

**Guy CHARDIN**

SARET France

---

**La Prédalle précontrainte  
Mise en place d'un procédé  
flexible de fabrication**

## RESUME

L'intégration des différentes phases de la fabrication des composants de gros oeuvre du bâtiment permet d'utiliser pleinement le potentiel de l'informatique et de la robotique.

L'exposé ci-après décrit un procédé flexible de fabrication industrialisée de prédalles précontraintes par armatures adhérentes. Après avoir décrit le produit et les contraintes de l'environnement de celui-ci dans un bâtiment, il est montré le processus de fabrication de la prédalle à partir de la réception par le bureau d'études de l'usine des plans de l'ingénieur conseil jusqu'à la livraison de celle-ci sur le chantier.

Toute la chaîne informatique, réception des plans, plans de calepinage des prédalles, calculs divers, permettant la génération d'une base de données des produits est décrite.

A partir de cette banque de produits, le service coordination gère en temps réel les fabrications, les bons de livraisons, et élabore les ordres de commandes destinés aux diverses machines automatiques de fabrication -traceur sur banc et distribution du béton-.

Il est montré que l'on peut parfaitement produire industriellement des prédalles "à la demande" de manière performante grâce à l'utilisation de la robotique dans une usine de fabrication de composants de planchers en béton.

The integration of the different manufacturing phases of main frameworks components in building allows to entirely exploit the potential of data processing and robotics.

The paper, hereafter red, describes a flexible and industrialized manufacturing process of concrete floorslabs, prestressed by bonded wires.

After description of the component and of the environment constraints it has to meet with in the structure, we show the process of pre slab manufacturing from receipt of drawings remitted by the consultant to the factory studies department to delivery of products on site. For instance, the whole data processing chain, the drawings receipt, the drawing of pre slabs distribution on the bed and various calculations allowing generation of a data base are described.

From this data base, the department in charge of coordination deals, in real time, with manufacturings, delivery bills and works out commands to the different automatic manufacturing machines like :

- plotter on the manufacturing bed,
- concrete distributor.

It is then proved that we can perfectly industrially produce prestressed pre slabs "upon request" at an optimum capacity by using robotics in a production unit of floor concrete components.

oo

## La Prédalle précontrainte

Mise en place d'un procédé flexible de fabrication

oo

### 1 - INTRODUCTION

-----

On peut fabriquer aujourd'hui industriellement des composants du bâtiment qui s'adaptent à la variété architecturale. On imagine aisément que l'intégration des différentes phases de la fabrication de ces composants permet d'utiliser pleinement le potentiel de la robotique.

Cette technologie nouvelle semble être la plus prometteuse dans un système fermé, comprenant la planification, les calculs, la préfabrication et la mise en oeuvre.

Ce raisonnement oriente facilement vers des composants préfabriqués standardisés. Mais ces composants, nous le sentons, ne sont pas adaptés au marché diffus de petits bâtiments à usage de logements ou des bâtiments qui sont la généralité de la construction.

Aussi le fabricant de composants doit s'adapter avec des produits non standards à la variété des bâtiments. Cette fabrication est possible aujourd'hui à des coûts raisonnables en faisant largement appel aux robots et aux techniques nouvelles développées sur les ordinateurs.

Nous illustrerons notre propos en décrivant un procédé flexible de fabrication mis au point par SARET et utilisé dans le groupe PPB.

Le produit objet de cet exposé est un composant de plancher "la prédalle précontrainte par armatures adhérentes".

Mais ce procédé s'ouvre à toute variété de produits précontraints, des poutrelles, des dalles finies, des planchers alvéolés, des linteaux, des piquets etc, en changeant simplement le matériel de bétonnage.

### II - DESCRIPTION du PRODUIT - CONTRAINTES de l'ENVIRONNEMENT

-----

Le plancher à prédalles, ou plancher composite comprend une plaque en béton précontraint ou "Prédalle" sur laquelle on coule du béton in situ. L'épaisseur de la prédalle varie de 5 à 7 cm en général. La largeur maximale correspond au gabarit routier de 2,50 m, elle peut être fabriquée en largeur variable. La portée varie couramment de 2 à 8 mètres. La prédalle est un coffrage perdu auto résistant. la sous-face est lisse, et peut recevoir une finition de peinture ou un isolant.

Le plancher à prédalles, grâce à sa technique de fabrication s'intègre parfaitement à tous les partis constructifs. Il est utilisé sur des structures en béton, préfabriquées ou coulées en place ou sur des structures en acier. Grâce à ses performances, il est utilisé aussi bien pour le logement que pour les écoles, bureaux, usines, parking, etc... La prédalle est apparemment un composant simple, dans la réalité elle est complexe. Chaque prédalle n'est pas standard, mais spécifique à une zone bien précise d'un chantier, même si on respecte une coordination dimensionnelle, et parfois elle est unique pour un chantier considéré.

La prédalle se définit :

#### 1. Par sa géométrie

Ses caractéristiques dimensionnelles sont déterminées en fonction de la définition du niveau à couvrir. Le découpage des prédalles se fait en tenant compte de dimensions préférentielles, ainsi que d'éléments singuliers tels que trémies ou décrochements.

#### 2. Par ses caractéristiques résistantes

Le calcul déterminera l'épaisseur de la prédalle, le nombre d'armatures de précontraintes théorique, le nombre d'armatures passives complémentaires éventuelles, le nombre d'étais nécessaires à la pose.

#### 3. Par ses fonctions annexes

La prédalle intègre dès la fabrication le positionnement et la mise en place de plots destinés au passage de gaines ou de tuyauteries pour le second oeuvre. Elle peut également recevoir des panneaux isolants en sous-face pour assurer l'isolation thermique. Elle reçoit en plus des crochets de levage qu'il est nécessaire de positionner par le calcul.

Aussi pour offrir un maximum de liberté et de services au concepteur, à l'entrepreneur, aux intervenants de second oeuvre, le fabricant de composants se doit d'intégrer une grande variété de définitions de ses produits.

- Variété de caractéristiques dimensionnelles. Le niveau de plancher à couvrir pouvant revêtir les formes rectangulaires, trapézoïdales et jusqu'à circulaires.
- Variété dans les réservations telles que trémies, décrochements.
- Variété dans les caractéristiques résistantes, portées et charges. Respect et évolution de la réglementation.
- Variété dans les positionnements des crochets de levage, et des plots pour les intervenants de second oeuvre.
- Variété dans les fonctions d'isolation.

La diversité du produit, la volonté de répondre rapidement et avec fiabilité, la volonté de réduction des charges de fabrication, nous mène naturellement à l'informatique et à l'automatisation des processus de production.

### III - PRINCIPES de DEVELOPPEMENT

---

A l'origine du développement de l'informatique, on trouve la satisfaction des besoins de calcul par les bureaux d'études. La satisfaction de ces besoins et les contraintes réglementaires ont amené le développement de logiciels permettant de définir de manière automatique les seules caractéristiques résistantes.

Une évolution dans le développement de l'automatisation des bureaux d'études est l'introduction des fonctions de saisie graphique et de dessin automatique. Le développement de ce type de logiciel apporte la définition des caractéristiques dimensionnelles du produit ainsi qu'une définition de ses fonctions annexes.

Aujourd'hui le bureau d'études des usines produit de manière souple et performante une définition exhaustive de chaque produit unitaire. La production de cette information lui est utile et est restituée sous forme de dessins automatiques de plan de pose et de feuillets descriptifs destinés à la fabrication et nommés "calepins prédalles". L'ensemble de ces informations est centralisée dans une base de données de définition des produits. Chaque service en aval du Bureau d'Etudes viendra puiser son information dans cette base de données.

### IV - DESCRIPTION du PROCEDE

---

#### 1. La Fonction études

Le bureau d'études a pour mission essentielle d'établir le plan de mise en oeuvre et de définir les produits prêts à être fabriqués. Il exécute pour cela deux documents :

- le dessin du plan de pose destiné à l'entreprise,
- les dessins des descriptifs de chaque produit ou calepins destinés à la fabrication.

Cette fonction est bien sûr largement automatisée.

Le bureau d'études reçoit soit un plan d'architecte, soit un plan de coffrage établi par un ingénieur conseil.

Le plan est saisi sur clavier écran ou sur écran graphique. Pour chaque niveau de bâtiment étudié, à partir des données géométriques et des systèmes de charge les logiciels :

- calculent les armatures de précontrainte des diverses zones suivant la réglementation,
- calculent toutes les armatures complémentaires éventuelles,
- découpent les zones en prédalles de dimensions préférentielles en tenant compte des éléments singuliers, trémies, décrochements, puissance de la grue,

- éditent le métré sur imprimante,;
- dessinent le plan de préconisation de pose pour l'entreprise avec sa nomenclature,
- dessinent les descriptifs de fabrication de chaque prédalle pour l'usine,
- génèrent l'ensemble de ces informations dans la base de données des produit.

Le gain de productivité dans la production de plan qui peut se mesurer par individu comme le rapport entre la surface de plan produite aujourd'hui et la surface de plan produite avant l'introduction du logiciel est de 1,4 environ, gain 40%.

## 2. La fonction coordination

A la suite du Bureau d'Etudes le service coordination réalise les fonctions planning, livraisons, lancement de fabrication et gere les plannings de fabrication en fonction des plannings de livraison. Le service génère pour cela :

- la fiche de fabrication,
- le bon de livraison.

Le service est bien sur automatisé. Il reçoit du bureau d'études l'ensemble des plans de pose et des nomenclatures de produits ainsi que les dessins descriptifs de chaque produit.

Ces documents transmis au service coordination sont stockés dans la base de données sous forme d'information directement exploitable à partir d'un terminal.

Les logiciels à disposition du service coordination :

- permettent la gestion en temps réel de l'état des fabrications, l'utilisateur sait immédiatement dans quelle phase de fabrication se trouve le produit.
- aident à la réalisation des bancs de fabrication. L'utilisateur peut mieux regrouper les produits à lancer à l'aide de tris sélectifs suivant des critères préférentiels de son choix.
- permettent le calepinage du banc. C'est l'opération qui consiste à positionner l'ensemble des produits sur le banc de préfabrication. Ce positionnement se fait banc par banc en saisie écran.
- dessinent la composition du banc sur traceur digital pour y visualiser la position des produits.
- élaborent les ordres de commandes destinés aux diverses machines automatiques sur le banc. Machine à dessiner sur le banc, machine à distribuer le béton.

- transmettent par ligne de télécommunication sur les halls de fabrication l'ensemble des commandes précédentes.
- éditent les fiches à destination des équipes de fabrication.
- permettent toutes les éditions statistiques.
- assurent les fonctions de livraison.
- calculent les prix de revient.

L'ensemble de toutes ces fonctions était une fonction très administrative. Le service coordination transforme et gère beaucoup d'informations, ce qui avant automatisation se traduisait par de longues tâches de reprise manuelle et de maintien de fiches ou documents papier. L'objet premier recherché dans l'automatisation de cette fonction a donc été d'alléger cette charge administrative. Objectif auquel les utilisateurs ont été sensibles. L'allègement de cette tâche leur permet de mieux préparer leurs fabrications et d'intensifier la relation téléphonique avec la clientèle, ceci pour mieux maîtriser par exemple les dates de livraison.

A l'expérience les gains apportés, en plus des précédents ont été très sensibles sur la fiabilité globale du processus de fabrication.

Pour ce poste le gain de productivité peut se mesurer par individu comme le rapport entre la surface de banc produite aujourd'hui et la surface de banc produite avant introduction du logiciel. Ce rapport est de 2, gain 100%.

### 3. Fonction de stockage et de mise à disposition des informations pour les machines

Nous l'avons vu les commandes pilotant les robots de fabrication sont élaborées sur l'ordinateur central de l'usine.

Cet ordinateur est pleinement utilisé pendant les heures d'ouvertures des services administratifs et les commandes citées ci-dessus sont générées pendant ces heures là. Il a donc été nécessaire de mettre à disposition l'ensemble de ces commandes sur une unité de stockage d'informations propre à la fabrication. Cette unité de stockage a été réalisée avec un micro-ordinateur. Elle assure la liaison de télécommunication avec l'ordinateur central. A heure fixe cet ordinateur transmet l'ensemble des commandes destinées aux machines pour un cycle complet de 24 heures.

Ces informations, une fois stockées, sont à disposition soit des machines de traçage, soit des machines de distribution du béton, et ceci indépendamment des contraintes d'horaires des services administratifs. Avant chaque fabrication et quelle que soit l'heure, les machines se connectent sur l'unité de stockage dans le hall et reçoivent l'ensemble des commandes qui leur sont propres pour le banc qu'elles vont avoir à fabriquer.

## V - DESCRIPTION de PROCÉDE de FABRICATION

---

### 1. Le banc de précontrainte

Toute usine moderne emploie la méthode du long banc de précontrainte. Le succès de cette méthode est dû à l'utilisation de l'ancrage de la force de précontrainte par adhérence.

Le long banc a été considérablement modernisé, et son environnement amélioré (préparation des aciers, évacuation des produits finis).

La largeur optimale du banc est toujours donnée par le gabarit routier (2,50 m). La longueur optimale est déterminée afin de permettre à une petite équipe de 3 hommes, de réaliser le cycle de production complet en moins de 4 heures. Avec un cycle de traitement thermique de 8 heures environ, deux coulages par banc sont effectués chaque jour. Chaque équipe de 3 hommes assure la production sur deux bancs. Pour la production de prédalles, 100 mètres constituent une bonne longueur.

La production s'établit alors à environ 940 m<sup>2</sup> par jour. Avec le procédé classique sans robots, (bancs de 70 mètres) la production n'est que de 660 m<sup>2</sup> par jour.

L'ordinateur génère une fiche de ferrailage qui permet à l'ouvrier de préparer la nappe d'armatures pour un banc donné. Cette nappe est ensuite automatiquement enroulée sur un tambour métallique.

### 2. Le traçage automatique des prédalles sur le banc

Les prédalles, on l'a vu, peuvent être de forme quelconque. Le traçage sur banc est automatique. Il est effectué après mise en tension des aciers.

Le robot-traceur agit à partir des commandes élaborées sur l'ordinateur central et stockées en mémoire, et reproduit le tracé des prédalles à l'échelle grandeur sur le banc de 2,50 m de large par 100 m de long.

Le traceur comprend un portique automoteur roulant sur une voie. Le système de traçage géré par un automate programmable se déplace classiquement suivant des axes X et Y. Le dessin est réalisé par un trait de peinture blanche soluble.

A la demande une connexion directe est établie entre l'automate du traceur et l'ordinateur de stockage toujours disponible sur le hall de fabrication.

Cette connexion permet à l'automate de venir puiser l'ensemble des commandes qui lui sont nécessaires pour tracer les produits. La durée de la connexion n'exède pas quelques minutes.

Cette phase de prise d'informations est commune à l'ensemble des machines.

L'automate traceur apporte un gain de temps notable, il garantit une meilleure précision, il évite les erreurs du traçage manuel. De plus, il ne mobilise pas l'équipe, qui pendant de temps met en place les règles coffrantes des prédalles, les inserts, etc... Les ouvriers ont à leur disposition un "calepin" des dessins de chaque prédalle dessiné par l'ordinateur, portant toutes leurs particularités (trémies, trous, plots électriques, sens de pose) afin qu'ils puissent coffrer les réservations et disposer les plots électriques en matière plastique positionnés par le traceur.

### 3. La distribution et la vibration du béton

Dans la méthode classique, le banc est vibrant et le béton est réparti grâce à une distributrice se déplaçant sur le banc. La quantité de béton répandue est estimée par l'ouvrier. L'épaisseur est difficile à régler avec précision.

Avec la nouvelle vibro-distributrice, en cours d'étude l'automatisation complète de cette phase de production va être réalisée. La largeur de la "veine" de béton est contrôlé par une série de 15 volets articulés, indépendants les uns des autres, pour la largeur de 2,50 m. La vitesse d'écoulement du béton est contrôlée par un distributeur rotatif à aubes, à vitesse réglable.

Avec les informations mémorisées relatives aux caractéristiques de la prédalle en cours de fabrication et à partir de trois prises d'informations qui sont :

- la perte de poids correspondant à un volume de béton déversé,
- la distance parcourue correspondant à ce poids,
- la largeur de prédalle considérée,

l'automate règle de façon précise la configuration de la veine de béton, en asservissant la vitesse de vibration du distributeur et la vitesse d'avancement de la benne.

Le béton, dont le poids exact a été déversé, se répartit uniformément sur le banc grâce à la vibration, sans nécessiter de lame finisseuse.

Une vibration à faible amplitude et haute fréquence est appliquée : des patins de vibrateurs, suspendus élastiquement à la machine, sont pressés contre les rives métalliques du banc par des vessies à air. On obtient ainsi une "vibration glissante" pendant l'avancement de la machine.

Cette machine automotrice permet de bétonner tout type de panneau de plancher ou de bardage.

Après bétonnage, la surface est rendue rugueuse par un peigne métallique, tracté par la vibro-distributrice.

Ensuite, le banc est recouvert d'une bâche isolante, afin d'éviter une évaporation rapide.

#### 4. Mise en précontrainte

À la fin d'un traitement thermique et après contrôle de la résistance du béton, la mise en précontrainte est réalisée.

Divers contrôles sont effectués par le laboratoire, puis les armatures entre prédalles sont coupés. Entre deux prédalles successives un espace est ménagé, laissant "en attente" une longueur variable de fil aux deux extrémités de la prédalle.

Une tronçonneuse coupe ces armatures. La coupe des fils est faite avec un disque abrasif dont l'usure est contrôlée par deux cellules photo-électriques. La scie est totalement autonome, elle roule sur la même voie que le traceur. Elle détecte automatiquement les intervalles entre prédalles et s'arrête avec précision à mi-distance. Le rattrapage d'usure permet de couper les fils, situés très près du platelage en tôle, sans risque d'entamer celui-ci. Aucun ouvrier n'est nécessaire pour cette opération.

#### 5. Evacuation des prédalles

Pour assurer un double coulage chaque jour, il est nécessaire d'évacuer le banc rapidement, de nettoyer et huiler la table de travail automatiquement (un balai rotatif et un système d'huilage sont montés sur la machine à bétonner).

Les prédalles sont évacuées par un pont roulant. Souvent les prédalles sont directement chargées sur les camions, pour livraison immédiate, la pile sur camion correspond en général à la séquence de pose sur chantier. Si les prédalles doivent être stockées sur le parc avant livraison, elles sont de la même façon chargées sur des palettes en acier, et manoeuvrées en usine par un camion spécial.

Le service planning donne exactement l'emplacement de stockage de chaque prédalle, et la composition des camions chargés en fonction de la demande du chantier.

#### VI - CONCLUSION

Nous avons démontré qu'il est parfaitement possible de produire industriellement des prédalles "à la demande", de manière économique. Un composant industriel n'est pas nécessairement standard.

Nos composants sont à moitié sur catalogue (la section) et à moitié à la demande (longueur, largeur, inserts...). En fait produire à la demande, c'est traiter l'information tout au long des processus de fabrication.

La précontrainte alliée à la robotique apporte la solution.

Le supplément d'investissement dû à la robotisation est amorti en moins de 8 mois pour la capacité de production considérée. Il va sans dire de plus que la gestion du personnel est considérablement simplifiée.

Guy CHARDIN

SARET France - Route de Carpentras - RP 73 84130 Le PONTET

Tél. 90 32 90 13

Télex 431026