



**HAL**  
open science

## Vers le couplage de la conception produit et de la planification projet via une approche par contraintes

Meriem Djefel, Élise Vareilles, Michel Aldanondo, Paul Gaborit

► **To cite this version:**

Meriem Djefel, Élise Vareilles, Michel Aldanondo, Paul Gaborit. Vers le couplage de la conception produit et de la planification projet via une approche par contraintes. JFPC 2008- Quatrièmes Journées Francophones de Programmation par Contraintes, LINA - Université de Nantes - Ecole des Mines de Nantes, Jun 2008, Nantes, France. pp.397-402. inria-00293713

**HAL Id: inria-00293713**

**<https://inria.hal.science/inria-00293713>**

Submitted on 7 Jul 2008

**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.

# Vers le couplage de la conception produit et de la planification projet via une approche par contraintes

M. Djefel, É. Vareilles, M. Aldanondo et P. Gaborit

Université de Toulouse - École des mines d'Albi-Carmaux - Centre Génie Industriel  
Route de Teillet, Campus Jarlard  
81013 Albi cedex 09  
{mdjefel, vareille, aldanondo, gaborit}@enstimac.fr

## Résumé

Cette communication présente les premières pistes de solutions relatives au développement d'un environnement d'aide à la décision en ingénierie visant à coupler des outils interactifs d'aide à la conception de produit avec des outils d'aide à la planification de projet. Nous entendons par couplage la possibilité de propager les décisions prises en conception sur la planification, et inversement de la planification vers la conception. Pour ce faire, l'aide à la conception et l'aide à la planification sont considérées comme des problèmes de satisfaction de contraintes ou CSP, ces derniers étant reliés par un ensemble de relations permettant la propagation des décisions prises de l'un vers l'autre. Dans cet article, nous nous intéressons plus particulièrement à la conception routinière ou configuration, pour laquelle les espaces de solutions de conception et de planification sont connus. Ce travail fait partie du projet ANR *ATLAS* débuté cette année.

Dans la première section, nous présentons la problématique du projet *ATLAS* ainsi qu'une piste de solution. Deux modèles de configuration basés sur des contraintes, un pour le produit et l'autre pour le projet, sont décrits respectivement dans la 2<sup>e</sup> et la 3<sup>e</sup> section. La dernière section, présente les premiers éléments de couplage entre ces deux modèles. Un exemple illustre nos propositions tout au long de cet article.

## 1 Introduction

Le but de cette communication est de présenter les premières idées relatives au développement d'un système interactif permettant simultanément de configurer un produit et de planifier sa réalisation. Cette pro-

blématique constitue les premiers travaux d'un projet soutenu par l'ANR dénommé **ATLAS** (pour **A**ides et **ass**is**T**ances pour la conception, la conduite et leur **coupl**age par les **conn**Aissance**S**) qui vise à développer un environnement logiciel *open source* capable d'assister les industriels lors de la conception simultanée du produit et de son projet de développement associé.

Plusieurs auteurs comme [13, 3] ont démontré que la configuration de produit pouvait être considérée comme un problème de satisfaction de contraintes ou CSP (*Constraints Satisfaction Problem*). De même, des auteurs comme [4, 6] ont démontré que la planification de projet pouvait également être traitée par certaines extensions des CSP dites temporelles (TCSP). L'idée d'associer ces deux problèmes constitue la base de nos travaux dans le but de pouvoir propager d'une part, les conséquences des décisions de conception sur la planification, et d'autre part les décisions de planification sur la conception. Il n'existe pas à notre connaissance de travaux ayant documenté cette problématique mis à part [12] et [1].

L'association de ces deux modèles est illustrée sur un exemple simple : un modèle réduit de bateau à voile respectant la jauge internationale des bateaux de « classe un mètre »<sup>1</sup>. Cet exemple est utilisé pour la validation préliminaire de notre approche. Le modèle de configuration résultant est composé de deux parties interconnectées. La première partie correspond à la configuration du bateau lui-même et la seconde à la configuration de son projet de réalisation.

<sup>1</sup><http://www.iomclass.org/class-rules>

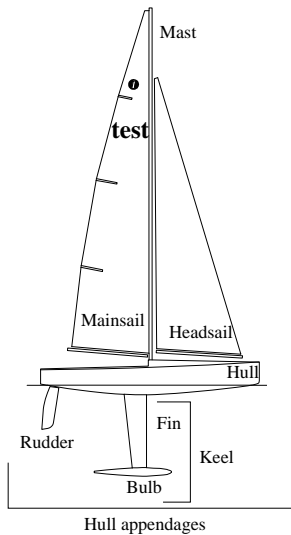


FIG. 1: Exemple du bateau à voile

Le but de cet article est donc de présenter une approche globale permettant de traiter par des contraintes la configuration produit couplée à la planification projet. Le reste de l'article est organisé comme suit :

- tout d'abord, nous documentons le modèle de configuration du bateau,
- ensuite, nous décrivons le modèle permettant la planification du projet de réalisation,
- enfin nous proposons les premiers éléments permettant d'associer ces deux modèles et illustrons leur mise en œuvre par deux modes d'utilisation possibles.

## 2 Modèle de configuration du bateau vu comme un CSP

Nous présentons ici les différents composants du modèle de bateau pris en compte lors de la configuration produit. Le modèle est décrit sous la forme d'un CSP exposant les différentes variables décrivant ce bateau et les contraintes nécessaires qui les relient.

Une cinquantaine de paramètres a été identifiée par les experts en conception de ce type de bateaux. Pour illustrer nos propos, nous nous concentrons sur un sous-ensemble de paramètres décrivant la coque et la dérive ainsi qu'au paramètre du poids global du bateau. La coque est caractérisée dans le modèle CSP du produit, entre autres, par :

- sa géométrie, modélisée par la variable discrète  $Geo-H$  dont le domaine est {"u-shape", "v-shape", "wide u-shape", "wide v-shape"},
- son poids (en grammes), modélisée par la variable

TAB. 1: Exemple de contraintes de compatibilités en conception

| $Geo-H$         | $Geo-F$           |
|-----------------|-------------------|
| "v-shaped"      | $\neq$ "large"    |
| "wide v-shaped" | $\neq$ "large"    |
| "u-shaped"      | "large"           |
| "wide u-shaped" | "large", "narrow" |

continue  $Weight-H$  dont le domaine appartient à  $\mathbb{R}^+$ ,

- sa matière, modélisée par la variable discrète  $Mat-H$ , dont le domaine est {"wood", "fiberglass", "FaS"}, où "FaS" correspond à *From a Supplier* (fournisseur),
- sa finition, modélisée par la variable discrète  $Finish-H$ , dont le domaine est {"V", "P", "C", "C and P"}, avec "V" pour *varnished* (vernée), "P" pour *painted* (peinte) et "C" pour *coated* (gelcoatée),

La dérive est caractérisée par :

- sa géométrie à laquelle on associe la variable discrète  $Geo-F$ , dont le domaine est {"narrow", "large"} (fine ou épaisse),
- et son la poids associé à la variable continue  $Weight-F$ , dont le domaine appartient à  $\mathbb{R}^+$ .

De plus, deux variables supplémentaires sont nécessaires pour la description du modèle produit en CSP :

- une variable continue, nommée  $Weight-Bo$ , correspondant au poids global du bateau et dont le domaine appartient à  $\mathbb{R}^+$ ,
- une variable continue, nommée  $Weight-Ba$ , correspondant au poids d'un lest optionnel, dont le domaine appartient à  $\mathbb{R}^+$ .

La combinaison de ces paramètres est limitée soit par des contraintes de conception, soit par la jauge qui impose un certain nombre de restrictions :

- Par exemple, il est évident pour les experts que, pour des raisons hydrodynamiques, il n'est pas recommandé d'associer une coque de forme petit-v ou grand-v avec une quille épaisse. On sait aussi que le poids de la coque est liée à sa géométrie et à son matériau.
- Pour pouvoir participer aux compétitions, nous devons respecter les règles de la jauge de la *classe un mètre*. Par exemple, il faut que le poids de la quille soit compris entre 2000g et 2500g et que le poids du bateau complet soit supérieur ou égal à 4000g. Si tel n'est pas le cas, du lest doit être ajouté pour alourdir le bateau et atteindre le seuil de poids minimal.

Pour des raisons de compréhension et de visi-

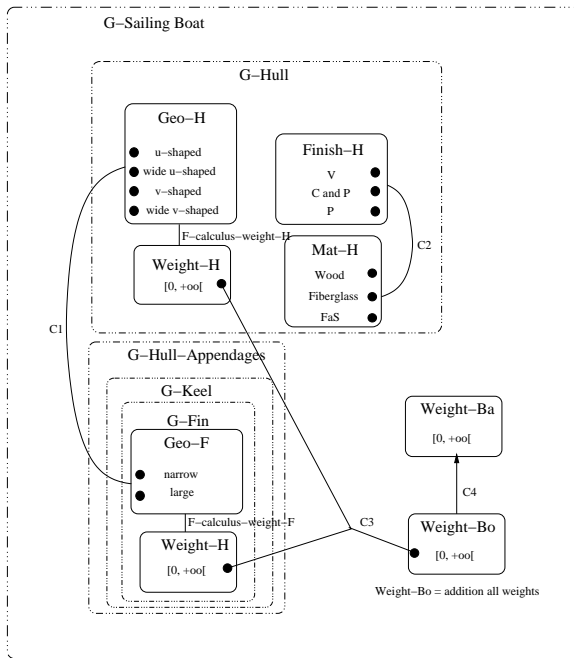


FIG. 2: Modèle CSP du bateau à voile

bilité, seuls les groupes correspondant au bateau *G-Sailing Boat*, à la coque *G-Hull*, aux appendices de coque *G-Hull-Appendages*, à la quille *G-Keel* et à la dérive *G-Fin* sont présentés en figure 2.

Les contraintes de compatibilité définissent les combinaisons de valeurs autorisées ou interdites des valeurs de paramètres. Les contraintes de compatibilité peuvent être décrites soit en extension par des tables de compatibilité (cf. contraintes *C1* et *C2* de la figure 2) ou en intention sous forme d'expressions logiques (cf. contraintes *C3*, *F-calculus-weight-F*, *F-calculus-weight-H* de la figure 2). Par exemple, la contrainte liant la géométrie de la coque *Geo-H* et de la dérive *Geo-F*, contrainte *C1*, est traduite par la table de compatibilité du tableau 1.

Les poids de la coque et de la dérive sont fonction de leur géométrie et sont calculés respectivement via les fonctions nommées *F-calculus-weight-H* et *F-calculus-weight-F*. Le poids global du bateau *Weight-Bo* correspond à la somme des poids de chacun de ses éléments :

$$Weight-Bo = \sum_{\text{éléments}} Weight$$

Pour prendre en compte le fait que certaines variables de conception peuvent être ajoutées au fil de la configuration du bateau (par exemple, le lest), il est indispensable de pouvoir exprimer que l'existence de certains éléments est conditionnelle. Pour ce faire, nous utilisons les contraintes d'activation,

introduites par [9] dans les CSP conditionnels. Ces contraintes permettent de contrôler l'existence ou l'absence de certaines variables dans la solution courante. Ces contraintes sont définies par deux parties : une prémisse et un conséquent liés par un opérateur d'implication. Si la prémisse est vraie, il y a application du conséquent et donc activation de certaines variables, sinon, le problème reste inchangé. Il faut donc spécifier lors de la création du modèle, les variables qui sont toujours à considérer (et qui appartiennent à toutes les solutions de configuration) et celles qui ne le sont pas toujours (celles dont l'existence dépend du problème courant). Par exemple, une contrainte d'activation contrôle l'existence ou non du lest dans la solution de configuration (contrainte *C4* de la figure 2), ce lest n'étant pas à prendre en compte au début de la configuration :

$$C4 : (Weight-Bo < 4000) \Rightarrow (Weight-Ba \text{ existe} \wedge Weight-Ba = 4000 - Weight-Bo)$$

### 3 Projet de réalisation vu comme un CSP

Environ 120 tâches entrent dans la réalisation d'un bateau à voile respectant la jauge de la *classe un mètre*. Ces tâches correspondent au développement (conception, fabrication, approvisionnement, assemblage) de la coque, des voiles, des appendices de coque et du mât.

Afin de limiter la complexité de la planification et de valider notre proposition, nous nous limitons, pour le moment, aux problèmes de planification à capacité infinie de ressources. Il est évident que cet aspect fera l'objet d'une étude plus poussée dans le cadre du projet *ATLAS*.

De manière similaire à la configuration du bateau, nous concentrons nos propos sur les tâches associées à la réalisation de la coque, comme illustré en figure 3. Dans notre exemple, la coque peut être soit approvisionnée, soit fabriquée *in situ*. Si tel est le cas, il faut donc commencer par dessiner ses plans puis fabriquer la coque dans le matériau choisi et enfin réaliser sa finition ("V", "P", "C" ou "C and P").

L'ensemble des configurations possibles est limité soit par des contraintes de réalisation, soit par des choix de fabrication.

La modélisation de ce problème sous forme d'un CSP implique que chaque tâche soit associée à trois variables continues représentant sa date de début, notée *pst*, sa date de fin, notée *pft*, ainsi que sa durée, notée *pdt*. Pour chaque tâche, ces trois variables numériques sont reliées entre elles par une contrainte continue, nommée **Calcul-dates**, qui stipule que la durée de la tâche est égale à la différence entre sa date de fin

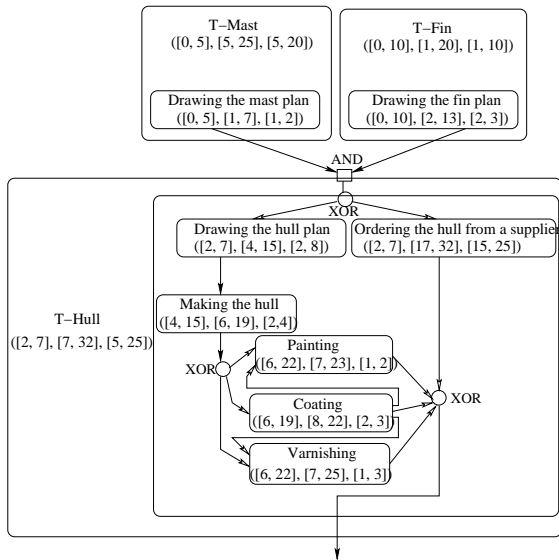


FIG. 3: Modèle CSP du projet

et sa date de début :  $pdt = pft - pst$ . Dans la suite de l'article, pour une tâche  $T$  donnée, nous noterons ces trois variables sous la forme  $T \cdot pst$ ,  $T \cdot pft$  et  $T \cdot pdt$ .

Dans notre exemple, 8 tâches doivent être définies :

1. la *réalisation du plan du mât*, nommée DRAWING THE MAST PLAN, pour laquelle  $pst \in [0, 5]$ ,  $pft \in [1, 7]$  et  $pdt \in [1, 2]$  (nous noterons dorénavant ce triplet de domaine de la manière suivante  $([0, 5], [1, 7], [1, 2])$ ),
2. la *réalisation du plan de la dérive*, nommée DRAWING THE FIN PLAN, avec  $([0, 10], [2, 13], [2, 3])$ ,
3. la *réalisation du plan de la coque*, nommée DRAWING THE HULL PLAN, avec  $([2, 7], [4, 15], [2, 8])$ ,
4. la *commande de la coque à un fournisseur*, nommée ORDERING THE HULL FROM A SUPPLIER, avec  $([2, 7], [17, 32], [15, 25])$ ,
5. la *fabrication de la coque*, nommée MAKING THE HULL, avec  $([4, 15], [6, 19], [2, 4])$ ,
6. le *vernissage de la coque*, nommée VARNISHING, avec  $([6, 22], [7, 25], [1, 3])$ ,
7. l'*application de gelcoat sur la coque*, nommée COATING, avec  $([6, 19], [8, 22], [2, 3])$ ,
8. la *peinture de la coque*, nommée PAINTING, avec  $([6, 22], [7, 25], [1, 3])$ ,

Pour structurer notre modèle, nous pouvons regrouper les tâches selon leur appartenance aux composants bateau. Pour des raisons de compréhension et de visibilité, seules les tâches correspondant au mât T-MAST, à la dérive T-FIN et à la coque T-HULL sont présentées en figure 3.

Les contraintes de compatibilité représentent des relations temporelles entre tâches exprimées par des contraintes continues entre les  $pst$ ,  $pft$  et  $pdt$ . Par des combinaisons logiques de contraintes numériques portant sur ces variables, nous pouvons exprimer des relations similaires aux primitives temporelles symboliques proposées par Allen [2] (avant, après, pendant, etc.). Elles peuvent s'appliquer aux dates de début, aux dates de fin et aux durées des tâches. Par exemple, le fait d'avoir besoin des plans de la dérive et de ceux du mât afin de pouvoir dessiner ceux de la coque s'exprime par le couple de contraintes numériques suivant :

$$\text{DRAWING THE MAST PLAN} \cdot pft \leq \text{DRAWING THE HULL PLAN} \cdot pst$$

$$\text{DRAWING THE FIN PLAN} \cdot pft \leq \text{DRAWING THE HULL PLAN} \cdot pst$$

Dans notre modèle, chaque flèche de la figure 3 correspond à une relation temporelle exprimée comme une contrainte numérique.

Afin de traiter l'existence ou non de tâches ou de groupes de tâches, il est nécessaire d'exprimer que cette existence dépend de conditions. Des études se sont déjà intéressées à ce problème et ont proposé la solution appelée CSP temporels conditionnels et composites (les CCTCSP de [11]) basée sur les CSP dynamiques proposés par [9]. Nous étendrons cette solution afin d'autoriser la modélisation de la durée d'exécution des tâches.

Dans notre modèle projet, afin de contrôler l'existence des tâches, nous utilisons les contraintes d'activation comme dans la section 2. Si une prémisse  $P(\dots)$  (une combinaison logique de variables) est vérifiée alors une tâche  $Y$  est activée et doit être prise en compte dans la solution : par exemple dans la figure 3, l'existence de la tâche PAINTING est conditionnée par la valeur "Painted" de la variable *Finish-H*. Donc de la même manière que dans [9] et [11], deux groupes disjoints de tâches sont définis dans le modèle :

- le groupe initialement actif (tâches toujours présentes dans la solution)
- et le groupe initialement inactif (tâches non présentes dans toutes les solutions).

## 4 Couplage des deux modèles

Le but de cette section est de présenter les liens existants entre le modèle de conception bateau et son modèle de projet de réalisation. Dans la première section, nous décrivons comment ces deux modèles peuvent être couplés. Et dans la seconde section, nous abordons les différentes façons d'utiliser cet outil de couplage afin de propager les décisions.

Près d'une trentaine de contraintes entre la conception et le projet ont été identifiées. Elles sont de deux

TAB. 2: Exemple de couplage par contrainte de compatibilité

| <i>Mat-H</i> | MAKING THE HULL · <i>pdt</i> |
|--------------|------------------------------|
| "wood"       | [2, 3]                       |
| "fiberglass" | [3, 4]                       |
| "FaS"        | <i>tâche inexistante</i>     |

types et participent à la réduction de l'espace des solutions possibles :

- le premier type est du à la faisabilité et aux aspects techniques des deux modèles. Par exemple, il existe une relation entre le matériau sélectionné pour la coque et la durée nécessaire à la fabrication de la coque : une coque en fibre de verre nécessite plus de temps qu'une coque en bois. La fabrication dure entre 3 et 4 unités de temps pour la fibre de verre contre 2 à 3 pour le bois. La contrainte de compatibilité liant *Mat-H* décrit en section 2 et *pdt* de la tâche MAKING THE HULL décrit dans la section 3 est définie par le tableau 2. Cette durée dépend aussi du choix d'une fabrication sur place ou au contraire d'une commande à un fournisseur.
- le second type est quant à lui du aux choix faits par le client pour la conception du bateau et pour le projet de réalisation. Par exemple, si le client veut que la coque soit gelcoatée puis peinte, les tâches COATING et PAINTING vont être activées et la tâche T-HULL sera mise à jour. Cette contrainte d'activation est décrite comme suit :

$$\begin{aligned} \textit{Finish-H} &= \text{"C and P"} \\ &\Rightarrow \text{COATING existe} \wedge \text{PAINTING existe} \end{aligned}$$

L'aide à la conception interactive consiste à réduire peu à peu le domaine de définition des variables appartenant soit au modèle de conception soit au modèle de projet. Chaque réduction d'un domaine de variable est propagée aux domaines des autres variables à travers le réseau de contraintes (en retirant de ces domaines les valeurs devenues incompatibles). Ce mécanisme répété plusieurs fois, va progressivement restreindre l'espace des solutions ; ainsi on peut atteindre simultanément une solution dans les deux modèles.

L'aide à la conception devenant interactive, nous pouvons appliquer les techniques de filtrage de la programmation par contraintes :

- Les tables de compatibilité, telles les tables 1 et 2, sont filtrées en utilisant l'**arc-consistance** [8, 5].
- Les fonctions mathématiques sont filtrées par **2B-consistance** [7] en utilisant l'arithmétique des intervalles [10].

La propagation et le filtrage par les contraintes

n'étant pas orientés, le modèle général de configuration peut être utilisé suivant deux modes opératoires (ou même en combinant ces deux modes). Le premier appelé *mode configuration produit* consiste en l'introduction de restrictions sur les variables de conception dans le but de configurer le produit et de déterminer les tâches nécessaires à sa réalisation. Le second mode, appelée *mode configuration projet* consiste à introduire de manière interactive des restrictions sur les variables non-négociables de la conception et des limites sur les *pst*, *pft* et *pdt* afin de déduire les valeurs des variables négociables de conception.

## 5 Conclusion

Le but de cet article était de présenter les premières idées concernant une problématique de couplage de la conception de produit avec la planification de projet à l'aide d'une approche par contraintes. Ces travaux étant préliminaires, nous avons restreint le cadre de cet article au cas de la configuration.

Nous avons ainsi présenté dans un premier temps les éléments de modélisation à base de contraintes supportant la configuration de produit et la planification de projet en ne considérant que des contraintes temporelles de précedence entre tâche.

Ces premières idées ont été illustrées sur un exemple de configuration d'une maquette de bateau à voiles. Nos travaux seront élargis au fil du projet *ATLAS* à des problèmes de conception moins routiniers.

## Références

- [1] M. Aldanondo, E. Vareilles, C. Baron, and Y. Lahmar. Product Development and Project Management : towards a Constraint Based Approach. In *International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 07*, Beijing, China, 2007. Tsinghua University Press, ISBN : 978-7-89486-439-0.
- [2] J. Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. *Communication of the ACM*, 26(11) :832–843, 1983.
- [3] R.D. Coyne, M.A. Rosenman, A.D. Radford, and M. Balachandran. *Knowledge-Based Design Systems*. Addison-Wesley, 1990.
- [4] R. Dechter, I. Meiri, and J. Pearl. Temporal Constraint Satisfaction Problems. *Artificial Intelligence*, 49 :61–95, 1991.
- [5] B. Faltings. Arc consistency for continuous variables. In *Artificial Intelligence*, volume 65, pages 363–376, 1994.

- [6] F. Focacci, P. Laborie, and X. Nuijten. Solving scheduling problems with setup times and alternative resources. In *5<sup>th</sup> International Conference on Artificial Intelligence Planning and Scheduling*, pages 92–101, 2000.
- [7] O. Lhomme. Consistency techniques for numeric CSP. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pages 232–238, Chambéry, France, Août 1993.
- [8] A.K. Mackworth. Consistency in networks of relations. In *Artificial Intelligence*, volume 8(1), pages 99–118, 1977.
- [9] S. Mittal and B. Falkenhainer. Dynamic constraint satisfaction problems. In *AAAI*, pages 25–32, Boston, US, 1990.
- [10] R.E. Moore. *Interval Analysis*. Prentice-Hall, 1966.
- [11] M. Mouhoub and A. Sukpan. A New Temporal CSP Framework Handling Composite Variables and Activity Constraints. In *17th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'05)*, pages 143–149, Hong-Kong, november 2005.
- [12] D. Stewart and D. Tate. Integration of Axiomatic design and Project planning. In *First International Conference on Axiomatic Design*, pages 285–289, Cambridge, 2000.
- [13] E. Tsang. Foundations of constraints satisfaction. In *Academic Press*, London, 1993.