



# Métrologie de chantier

*REX DIJON* \_\_\_\_\_

**Auteur**

Jean-Luc SALAGNAC - CSTB

**Rédaction - Mise en page**

Christophe PERROCHEAU - Dac Communication

**Photos**

Eric BERNATH et Louise HARVEY

Jean-Luc SALAGNAC

**Plan Urbanisme**

**Construction Architecture - Chantier 2000**

Directeurs de rédaction

Guy GARCIN et Hervé TRANCART

Communication

Daniel WATINE

Arche de la Défense

92055 PARIS LA DÉFENSE Cedex 04

Tél : 01 40 81 24 33 - Fax : 01 40 81 23 82

# Sommaire

► FICHE TECHNIQUE.....	p 3
► SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION.....	p 4
► PROTOCOLE D'EXPÉRIMENTATION .....	p 6
► DÉROULEMENT DE LA DÉMARCHE .....	p 8
Caractéristiques de l'opération .....	p 9
Préparation métrologique .....	p 9
Préfabrication des panneaux .....	p 10
Pose des panneaux .....	p 11
Cotation fonctionnelle .....	p 12
Campagnes de mesures .....	p 12
Historique des plans de préfabrication .....	p 13
► ÉVALUATION-PERSPECTIVES.....	p 14
Cotation fonctionnelle .....	p 14
Mise en oeuvre des panneaux .....	p 15
Campagnes de mesures .....	p 15
Les façades en panneaux préfabriqués .....	p 15
La métrologie de chantier .....	p 15
L'utilisation de l'informatique .....	p 16
L'enseignement .....	p 16

# Fiche technique :

## REX DIJON

### ► RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

A l'occasion de la construction de bâtiments dont les façades sont composées d'éléments préfabriqués en béton architectonique, l'expérimentation se proposait de traiter de l'amélioration de la chaîne métrologique allant de la conception à la mise en œuvre de ces éléments de façade. L'enjeu d'une telle démarche est d'identifier des moyens pour limiter les dysfonctionnements, recensés lors de nombreuses opérations, qui ont pour origine une cote erronée, quelle que soit la cause de l'erreur (omission, défaut de transmission, cote déduite, etc.). L'expérimentation prévoyait également de formaliser la procédure de mise en place et de réglage des panneaux de façade à l'aide d'un outil spécialement conçu à cet effet. Une campagne de mesure des panneaux de façade, destinée à compléter la connaissance des écarts dimensionnels sur ces éléments, était aussi prévue.

### ► OPÉRATION SUPPORT

L'opération est située en centre-ville de Dijon (Côte-d'Or). Elle comporte 118 logements. Le chantier a été réalisé entre 1996 et 1997.

### ► PARTENAIRES DE L'EXPÉRIMENTATION

#### Maître d'ouvrage

Cipco Locatif

#### Maîtrise d'œuvre

Sade Sarl-Conception Nunez-Yanowski

#### Entreprise générale

C3B

#### Préfabricant des panneaux

Préfabur

#### Contact

Eric VERNET - C3B  
«Le Richelieu» - 10, boulevard Carnot  
21000 DIJON  
Tel. 03 80 66 65 10 - Fax 03 80 31 80 34

### ► ÉVALUATION DE L'EXPÉRIMENTATION

Jean-Luc SALAGNAC - CSTB  
4, avenue du Recteur Poincaré  
75782 PARIS Cedex 16  
Tel. 01 40 50 28 39 - Fax 01 40 50 28 38

# Synthèse de l'évaluation

Le plan est un des supports d'information essentiel d'une opération de bâtiment. Les cotes figurant sur ces plans sont fondamentales pour décrire la géométrie du futur ouvrage et transmettre aux différents opérateurs les informations utiles à sa réalisation. Ce processus de description et de transmission est usuel et employé dans de nombreuses activités de production autres que le secteur du bâtiment.

Bien qu'a priori ce sujet puisse sembler «banal», les observations montrent que de nombreux

L'expérimentation a consisté à définir un mode de cotation des différents plans (moules, fabrication des panneaux, plan de pose) de manière à ce que chacun des intervenants concernés ait à sa disposition les informations dont il a effectivement besoin pour réaliser sa tâche, à l'exclusion de toute autre information qui risque de l'induire en erreur. L'élaboration de ces cotes «fonctionnelles» passe par une coopération entre les acteurs concernés et une mission de synthèse qui, en l'occurrence, a été assurée par le bureau des



dysfonctionnements résultent de défauts dans au moins l'un des maillons de la chaîne métrologique. Citons par exemple les oublis de cotes, leur absence d'identification, l'absence d'indication sur les méthodes de traçage ou sur les tolérances dimensionnelles, la surabondance de cotes inutiles. Ces dysfonctionnements se traduisent en pertes de temps, erreurs, ou défauts de qualité du bâtiment.

L'équipe de l'opération expérimentale de Dijon a abordé ces sujets en s'intéressant à la réalisation des façades en éléments préfabriqués en béton architectural. Outre la réalisation de l'étanchéité de la façade, la maîtrise de la chaîne métrologique doit dans ce cas se traduire par un «contentement de l'oeil», notion subjective que l'équipe a tenté de traduire sous forme de mesures de dimensions.

méthodes de l'entreprise générale.

Outre cet aspect relatif aux méthodes de cotation, le programme expérimental comportait deux autres volets :

- **La mise en oeuvre et le réglage des panneaux de façade** : il s'agissait de définir et de codifier un mode opératoire de pose des panneaux, en utilisant notamment un outil spécifique (le sabot CBC) destiné à faciliter le réglage final des panneaux avant scellement.

- **Le relevé et l'analyse des dimensions réelles** : il s'agissait de relever les cotes des 136 panneaux fabriqués de manière à compléter la connaissance sur les écarts de dimensions des pièces préfabriquées.

Concernant le premier volet du programme, cette expérimentation aura permis de mieux cerner les



souhaits du préfabricant et du chantier en matière de cotation des plans et de répondre à ces attentes. Le bureau d'études peut ainsi, sans grande difficulté, intégrer les remarques du préfabricant ou faire figurer sur les plans les axes de chantier nécessaires à l'implantation des ouvrages. Elle aura aussi confirmé la nécessité de disposer de plans mieux adaptés «à la main» des différents opérateurs, c'est à dire répondant aux impératifs de réalisation de tâches précises durant une phase donnée (de conception ou de réalisation). L'une des causes principales des difficultés actuelles réside dans les ajouts successifs d'informations au niveau des différents maillons de la chaîne, sans que soit effectué un tri permettant d'extraire les cotes les plus pertinentes durant une phase donnée du processus (permis de construire, étude d'implantation, étude technique, chantier). L'outil informatique est susceptible de procurer de tels plans. Encore faut-il décrire précisément les besoins des uns et des autres.

L'expérimentation aura également contribué à formaliser les savoir-faire des différents opérateurs pour garantir l'obtention d'un ouvrage satisfaisant à des critères techniques et esthétiques forts. La concertation entre les acteurs-clé (étude,

chantier, préfabricant), aux moments opportuns, aura en particulier été pointée comme un gage de réussite.

En revanche, la prise de mesures dimensionnelles et l'exploitation statistique envisagée n'auront pas trouvé de prolongement dans les conditions imaginées par l'équipe. Ce manque d'aboutissement résulte notamment de la complexité des pièces réalisées et d'une instrumentation adaptée.

# Protocole d'expérimentation

*La maîtrise<sup>1</sup> dimensionnelle des ouvrages de bâtiment constitue une des clés de leur qualité; elle est également une des conditions du développement de l'emploi des produits industriels finis. Un inventaire des pratiques actuelles a fait ressortir :*

*1. la médiocrité «métrologique» des documents d'exécution remis aux équipes travaux :*

- cotation généralement confuse et incohérente, parfois erronée.*
- cotation rattachée aux ouvrages terminés, finitions incluses, alors que le chantier ne présente que des ouvrages bruts en cours de réalisation.*

*• cotation ignorant totalement les tolérances d'exécution propres à chaque nature d'ouvrage (au lieu d'être considérées comme des données de la conception technique et de la mise en oeuvre, ces tolérances ne sont généralement utilisées que pour identifier un «responsable» en cas de contentieux).*

*2. l'absence d'évolution depuis des décennies des outils (à l'exception de quelques niveaux laser), des procédés de mesurage et de traçage (pratique, - mais peu précis et peu fiable -, le trait battu au bleu reste par exemple le procédé de traçage le plus employé).*

*Le constat de ces insuffisances a permis de dégager plusieurs lignes d'actions susceptibles de contribuer à leur résolution; cependant, les évolutions de comportement qui leur sont nécessaires se heurtent à la force des habitudes qui régissent les interfaces entre les multiples intervenants. Les modalités de première application, puis de diffusion, de ces axes de progrès sont donc aussi importantes que ces actions elles-mêmes.*

Cet extrait du protocole d'expérimentation cadre bien les objectifs de la démarche. Ces objectifs concernent la «métrologie de chantier», sujet «ingrat» et difficile à faire émerger auprès des professionnels, tant les (mauvaises) habitudes sont ancrées en la matière.

Tous les professionnels, depuis l'architecte jusqu'au chef de chantier, en passant par le bureau de méthodes, les bureaux d'études techniques et les fabricants, utilisent des plans. Le problème récurrent se focalise sur les représentations individuelles des futurs ouvrages par ceux qui établissent les cotes. L'architecte utilisera par exemple des cotes utiles à la représentation des volumes finis. Le chef de chantier, quant à lui, devra disposer des cotes nécessaires à l'implantation des futurs ouvrages dans l'espace : il ne les trouvera pas sur les plans béton armé dont les cotes répondent à d'autres logiques techniques de dimensionnement.

Le schéma actuel d'élaboration des cotes, et de transmission de ces informations, est ainsi générateur de pertes de temps et d'erreurs. Celui qui reçoit un plan trouve des cotes en quantité, mais qui ne sont pas nécessairement celles qui lui sont directement utiles; il doit déterminer ces cotes utiles à partir des informations disponibles. Faute d'en avoir souligné l'importance, certaines cotes peuvent ainsi disparaître au cours de ces «changements de repères», avec pour conséquence de nombreux dysfonctionnements (espace insuffisant derrière une porte, calfeutrement excessif ou piochage d'une baie devant recevoir une menuiserie, baignoire ne pouvant être installée entre deux cloisons, etc.).

L'indication de tolérances dimensionnelles pourrait être un moyen d'attirer l'attention sur le caractère impérieux du respect de certaines cotes. Cependant, contrairement à l'industrie mécanique, le secteur du bâtiment n'a pas consacré cet usage.

Le coût (important) de ces dysfonctionnements justifie la résolution des problèmes de cohérence entre informations portées sur un plan et informations utiles à des tâches identifiées durant une plage temporelle du chantier.

L'opération support s'inscrit dans un programme de construction de logements, dont les façades sont constituées de panneaux préfabriqués en béton architectonique. L'expérimentation comporte trois volets d'actions.

• **Volet 1** : Cotation fonctionnelle de la façade et de ses composants

Le terme de «cotation fonctionnelle» recouvre les principes de cotation de plans répondant aux attentes exprimées par l'utilisateur quant à l'obtention de «la bonne cote au bon moment». Ces principes sont issus de réflexions de mécaniciens visant à faire face à des problèmes voisins de ceux de la démarche expérimentale : comment coter un plan dès l'étude de manière à intégrer les contraintes de fabrication, les possibilités des outillages, les conditions de montage, etc. Il s'agit en fait de traduire, sous forme d'un plan coté, le cahier des charges fonctionnel d'une pièce à réaliser. Pour les éléments de façade, l'élaboration de tels plans nécessite la coordination des différents intervenants (chaudronnier pour la fabrication des moules; préfabricant des panneaux; entreprise pour l'organisation de la pose des panneaux et pour la définition des conditions limites d'assem-

<sup>1</sup>Les passages en italique sont extraits du protocole d'expérimentation

blage répondant aux exigences esthétiques et aux impératifs techniques; architecte pour la définition des caractéristiques fonctionnelles des panneaux). L'équipe a confié l'animation de cette coordination au service Méthodes de l'entreprise, avec pour mission d'assurer la cohérence des plans produits aux différentes étapes et de pointer les difficultés dans l'accomplissement de cette mission.

• **Volet 2** : Mise en oeuvre et réglage des panneaux de façade

L'expérience acquise par C3B dans la mise en oeuvre d'éléments préfabriqués s'est traduite par la mise au point d'une méthode et d'outils spécifiques (en particulier le «sabot CBC», dispositif breveté permettant le réglage fin de la position des panneaux de façade avant scellement). Toutefois, ce savoir n'est partagé qu'entre très peu de personnes dans l'entreprise. A l'issue de cette expérimentation, l'équipe souhaite formaliser ces procédures de manière à assurer la transmission de ce savoir-faire issu à la fois d'une réflexion méthode et d'expériences pratiques.

*«Cette méthodologie précisera les modalités de relevé préalable des positions et de dimensions des supports de la façade (notamment rives du premier plancher); elle s'attachera aussi à l'exploitation de ces relevés pour définir et réaliser l'implantation et le traçage in situ destinés à guider la pose».*

• **Volet 3** : Relevé et analyse des dimensions réelles  
*«Pour la réalisation du chantier, les contrôles dimensionnels effectués seront limités au respect des tolérances des éléments et des tolérances d'assemblage. Au-delà de ce contrôle «tout ou rien», le recueil des dimensions réelles des panneaux préfabriqués et des joints d'assemblage serait particulièrement intéressant pour valider les tolérances réglementaires et normatives, ou pour en provoquer la révision».*

L'ambition de l'équipe est de contribuer à une meilleure connaissance des écarts dimensionnels réels sur les dimensions des éléments préfabriqués, en complément d'études antérieures, notamment celles du CSTB. Le protocole d'expérimentation prévoit à cet effet des campagnes de mesures, sans toutefois être très précis sur les moyens de mesure et surtout sur leurs protocoles (traitement des cas singuliers, prise de mesure à l'intérieur des moules, etc.).

L'équipe souhaite analyser le processus d'élaboration des plans, depuis le plan architecte jusqu'au plan de pose, en passant par le plan de fabrication de

chaque panneau afin que le résultat final «contente l'oeil». Il s'agit aussi de formaliser les procédures permettant d'atteindre un tel objectif en maîtrisant mieux les conditions de reproduction ultérieure de ces processus. Une troisième ambition consiste à collecter des données statistiques sur les dimensions des panneaux.

En reportant le réglage final sur le «coup d'oeil», l'équipe admet implicitement la difficulté qu'elle éprouve pour cerner tous les paramètres métrologiques liés à la fabrication et à la mise en oeuvre des panneaux. L'expérience acquise sur la première tranche de l'opération doit permettre d'acquiescer une connaissance empirique sur le sujet. Contrairement aux éléments techniques, comme les clefs d'étanchéité pour lesquelles le fabricant spécifie des tolérances sur la largeur des joints verticaux entre panneaux, la connaissance des tolérances sur les largeurs des joints horizontaux et verticaux (afin que «l'oeil ne soit pas choqué») est faible.

De manière indirecte, l'expérimentation porte également sur l'utilisation des outils informatiques de dessin, de conception et de communication électronique. Si la généralisation de ces outils à l'ensemble de la profession est encore une perspective de moyen terme, il est néanmoins intéressant d'observer l'impact de ces outils et la manière dont les professionnels se les approprient. Les outils de dessin permettent en particulier de tracer des plans cotés automatiquement. Sauf à confier cette tâche à un utilisateur très «pointu», la cotation sera «standard» : elle ne répondra probablement pas aux besoins des différents utilisateurs (l'observation des plans actuels suffit à démontrer cette situation). Une condition de progrès est donc de développer l'usage de ces outils informatiques en intégrant des possibilités de changements de repères propres à chacun. Préciser ces changements, les formaliser, et définir une méthode de cotation fonctionnelle adaptée au bâtiment prend ainsi une importance plus marquée.

# Déroulement de la démarche

## ► CARACTÉRISTIQUES DE L'OPÉRATION

Les futurs bâtiments devaient prolonger une première tranche d'ouvrages, réalisée en 1994,

parpaings enduits. Les corniches et certaines pièces rapportées (cornières d'angle, balcons) ont également été préfabriquées.

Le terrain entourant ces bâtiments a été dégagé après démolition des anciens bâtiments. La découverte de vestiges a déclenché l'ouverture d'un



dont les façades construites à l'aide d'éléments préfabriqués présentent une modénature très travaillée. Les nouveaux ouvrages devaient se raccorder à :

- un bâtiment occupé, construit dans les années 60 et possédant une façade en pâte de verre, situé en retrait par rapport à l'alignement des façades du projet;
- un corps de bâtiment d'un ancien couvent destiné à être transformé en logements. Les façades du projet ont été alignées avec la façade de ce couvent.

Les panneaux préfabriqués ont été utilisés pour :

- le doublage de la façade du bâtiment existant occupé (éléments non porteurs, hauteur R+5);
- la façade du bâtiment A (R+5);
- la partie basse des façades (1 à 2 étages suivant bâtiment) des autres bâtiments neufs;
- le raccordement avec la première tranche à l'aide de panneaux lisses en porte à faux (R+5, R+6).

Les autres éléments de façade ont été réalisés en

chantier de fouilles archéologiques. Ainsi, l'opération s'est scindée en deux tranches dont la deuxième n'a démarré qu'à l'automne 1997.

## ► PRÉPARATION MÉTROLOGIQUE

### Relevés de terrain

Avant le démarrage du chantier, et après démolition des anciens ouvrages, un géomètre a effectué une campagne de mesures. Ces dernières ont permis de faire une première épure de l'implantation des futurs bâtiments et de valider les dimensions du projet. Les plans béton armé, réalisés à partir du projet initial qui avait été dessiné en tenant compte d'un relevé de terrain avant démolition, ont été confrontés à ces nouvelles données. Cette comparaison (difficile sans l'aide de l'outil informatique) a fait émerger plusieurs points de blocage, et notamment :

- L'empiètement de 13 cm d'un des bâtiments sur les ouvrages riverains.
- L'interface avec le bâtiment du couvent (problème de faux aplomb (jusqu'à 10 cm)).
- Le positionnement du bâtiment A entre le couvent et le bâtiment occupé.

Les plans béton armé ont été modifiés en conséquence, notamment en précisant les systèmes d'axes du chantier qui n'étaient pas portés sur les plans initiaux.

### Dimension des joints

L'équipe a réalisé un relevé des largeurs de joints verticaux et horizontaux entre les panneaux, sur trois niveaux (RdC, R+1, R+2) de plusieurs bâtiments existants (tranche Guise 1). Les bâtiments de Guise I ont constitué la référence, le maître d'oeuvre et le maître d'ouvrage étant satisfaits du résultat esthétique. Le choix de la largeur nominale de ces joints (15 mm) résulte d'une part du respect des conditions de fonctionnement des clefs d'étanchéité P71 (largeur comprise entre 10 et 30 mm), d'autre part de l'expérience acquise par l'architecte et par l'entreprise en matière de réalisation de façades en panneaux préfabriqués. Cette largeur est celle qui induit une «neutralité du regard». Pour un même écart entre le haut et le bas d'un panneau (soit environ 2,5 m), l'expérience tend en effet à conclure que l'oeil semble être plus «sensible» lorsque la largeur nominale du joint est supérieure - ou inférieure - à 15 mm (ceci n'est pas démontré mais admis). Un traitement statistique des mesures a amené les résultats suivants.

- **Nombre de points de mesures** sur les joints verticaux : 108. Sur les joints horizontaux : 72
- **Moyenne (mm)** sur les joints verticaux : 17. Sur les joints horizontaux : 13
- **Ecart type (mm)** sur les joints verticaux 2,5. Sur les joints horizontaux : 4,4
- **Plus petite valeur (mm)** sur les joints verticaux : 12. Sur les joints horizontaux : 0
- **Plus grande valeur (mm)** sur les joints verticaux : 24. Sur les joints horizontaux : 20

Ces données traduisent l'existence de bords de panneaux en contact, mais dont la fréquence relativement faible ne remet pas en cause les critères esthétiques de l'ouvrage. Un des degrés de liberté de l'équipe de chantier est d'ailleurs de pouvoir ajuster les panneaux de manière à ce que

l'ensemble soit acceptable.

Une autre analyse de ces données s'applique à l'évaluation des écarts dans les quatre directions autour d'un croisement de joints de quatre panneaux voisins. Il est compris entre 0 et 7 mm pour les joints verticaux 0 et 5 mm pour les joints horizontaux. Cet ensemble de résultat est à prendre comme référence d'une façade «contentant l'oeil». Cette notion n'est pas d'une grande rigueur, mais peut néanmoins être comprise et partagée par plusieurs observateurs. Une approche plus théorique aurait consisté à remonter aux tolérances admissibles sur les dimensions des panneaux pour agir sur les dimensions des moules, de manière à garantir statistiquement des joints de largeurs cohérentes avec celles relevées sur la façade de l'opération «Guise I». On peut d'ailleurs s'interroger sur la pertinence d'une telle approche qui s'appuierait sur un référentiel de «contentement de l'oeil» qui, lui, reste qualitatif.

### Tolérances des moules de préfabrication

L'équipe (fabricant du moule, préfabricant, entreprise) a travaillé selon une approche plus pragmatique, c'est à dire par repérage des tolérances courantes telles que constatées lorsque toutes les précautions sont prises, tant pour la réalisation du moule que pour son réglage avant coulage. L'entreprise a ensuite réalisé un travail de simulation afin de déterminer l'influence du cumul de ces tolérances sur le résultat final.

Ce travail s'est opéré en deux étapes.

1. Un tableau a été élaboré pour déterminer les répercussions découlant de la prise en compte des tolérances annoncées par les fabricants (moule et panneaux) sur les dimensions minimales et maximales des panneaux. Sur cette base, une simulation a conclu que, dans un cas extrême où toutes les déformations allaient dans «le mauvais sens», l'ajustement des panneaux voisins était impossible pour respecter les conditions de fonctionnement des clefs d'étanchéité. Ces conditions sont bien entendu trop sévères. Il est très peu probable que le «pire» (toutes les cotes aux limites des zones de tolérances) se produise.

2. Une analyse similaire, mais intégrant des données issues de la fabrication effective des panneaux, a complété la démarche. L'existence d'un côté inamovible du moule a en particulier été pris en compte. Les déformations géométriques

potentielles sont alors consécutives aux défauts d'équerrage des jouées latérales et au défaut de parallélisme du quatrième côté par rapport au côté fixe. La simulation montre que, dans ces conditions, les largeurs de joints permettent un fonctionnement normal des clefs d'étanchéité. Les réglages sur chantier ont essentiellement pour objet de répondre aux critères esthétiques évoqués précédemment.

## ► PRÉFABRICATION DES PANNEAUX

### Les plans

Suite au traitement des mesures de terrain qui a amené une rectification des plans béton armé, et au relevé des largeurs de joints qui a permis de cerner plus précisément les tolérances dimension-

La cotation de ces plans a évolué au cours du chantier. Ces plans se caractérisaient en effet à l'origine par une redondance d'informations, des latitudes d'interprétation dans les cotes, voire par l'absence de certaines d'entre elles. Les plans ont ensuite évolué pour mieux correspondre aux contraintes exprimés par le préfabricant.

### La fabrication

Les panneaux ont été produits en atelier et stockés à l'extérieur, dans l'enceinte de l'usine. Le stockage sur le chantier, adopté pour Guise 1, s'était en effet traduit par des dégradations sur les panneaux. L'usine a utilisé deux moules, dont un réservé aux pièces «simples». Le second moule était constitué d'une table réglée sur laquelle étaient vissées les baguettes métalliques donnant les effets de cannelures. Il comportait un bord fixe (le «haut» des panneaux). La fermeture du moule



nelles des panneaux, la troisième étape s'est concentrée sur la modélisation en CAO. Ce travail s'est traduit par un calepinage général des façades, et par l'élaboration de carnets de préfabrication décrivant en détail toutes les pièces à fabriquer (136 panneaux de forme et de taille très variées ainsi que de nombreuses pièces).

s'effectuait en plusieurs étapes :

- mise en place des deux jouées latérales (profils verticaux ou biais suivant les panneaux), et équerrage par rapport au bord fixe;
- mise en place du quatrième côté (le «bas»);
- positionnement des jouées latérales par soudure d'attaches sur la table et vérification au mètre à

ruban des diagonales dans le plan supérieur du moule.

- ajustement éventuel par désoudage, repositionnement et soudage.

Cette procédure, qui garantit un réglage correct de la hauteur des panneaux, est néanmoins imparfaite pour le contrôle du parallélisme et de l'équerrage des jouées latérales.

Il est cependant apparu difficile de lui en substituer une autre, en raison de la grande variété et de la complexité des formes. Le cadre réalisé, les aciers et

mesures. Ce constat fait écho à l'absence de procédures et de moyens de mesure adaptés (cf. analyse du protocole d'expérimentation). Durant les premières périodes du chantier, un nombre important de panneaux (13 sur 54) a été refusé. :

- 3 panneaux à cause de cannelures trop longues (plan erroné)
- 1 panneau à cause d'une corniche trop courte (plan erroné)
- 6 panneaux à cause de défauts d'aspect (problème de moule)



le moule de la corniche (qui pouvait être partielle sur la largeur d'un panneau) étaient mis en place.

### Les contrôles de fabrication

L'équipe a élaboré une fiche de contrôle. Cette fiche comportait notamment une partie réservée aux mesures des dimensions. La forme générique des panneaux se traduisant par un parallélépipède très aplati, il était a priori logique de prévoir le relevé des dimensions de base du rectangle. La fréquente absence de mesures dans toutes les cases prévues montre l'extrême variété des cas de figure. Faute de pouvoir déterminer avec précision le bord du panneau ou l'angle du rectangle, la mesure était souvent impossible avec des moyens courants. Ainsi, les bords obliques, ou les corniches partielles, ont été autant d'obstacles à la saisie de

- 2 panneaux à cause de casse (problème de manutention)
  - 1 panneau à cause de problèmes de bouche VMC (maintien de la boîte pendant le coulage)
- la situation s'est par la suite notablement améliorée.

## ► POSE DES PANNEAUX

La livraison s'effectuait à la demande du chantier, par camion semi-remorque. Une remorque, portant de deux à six panneaux, servait de stock tampon sur le site. En cycle établi, le tracteur approvisionnait le chantier avec une remorque pleine pour repartir avec une remorque vide.

La manutention et la pose des panneaux s'effec-

tuait dans l'ordre suivant :

- prise avec un palonnier équilibreur (permettant de maintenir le panneau dans sa position finale de pose, y compris oblique pour certains d'entre eux, pendant les manutentions);
- positionnement par rapport à un trait au sol en retrait du nu de la façade;
- réglage dans les trois dimensions à l'aide du sabot CBC, associé à des étais tire-pousse pour le réglage de verticalité;
- réglage des panneaux d'une série suivant «le contentement de l'oeil» (affinage visuel) en agissant sur les dispositifs de réglage des sabots.
- clavetage.

## ► COTATION FONCTIONNELLE

Les panneaux présentaient pour la plupart une forme géométrique complexe. Du fait de la présence des corniches, il était impossible d'évaluer la longueur de la diagonale sur la face extérieure : seules les longueurs et largeurs des panneaux étaient mesurables. Les diagonales de la face sous corniche pouvaient être également estimées. Ces mesures ont été effectuées à la sortie de moule, à l'aide d'un mètre à ruban. L'entreprise a procédé à une autre série de mesure sur les panneaux stockés.

Les discussions portant sur la définition de la «cotation fonctionnelle» pour le bâtiment ont débouché sur la formule suivante : «cotation adaptée à la main de l'utilisateur», c'est à dire répondant aux nécessités de l'opérateur pour la réalisation de tâches précises durant une phase donnée (de conception ou d'exécution). Cette définition est à rapprocher de celle utilisée dans l'industrie mécanique : *«cote imposée par une condition élémentaire d'aptitude à l'emploi, et nécessaire et suffisante pour satisfaire celle-ci»*. Le tronc commun des deux définitions est la volonté de formaliser, sur les documents, des cotes (ou des prescriptions) satisfaisant à la réalisation d'une tâche identifiée.

L'application de cette définition à la cotation des pièces préfabriquées se traduit par des plans plus «épurés» tels que l'aurait souhaité le préfabricant (et que le bureau d'études lui a fourni partiellement). Un des souhaits du préfabricant est d'obtenir, par rapport à un système d'axes, une cotation qui «fasse corps» avec le moule, c'est à dire qui

s'appuie sur des repères et «invariants» facilement identifiables d'une pièce à l'autre. La réponse à cette demande n'implique pas des exploits techniques. Il s'agit que des conventions soient établies entre celui qui cote le plan et celui qui l'utilise. La difficulté se situe plutôt dans le nombre de conventions à établir, compte tenu de la diversité d'utilisateurs.

## ► CAMPAGNES DE MESURES

En début de chantier, l'équipe a élaboré un plan de campagnes de mesures sur :

- **Les moules.** Il s'agissait d'entreprendre des mesures de dimensions des quatre ou cinq types de moules et de gauchissement. Ces mesures ont été effectuées par Préfabur et C3B au moyen d'un mètre à ruban ou d'un Mess tronic (règle télescopique à affichage numérique). Les résultats ont été consignés dans un procès-verbal de réception.

- **La fabrication des panneaux en usine.** Il s'agissait d'entreprendre des mesures de dimensions des moules avant coulage, de dimensions des panneaux fabriqués et de gauchissement. Ces mesures ont été effectuées au moyen d'un Mess tronic par Préfabur et par C3B qui a procédé à des sondages en usine. Les résultats ont été consignés sur une fiche de contrôle.

- **Les panneaux sur chantier.** Il s'agissait pour C3B d'entreprendre des mesures de contrôle visuel. Ces dispositions sont venues partiellement combler l'absence de procédure de mesures et ont permis de consigner des séries de résultats. Leur exploitation «statistique», telle qu'envisagée dans le troisième volet du protocole d'expérimentation, s'est toutefois révélée délicate. Les mesures ont souvent été difficiles pour les raisons de complexité et de variété de formes des panneaux déjà signalées. Faute d'une préparation aboutie, les conditions de réalisation des mesures étaient parfois «acrobatiques» (pièces suspendues au sortir du moule, pièces empilées); elles n'ont pas facilité l'exécution d'une tâche «annexe» du cycle de production.

Les mesures ont été effectuées avec des instruments différents. Ceci est consécutif à l'absence d'une procédure rigoureuse, permettant de corriger les résultats pour les rendre statistiquement exploitables. Autrement dit, l'objectif d'acquisition d'une meilleure connaissance des écarts dimen-



sionnels réels des pièces préfabriquées n'a pas été atteint, les moyens (complexes) à mobiliser étant insuffisants. Néanmoins, les fiches de contrôle ont joué un rôle important dans l'obtention de panneaux de qualité, en facilitant la traçabilité des informations relatives à chaque pièce.

Une attention particulière devrait à l'avenir être portée sur le choix des mesures à formaliser sur ces fiches. Il faudrait faire figurer des mesures répondant à des conditions normales de production et dont l'exploitation immédiate permette de détecter un défaut dimensionnel. Un tel travail est difficile à réaliser; il est à conduire en concertation avec le chaudronnier, le préfabricant et l'entreprise. Une suggestion pourrait être de prévoir, au moulage, le marquage de repères (crochets? encoches? anneaux?) à des endroits accessibles des panneaux afin de pouvoir positionner rigoureusement un instrument de mesure.

## ► HISTORIQUE DES PLANS DE PRÉFABRICATION

Les plans de gros oeuvre ont subi de nombreuses modifications (dernier indice : L). Ces dernières

ont eu pour origine des changements :

- de longueur des pièces : la mise au point du projet a permis d'optimiser la fabrication des pièces et de limiter la variété des moules;
- de forme des pièces : un ouvrage particulièrement difficile à réaliser (pièces en portion des troncs de cônes) a été simplifié (facettes planes),
- de forme des corniches : une réflexion sur les différents types de moules existants a permis d'optimiser la préfabrication des pièces.

Ces changements ont engendré peu de répercussions sur l'ouvrage : au lieu d'être monobloc, les balcons ont présenté un joint dans le plan de symétrie vertical; les joints des pièces de corniches ont été moins nombreux que prévu. Ces réflexions ont également permis de limiter les surcoûts financiers (investissement dans les moules spécifiques complémentaires sans possibilité de réemploi) du préfabricant et du chantier.

Ces modifications résultent d'un faisceau de raisons que le contexte économique «tendu» a accentuées :

- absence de calepinage initial de panneaux de préfabrication (consécutif au déficit de communication entre l'architecte et l'entreprise);
- difficulté pour pérenniser les acquis (disparition des savoir-faire consécutive au départ des personnes) de la première tranche (Guisse I) pour les plans de gros oeuvre (à l'époque, les axes chantier avaient été définis dès le départ);
- difficulté de mobilisation des compétences pour l'étude et l'élaboration des plans de préfabrication, avec optimisation des moules et mannequins.
- changement d'encadrement de la conduite du chantier.
- manque de communication entre les services commerciaux et les équipes travaux de l'entreprise pour relayer le projet;

Sur le plan de la métrologie, les répercussions sont de deux ordres :

- difficulté à obtenir du BET des axes de cotation adaptés aux besoins du chantier sur les plans d'exécution BA;
- absence de cohérence entre les cotes des plans d'exécution et les indications nécessaires à la réalisation des ouvrages.

# Evaluation-perspectives

## COTATION FONCTIONNELLE

Cette opération l'a démontré, la solution aux problèmes de métrologie de chantier réside pour une part essentielle dans la volonté des professionnels. Bonne volonté pour produire en amont des documents (plans en particulier) qui tiennent compte des besoins des utilisateurs. A titre

exploite les informations consignées sur les plans. En phase gros oeuvre, ces conventions s'appliquent à l'architecte, au géomètre, au bureau d'études BA, au préfabricant, à l'entreprise.

Les conventions minimales à mettre en place sont entre :

- le géomètre et l'architecte pour définir les repères et les dimensions permettant de «caler» le projet.
- L'architecte et le bureau d'études BA pour



d'exemple, prendre en compte, en matière de cotation des plans, les remarques exprimés par le préfabricant n'a pas posé de problèmes techniques insurmontables au bureau d'études. De même, l'intégration d'axes de chantier utiles à l'encadrement de chantier pour implanter les ouvrages (panneaux en particulier) n'a pas posé de grosses difficultés.

Réduire la problématique de la métrologie à ces exemples peut paraître simpliste. Cependant, la solution est plus à chercher dans des rapprochements, entre acteurs devant partager des informations, que dans l'élaboration de théories complexes. La cotation fonctionnelle, telle que l'a définie l'équipe - «*cotation adaptée à la main de l'utilisateur*» - traduit bien l'idée d'élaboration d'une convention entre celui qui trace et celui qui

définir les éléments «intouchables» du projet.

- Le bureau d'études et le préfabricant pour définir les cotes utiles («justes nécessaires» à la fabrication des panneaux et à leur manutention).
- Le bureau d'études et l'entreprise pour définir les axes de chantier, de manière à pouvoir positionner des ouvrages coulés en place et des panneaux.

Ces conventions ne sont pas uniquement bipartites. L'opération a montré qu'une concertation est par exemple indispensable entre l'architecte, l'entreprise et le préfabricant, ou entre le bureau d'études, l'entreprise et le préfabricant, ou encore entre le préfabricant, le fabricant des moules et l'entreprise. On peut émettre l'hypothèse que ces conventions pourraient s'organiser autour de l'entreprise qui met en oeuvre les produits, et qui est

la seule à implanter sur le chantier (en dehors d'interventions ponctuelles du géomètre). Le conducteur de travaux de l'entreprise de gros oeuvre constitue a priori un bon «pivot» pour une telle concertation. Il se situe au coeur des problèmes de production et est ainsi à même de préciser ce qu'est une «cotation adaptée à la main de l'utilisateur». Ainsi, le chantier n'aura fait que rappeler le caractère essentiel de méthodes de travail qui nécessitent un minimum de concertation, ce qui est néanmoins difficile à obtenir dans la pratique.

## ► MISE EN OEUVRE DES PANNEAUX

Le caractère pragmatique du «contentement de l'oeil» fait également référence à une convention. Le maître d'ouvrage et le maître d'oeuvre déclarent que le résultat est satisfaisant (ou non) du point de vue esthétique, étant entendu que les fonctions techniques sont par ailleurs réputées remplies (le contrôle de ces fonctions est généralement plus aisé, car résultant de mesures «objectives»). A défaut de principes plus rigoureux, il est essentiel de pouvoir transmettre les procédures qui permettent d'atteindre un résultat acceptable. Comme prévu, l'entreprise a élaboré un document qui répond à cet objectif. Associée à l'existence d'outils de réglage adaptés (les sabots CBC), cette procédure décrit les dispositions requises pour préparer la réception du panneau, son réglage «grossier», puis son réglage fin qui permet «de contenter l'oeil»

## ► CAMPAGNES DE MESURES

Les objectifs (ambitieux), qui auraient nécessité la mobilisation de moyens qui n'avaient pas été prévus ici, n'ont pas été atteints.

## ► LES FAÇADES EN PANNEAUX PRÉFABRIQUÉS

A bien des égards, le chantier Guise II (de même que Guise I) est exceptionnel. La réalisation de façades en panneaux préfabriqués est beaucoup

moins répandue qu'il y a quelques années. Plusieurs arguments expliquent cette évolution; ils tiennent pour une part essentielle aux évolutions du marché. Ainsi, la construction d'immeubles relativement bas, de petites tailles, implique une adaptation des techniques constructives. Les façades en panneaux préfabriqués n'ayant que rarement leurs faveurs. Pour illustrer ce propos, notons que l'entreprise C3B a réalisé trois chantiers de ce type en cinq ans. Cet état de fait induit deux conséquences. D'une part, il n'est guère utile de s'appesantir sur cette technique qui aura ici été utilisée à ses limites, tant les panneaux étaient complexes. D'autre part, cette relative rareté rend d'autant plus impérative une capitalisation des acquis de l'organisation et de la méthode de pose afin de la transmettre aux chantiers qui utiliseront néanmoins cette technique.

## ► LA MÉTROLOGIE DE CHANTIER

Bien que reposant sur un parti technique relativement rare, cette expérimentation aura permis de progresser dans la manière de poser les problèmes de métrologie du chantier, qui sont eux communs à tous les partis constructifs.

### Les principes

L'expérimentation aura (re)démontré que les difficultés observées ne sont pas insurmontables. Interrogé sur la manière dont il souhaitait que les plans des panneaux soient cotés, le préfabricant a exprimé des principes simples. Nul n'est mieux placé que lui pour définir les besoins inhérents à la fabrication de ses produits. Il a par ailleurs formulé des critiques sur le mode de cotation traditionnel. Les cotes indiquées sur le croquis ci-après sont redondantes et ne traduisent pas de méthode d'implantation des points A et B. Faut-il partir de la droite ? De la gauche ? Est-il indifférent de partir d'un côté ou de l'autre ? Suivant les fonctions associées à ces points A et B, préciser la méthode d'implantation peut être essentiel.



Le mode de cotation suivant exprime clairement une méthode d'implantation. Les cotes indiquées

ne prêtent pas à interprétation. L'opérateur partira naturellement du bord gauche, sans tâtonner pour repositionner son instrument de mesure en A afin de mesurer la distance AB.



Un jeune conducteur de travaux de l'entreprise a avancé des conclusions similaires. Ainsi, pour le traçage des positions des panneaux, il souhaiterait disposer d'une cotation qui s'appuie sur les axes du chantier et qui lui permette (avec le même instrument, sans en modifier l'un des points de référence) de repérer les emplacements des sabots, extrémités des panneaux, joints, etc. De même, lors du positionnement de pièces complexes (par exemple non planes), il souhaite que les points cotés sur les plans soient directement accessibles par des mesures effectuées à partir des axes du chantier. Ces principes seraient à affiner pour introduire la notion de cotes de contrôle, qui doivent être différentes des cotes d'implantation, mais se référer également au même repère.

## ► L'UTILISATION DE L'INFORMATIQUE

Si la cotation «standard» d'un logiciel de CAO courant est plutôt du type de celle du croquis 1, rien n'interdit qu'elle évolue vers une cotation du type de celle de la figure 2. L'outil informatique est potentiellement assez souple pour tendre vers une telle configuration : c'est aux utilisateurs d'exprimer le mode de cotation qui sera le mieux «adapté à leur main».

Il faut également souligner l'apport de l'outil informatique lors de la phase d'implantation des bâtiments. Ainsi, les recalages effectués, suite aux campagnes de mesure du géomètre après démolition, ont été facilités par l'utilisation de l'outil de dessin.

## ► L'ENSEIGNEMENT

La capitalisation des enseignements s'appliquant aux imprécisions dimensionnelles et à la métrologie de chantier reste peu accessible. Ceci tient peut-être à la manière de présenter ces sujets; pris sous



son aspect théorique, le problème devient en effet rapidement inextricable. Ainsi, malgré les efforts antérieurs visant à clarifier le sujet, le succès ne s'est pas avéré probant en terme de diffusion des résultats. Bien que les quelques principes simples issus de la pratique des utilisateurs de cotes soient sans doute imparfaits du point de vue théorique, ils s'inscrivent néanmoins comme un vecteur intéressant pour le développement de méthodes plus largement diffusibles auprès des opérateurs impliqués.

Enfin, un entretien mené avec trois compagnons en début de carrière confirme que la métrologie n'est pas un sujet abordé en formation initiale. C'est une lacune à combler.