non dilatable - ce qui permettrait de respecter le critère prescrit de précision de la réalisation. Une innovation est alors proposée : utiliser un matériau dénommé Invar*.

L'intérêt présenté par cet élément de solution est évalué par le concepteur. Cette évaluation fait intervenir des contraintes construites telles que la possibilité d'une utilisation pour d'autres applications. L'élément de solution respecte une telle contrainte (ex : utilisation possible de l'Invar pour constituer les bordures), aussi est-il adopté.

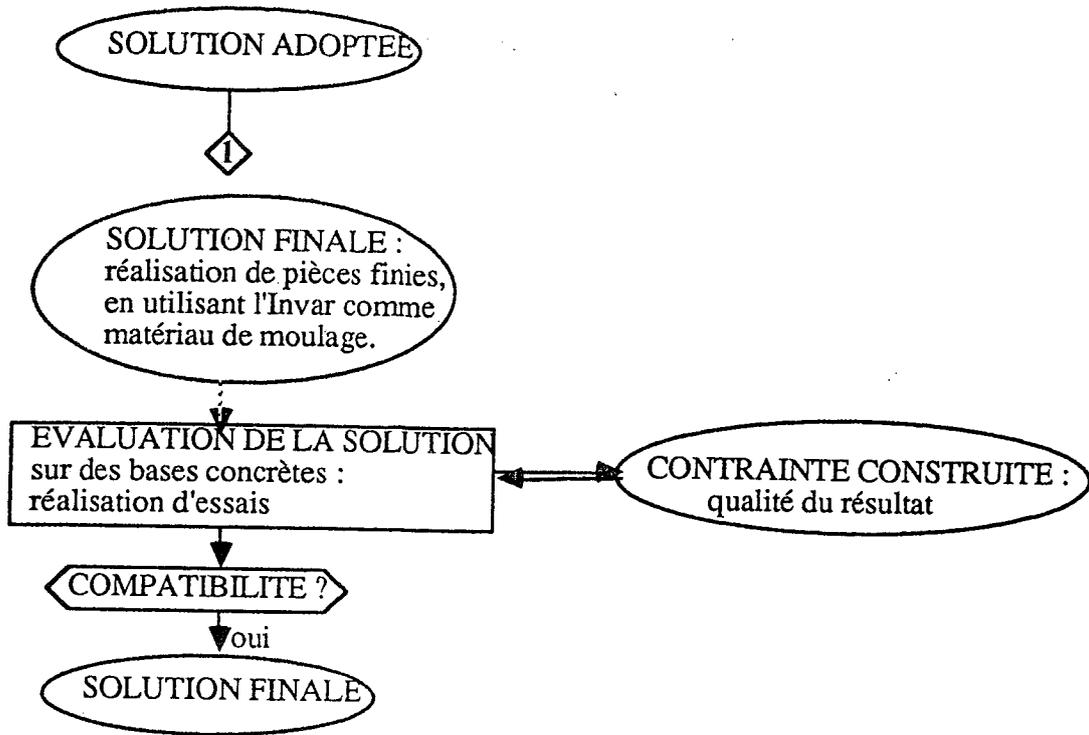


Figure 4. Illustration de la démarche du concepteur

Légende :

OBJET

TRAITEMENT

TEST

But

- - - - relie objet et traitement (ou poursuite de but) qu'il déclenche
- > relie traitement (ou but) et son résultat
- ↔ appel et sélection
- ◇ test spécifié dans le texte

Le concepteur détermine alors si l'élaboration de la procédure est terminée ou non (test 1). La réponse étant affirmative, le concepteur décide alors d'évaluer la procédure, sur des bases concrètes. Pour cela, des essais sont réalisés (34 pièces d'essai sont constituées au cours de pré-séries).

Cette évaluation aboutit à un jugement d'acceptabilité - car le résultat obtenu est conforme à celui escompté. Le problème de conception est donc considéré comme résolu.

CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons cherché à appréhender l'activité évaluatrice mise en oeuvre par un expert en conception de procédures pour la réalisation de pièces. Nous avons constaté, malgré les limites propres à notre méthode de recherche, que son rôle semble s'exercer en permanence et, par certains aspects, être prépondérant. Nous avons, en effet, montré que:

- L'élaboration de la solution s'effectue en interaction continue avec l'évaluation de la solution.
- La solution finale est élaborée progressivement, par adjonction d'éléments de solution successifs. Avant d'adopter un élément de solution, le concepteur l'évalue. Cette évaluation aboutit à un constat de respect - ou non - des contraintes fixées. Il en résulte un jugement d'acceptabilité de l'élément de solution et une orientation de l'attention du concepteur vers des éléments de solution plus spécifiques. Cela permet au concepteur de poursuivre l'élaboration de la solution ou de compléter l'évaluation de l'élément de solution en se référant à de nouvelles contraintes. La conception de la procédure s'effectue donc pas à pas, de façon opportune par rapport à l'état d'élaboration de la solution et en fonction de la focalisation de l'attention du concepteur sur certains de ses aspects. Cette orientation de l'attention est, en partie, induite par l'activité évaluatrice mise en oeuvre par le concepteur. L'évaluation de solutions dirige donc, au moins partiellement, la résolution de problèmes de conception.

Dans un modèle de type Blackboard, l'activité évaluatrice et ses résultantes sont régies par le module de "contrôle". Il sélectionne - entre autres - des sources de connaissances que l'on peut qualifier "d'évaluation", étudiées ici sous le terme de "contraintes", auxquelles l'évaluation a recours compte tenu des caractéristiques des solutions à évaluer.

Les indications que nous avons ainsi apportées sur le fonctionnement du module de contrôle pourraient être approfondies et complétées en s'intéressant à l'ensemble des sources de connaissances qu'utilise le concepteur. Peut-on distinguer différents types de sources de connaissance (des sources de connaissances d'évaluation, des sources de connaissances plus ou moins générales...) Quelle est leur nature? A quel moment et comment se constituent-elles? Quelles sont leur structure et leur organisation de stockage? Sur quelles bases s'opère leur sélection par le module de contrôle i.e. existe-t-il, au niveau du module de contrôle, des "méta-connaissances" qui régissent cette sélection?

Autant d'interrogations subsistent et peuvent susciter de nouvelles recherches. De plus, des problèmes d'accessibilité aux sources de connaissance et de techniques permettant leur approche et leur recueil se posent (Cf. Visser et Falzon, 1988; Visser et Morais, 1988) et pourront donner lieu à de nouvelles propositions.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bisseret, A., Figeac-Létang, C., Falzon, P. Modélisation de raisonnements opportunistes : L'activité des spécialistes de la régulation des carrefours à feux. Psychologie française, N° Spécial "Psychologie de l'expertise", 1988, 33-3, 161-169.
- Bisseret, A. Les activités de conception et leur assistance. Bulletin de Liaison Recherche en Informatique et en Automatique, 1987, 2-12.
- Hayes-Roth, B. The Blackboard Architecture : a General Framework for Problem Solving? (Report N° HPP-83-30). Stanford: Stanford University, Computer Science Department, 1983.
- Nii, H.P. Blackboard systems : Part one : The blackboard model of problem solving and the evolution of blackboard architectures. The AI Magazine, 1986 a, 7, 38-53.
- Nii, H.P. Blackboard systems : Part two : Blackboard application systems, blackboard systems from a knowledge engineering perspective. The AI Magazine, 1986 b, 7, 82-106.
- Visser, W. Abandon d'un plan hiérarchique dans une activité de conception - Giving up a hierarchical plan in a design activity. Actes du colloque scientifique COGNITIVA 87 (Tome 1). Paris: Cesta, 1987, 366-371.
- Visser, W., Falzon, P. Analyse de l'expertise dans une activité de conception: la préparation de produits en matériaux composites (Projet de Psychologie Ergonomique). Rocquencourt: INRIA, 1988.
- Visser, W., Falzon, P. Recueil et analyse de l'expertise dans une activité de conception : questions de méthode. Psychologie française, N° Spécial "Psychologie de l'expertise", 1988, 33-3, 133-138.
- Visser, W., Morais, A. L'utilisation concurrente de différentes méthodes de recueil de données pour l'étude de l'activité de programmation. Psychologie française, N° Spécial "Psychologie de l'expertise", 1988, 33-3, 127-132.

ANNEXES

LEXIQUE DES INDICES

EVOCATION D'UNE SOLUTION "STANDARD"/"PROTOTYPIQUE"

-FORMULATION EXPLICITE: "solutions de facilité"

"l'une des solutions de facilité qui venait tout de suite à l'esprit..."

-INDICES TEMPORELS: imparfait

"qui venait à l'esprit"

"c'était de dire"

"on les collait ensemble"

"on faisait un rivetage"

"c'était pour moi de draper sur un poinçon ...sur une forme , sur une bosse "

passé antérieur

"les membres du bureau d'études avaient prévu..."

"à l'origine"

EVOCATION DE PLUSIEURS SOLUTIONS POSSIBLES

- FORMULATION EXPLICITE: "autres solutions".

"il y avait d'autres solutions..."

EVOCATION DE SOLUTIONS ALTERNATIVES

PARMI LES SOLUTIONS ALTERNATIVES:

-ÉLIMINATION OU REJET D'ÉLÉMENTS ET REMPLACEMENT PAR DES ÉLÉMENTS DIFFÉRENTS.

FORMULATION EXPLICITE: "au lieu de (d'avoir)...je...(il suffirait de...)", "sachant que... tout de suite vers...", "à la place de...je mets (il suffit de mettre)...", "...

"je me suis dit: au lieu de coller des bagues avec des surépaisseurs...je colle des bagues à la côte finie"

"sachant que cette solution était trop lourde, en métallique, les bureaux d'études se sont penchés tout de suite vers des solutions composites."

"je disais: à la place de lames comme ça, je mets des lames souples, en ressort..."

"on peut peut-être, supprimer les pavés thermiques ...et à la place de ça, il suffit de mettre des couches de tissus de verre..."

" au lieu d'avoir des pavés thermiques sur tous les outillages , il suffirait d'avoir un seul matelas thermique pour tous les outillages... "

- CONSIDÉRATION DE LA SOLUTION INVERSE.

FORMULATION EXPLICITE: "je me (vous) dis l'inverse"

"Dans le premier cas , on collait les bagues en comprimant ...Moi , je me dis l'inverse, je me dis :je fais un outil..."

"Dans le 1er cas ...on mettait de l'adhésif...et on resserrait puisqu'on ne pouvait plus le mettre après...tandis que moi , je vous dis l'inverse, je dis : l'adhésif , je ne le mets pas pour l'instant "

EVOCATION DE "NOUVEAUX" ELEMENTS DE SOLUTION

- FORMULATION EXPLICITE: "trouver une solution", "concevoir", " alors, j'ai fait, j'ai dit..."(en tant qu'aboutissement d'une réflexion), "j'ai recherché...", "je cherchais ce que..."

- INDICE TEMPOREL:

- le passé composé

"ils ont trouvé une solution..."

- le passé composé suivi du présent

"on a expliqué notre point de vue au bureau d'études...qui a dit: o.k., on va dans ce sens-là...ça a obligé le bureau d'études à, concevoir..."

"alors, j'ai fait, alors, j'ai dit: je vais mettre un petit joint thorique..."

- le passé composé suivi de l'imparfait

évocation de la solution la plus simple: "

j'ai recherché la forme la plus facile pour draper ... c'était pour moi de draper sur un poinçon ...sur une forme , sur une bosse "

- l'imparfait suivi du présent

recherche "ouverte": *"au milieu, pour faire l'expansion, je cherchais ce que l'on pouvait mettre...il suffit de mettre un petit bloc caoutchouc un peu plus grand"*

REFORMULATION DE LA DEMANDE

FORMULATION EXPLICITE:"ce que le client demandait, les points principaux de ce qu'il demandait... "

"ce que le client demandait, les points principaux de ce qu'il demandait... c'était de donner au sylda une masse faible, au regard de la rigidité, il fallait qu'il soit suffisamment rigide, mais qu'il soit à la fois d'un poids très faible. Donc c'était garantir la croissance de la configuration sylda de référence, sans pénalisation excessive de masse"

SELECTION DES "DONNEES" DU PROBLEME CONSTITUTIVES DE CONTRAINTES

FORMULATION EXPLICITE: "en tenant compte des impératifs...", "il y avait des impératifs de ...", "il y avait une contrainte à ce niveau-là..", "il fallait respecter...", "le bureau d'études m'avait demandé si c'était possible de faire ça en ...", "il fallait que ce soit ...".

"la forme du Sylva ...devait être déterminée en tenant compte des principaux impératifs architecturaux suivants :... le volume disponible à l'intérieur de la coiffe ... l'encombrement donc des satellites, puis...les séquences de séparation , les séquences d'intégration , les critères de rigidité et de masses, la souplesse vis à vis des modifications donc les allongements, éventuellement, le positionnement et les dimensions des ouvertures ..."

"Il y avait des impératifs de parallélisme des cadres et un impératif de concentricité des cadres."

"il y avait une contrainte à ce niveau-là...il fallait respecter, impérativement et de façon assez précise, la largeur extérieure des ailes par rapport à l'épaisseur des sandwiches... il fallait également respecter...les diamètres"

"il y avait...deux sphères comme ça à faire et le bureau d'étude m'avait demandé si c'était possible de faire ça en polyester... les seules choses qu'ils me donnaient:...2 m de diamètre et il fallait que ça fasse à peu près 30 mn d'épaisseur... mais en monolithique "

"il fallait que ce soit très résistant donc c'est pour ça qu'ils s'étaient fixés une épaisseur de 30 mn ...ils m'avaient dit...que ça devait subir ... 50 tonnes de poussée c'est pour ça qu'il y avait derrière tout un bâti en acier ..qui était renflé au sol et ... qui retenait la sphère ... s'il y avait eu une poussée..."

DETERMINATION DES "DONNEES" DU PROBLEME NON CONSTITUTIVES DE CONTRAINTES

FORMULATION EXPLICITE: "ce n'était pas du tout une contrainte pour nous", "...dans ce cas-là, pour nous, n'était pas du tout une contrainte"

"il fallait regarder les *dimensions les plus grandes*...des éléments...c'est 2m800 section haute ou section basse de *diamètre*, et la *hauteur* environ 2m...il y a un poids...de l'ordre de 60kg mais *ce n'était pas du tout une contrainte pour nous*...le cône...un diamètre de 2m...et on avait une hauteur d'environ 1m."

"*en sandwich carbone...le poids*, ce sera le poids de l'outillage et pas le poids de la pièce...le poids dans ce cas-là, pour nous, *n'était pas du tout une contrainte*"

LEXIQUE DES TERMES TECHNIQUES

d'après VISSER, W. et FALZON, P.- Analyse de l'expertise dans une activité de conception : la préparation de produits en matériaux composites. Annexes du rapport INRIA. Avril 1988.

autoclave

moyen chauffant (par des résistances chauffantes)
permet de compacter les pièces sous pression, température et dépression

bague

syn. de bordure

bordure

bords sur un moule, en métal ou en bois, pour entourer une pièce en sandwich lors de l'assemblage

cadre

syn. de bordure

calandré

mis en épaisseur (film adhésif) -> poids au m² très faible

cocuisson

procédé de fabrication de la pièce

dural (lumin)

syn. d'aluminium

étuve

moyen chauffant
dans lequel on fait de la dépression

film

syn. d'adhésif
adhésif qui est calandré
un film adhésif peut être utilisé pour coller

invar

acier avec grand pourcentage de nickel dedans

matelas métallique

protecteur pour freiner l'apport de chaleur

poinçon

forme mâle

sandwich

structure de la matière de la pièce
dont le procédé peut être en classique ou en cocuisson

Sylda

système de lancement double Ariane

usinage

action d'usiner
pouvant être réalisé en ébauche et/ou en finition

usiner

façonner une pièce avec une machine-outil

9.
4.
3.
2.
1.

7.
6.
5.

8.

10.

11.

12.