



**HAL**  
open science

# La programmation par contraintes sur les chantiers de construction

Thierry Benoist

► **To cite this version:**

Thierry Benoist. La programmation par contraintes sur les chantiers de construction. Troisièmes Journées Francophones de Programmation par Contraintes (JFPC07), Jun 2007, INRIA, Domaine de Voluceau, Rocquencourt, Yvelines France. inria-00150705

**HAL Id: inria-00150705**

**<https://inria.hal.science/inria-00150705>**

Submitted on 31 May 2007

**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.

# La programmation par contraintes sur les chantiers de construction

---

Thierry Benoist

Bouygues e-lab

32 avenue Hoche, 75008 Paris

tbenoist@bouygues.com

La planification de tâches sur un chantier de construction est un exemple typique d'application de la programmation par contraintes, popularisé par l'exercice classique du "pont" [1] auquel peu d'étudiants en PPC ont échappé. Dans le contexte de la construction d'immeubles résidentiels cette problématique de planification reste essentielle que l'on considère les tâches du gros oeuvre (le coulage des murs en béton) ou les interventions des multiples sous-traitants des corps d'états secondaires (plomberie, électricité, carrelage, peinture?). Par ailleurs d'autres sujets méritent l'attention du chercheur opérationnel comme la minimisation du matériel nécessaire au chantier ou le calcul d'un plan de rotation de ce matériel optimisant l'utilisation de la grue. Sur tous ces thèmes, le e-lab de Bouygues SA collabore depuis plus de dix ans avec le bureau des méthodes de Bouygues Bâtiment. Les logiciels issus de ce partenariat sont utilisés quotidiennement par les ingénieurs méthodes et font appel de manière plus ou moins centrale à la programmation par contraintes. Les quatre principaux problèmes d'optimisation rencontrés sont les suivants.

## 1 Calcul du "cycle"

La construction d'immeubles résidentiels comprend une succession de cycles de construction similaires, correspondant à chaque étage. Le calcul des cycles est effectué de manière à lisser la charge de travail effectuée chaque jour, calculée en linéaire de murs. Cette affectation d'un mur à chaque jour doit respecter des contraintes de fenêtre temporelle, de précedence, de synchronisation ou d'exclusion mutuelle. Les fenêtres temporelles sont directement issues du planning des planchers, un mur ne pouvant être réalisé qu'une fois que le plancher qui le supporte est terminé (et sec) et

devant nécessairement être terminé avant la pose du plancher supérieur. Les contraintes de précedence sont liées à la configuration géométrique des murs les uns par rapport aux autres. De même, des murs proches doivent nécessairement être réalisés en des jours différents afin de pouvoir positionner les coffrages sans encombre. Enfin certaines paires de murs parallèles (joints de dilatation) doivent nécessairement être réalisées sur deux jours consécutifs. L'originalité de cette application réside dans son utilisation par l'ingénieur méthode. Au lieu de générer directement une solution, l'application offre à l'ingénieur méthode la possibilité de prendre les décisions les unes après les autres, en constatant à chaque fois les conséquences de ses choix sur les domaines des autres murs. C'est ce mode, dans lequel l'utilisateur effectue en quelque sorte lui-même sa recherche arborescente, qui est le plus apprécié car il permet de contrôler finement le planning obtenu.

## 2 Stock minimal de matériel de coffrage

Une fois calculé le cycle de construction (affectation d'un jour à chaque mur), il s'agit de définir le stock minimal de matériel de coffrage nécessaire à la réalisation du chantier, sachant que ce parc commandé en début de chantier n'évoluera pas au cours de la réalisation. L'entrepreneur dispose d'un certain parc de matériel de coffrage constitué de divers modèles de coffrages verticaux appelés « banches », de différentes longueurs, qui s'assemblent entre eux pour former le coffrage au sein duquel le mur sera coulé. Il faut choisir pour chaque mur un assemblage de tels modèles permettant sa réalisation, en respectant certaines contraintes de longueur (le train de banches proposé doit avoir une longueur comprise dans un intervalle dépendant de la géométrie du mur) et de stabilité (cer-

tains modèles sont peu stables et doivent être couplés à des modèles équipés de béquilles). Pour minimiser le stock nécessaire, il faut naturellement construire pour chaque mur des solutions qui amènent à utiliser chaque jour un jeu de coffrages similaire. Par ailleurs, il faut éviter d’avoir trop de grands modèles inutilisés certains jours car ils risquent d’encombrer le chantier. La PPC peut ici être employée soit pour modéliser l’ensemble du problème dans le cadre d’une heuristique constructive soit pour générer pour chaque mur l’ensemble des solutions possibles dans le cadre d’une décomposition de Dantzig-Wolfe.

### 3 Plan de rotation des coffrages

Si la minimisation du stock ne dépend que du nombre de modèles de chaque type de coffrage affectés à chaque mur, l’assemblage sur un mur des modèles choisis a de l’importance vis-à-vis de l’utilisation de la grue, ressource critique du chantier. En effet si deux coffrages sont voisins deux jours consécutifs, alors la grue pourra les transporter ensemble d’un mur à l’autre, gagnant ainsi un temps précieux. Ceci nécessite de résoudre un problème d’optimisation d’accouplements, déterminant pour chaque banche la liste de ses positions successives (mur + position sur ce mur) de manière à maximiser le nombre de fois où deux banches voisines sont à nouveau voisines à leur positions suivantes, c’est à dire le nombre de fois où l’on économise une jonction. Nous utilisons pour résoudre ce problème une recherche locale inspirée de [2] à base d’insertion/éjection de couples (paire de coffrages déplacés ensemble par la grue).

### 4 Planification des corps d’état secondaires

Une fois terminé le gros oeuvre de la construction auquel se rapportaient les problèmes précédent, vient la phase dite des corps d’état secondaires qui fait intervenir de multiples sous-traitants : plombiers, carreleur, peintre, etc. La planification des quelques 2000 tâches de cette phase est critique pour le respect des délais de livraison de l’immeuble. Outre sa taille, ce problème de planification sous contrainte de ressource a quelques propriétés intéressantes. Chaque tâche a un certain volume (par exemple des m<sup>2</sup> de parquet) qui peut se répartir sur plusieurs jours. Ce modèle permet d’avoir une granularité à la journée pour les précédences, tout en évitant d’arrondir par excès toutes les durées de tâches. Certains appartements étant identiques, le graphe de précedence présente un certains nombre de patterns qui se répètent. En outre, à chaque appartement est associée une ressource “espace” qui

sert à modéliser l’impossibilité pour 3 sous-traitants différents de travailler en même temps dans un studio par exemple. Par ailleurs à tout moment les tâches d’un même sous-traitant ne peuvent être réparties sur plus de n étages. Enfin, il importe d’éviter au maximum les jours sans travail dans l’emploi du temps d’un sous-traitant.

### Références

- [1] P. Van Hentenryck (1989). *Constraint Satisfaction in Logic Programming*. MIT Press.
- [2] M. Vasquez (2002). *Arc-consistency and tabu search for the frequency assignment problem with polarization*. In CP-AI-OR’02, pp 359-372. Le Croisic, France.