

Habitat Grande Portée

REX BONNEUIL SUR MARNE _____

Auteurs

Jean-Luc SALAGNAC - CSTB

M; BARDOU; C; BRARD; D; MONTEILHET - BOUYGUES HABITAT

Rédaction - Mise en page

Christophe PERROCHEAU - Dac Communication

Photos

Jean-Luc SALAGNAC

Documents graphiques

BOUYGUES HABITAT

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 5
Problématique de l'expérimentation	p 5
Principe constructif des bâtiments HGP	p 6
Application du système constructif	p 7
► DÉROULEMENT DE LA DÉMARCHE	p 8
Organisation générale du chantier	p 8
Pose d'une poutre	p 9
Manutentions des matériaux	p 9
Gestion des pièces préfabriquées	p 11
► ÉVALUATION DE LA DÉMARCHE	p 12
Organisation du chantier	p 12
Relation avec le préfabricant béton	p 13
Flexibilité architecturale	p 13
► PERSPECTIVES	p 15
Perspectives techniques	p 15
Des questions pendantes	p 15
► BILAN DE L'ENTREPRISE	p 17
Le matériel de réalisation des portiques	p 17
Chrono-analyses	p 17
Manutentions en phase gros œuvre	p 19
Gestion des flux physiques des CES durant le gros œuvre	p 20
Synthèse des solutions d'approvisionnement	p 21
Identification par codes barres	p 22

Fiche technique :

REX BONNEUIL SUR MARNE

► RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

L'opération avait pour objectif d'expérimenter un système constructif à points porteurs en béton, baptisé Habitat Grande Portée (HGP). Ce système se caractérise notamment par un seul type de poteau et par une très faible densité des points porteurs grâce à la mise en œuvre d'un béton haute performance. Il permet ainsi de dégager de grands plateaux libres et offre de nombreuses possibilités d'animation des façades, tant en plan qu'en élévation. Outre les aspects techniques du procédé, il s'agissait pour l'équipe de mettre en place une organisation permettant de tirer parti des plateaux libres, notamment pour les approvisionnements des blocs de maçonnerie et des produits de second oeuvre.

► OPÉRATION SUPPORT

Le chantier se situe à Bonneuil-sur-Marne (94). L'opération comporte 160 logements collectifs répartis en huit bâtiments. L'opération s'est déroulée entre 1998 et 1999.

► PARTENAIRES DE L'EXPÉRIMENTATION

Maître d'ouvrage

OPHLM de Bonneuil sur Marne

Maîtrise d'œuvre

Cenci - Jacquot

Entreprise générale

Bouygues Habitat

Contact

Michel BARDOU - BOUYGUES HABITAT
1, avenue Eugène Freyssinet
78061 SAINT-QUENTIN EN YVELINES
Tel. 01 30 60 40 46 - Fax 01 30 60 38 21
e-mail : mbau@challenger.bouygues.fr

► 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 29 10
e-mail : salagnac@cstb.fr

Synthèse de l'évaluation

L'expérimentation de Bonneuil-sur-Marne avait pour objectif de tester un procédé constructif à point porteurs en béton, baptisé HGP (Habitat Grande Portée), conçu et breveté par l'entreprise Bouygues. Ce procédé résulte de recherches portant sur l'accroissement des possibilités d'adaptation des logements au cours du cycle de vie du bâtiment.

La structure poteaux poutres en béton est connue de longue date et très répandue dans de nombreux pays. L'innovation vient de l'utilisation de béton dits à «hautes performances» (BHP) qui autorisent des portées plus grandes qu'avec des bétons ordinaires, tout en conservant des dimensions courantes aux différents ouvrages.

Ces structures présentent une densité de poteaux beaucoup plus faible qu'avec un béton ordinaire. Dans le cas de la REX, la surface de plancher entre deux portiques (soit quatre poteaux) est d'environ 100 m². Ces performances ne constituent pas des limites absolues et pourraient être dépassées. La conception du procédé constructif permet par ailleurs de s'affranchir de la dalle de reprise en rez-de-chaussée en descendant les charges jusqu'aux fondations (en l'occurrence des pieux) le long des poteaux. Pour construire les portiques, des coffrages de poteaux, servant également de supports provisoires des poutres, ont été conçus.

Un autre aspect de la structure est la possibilité d'utiliser les porte-à-faux des poutres des portiques pour animer la façade des bâtiments.

Ces principes constructifs ont été mis en œuvre sur une opération de 160 logements à Bonneuil/Marne. L'adoption d'une structure HGP, alors que le projet était au stade de l'APS, a constitué une contrainte, car il a fallu traiter la prise en compte des singularités du système (retombées de poutres de 35 cm, trame de 7,5 m différente des trames habituelles, passage des réseaux) tout en respectant le travail déjà réalisé.

Les logements terminés présentent par ailleurs des joints entre prédalles de plancher apparents qui rythment le plafond par une rainure tous les 2,5 m.

Indépendamment de ces questions de conception, qui seront en particulier examinées au sein du programme national BHP 2000 et de l'école d'architecture de Paris la Villette (EAPV), le procédé HGP offre des possibilités d'organisation nouvelle pour la filière béton.

Ces possibilités reposent en grande partie sur la

mise à disposition de plateaux initialement libres de toute entrave à la circulation des produits et des équipes. Cette particularité a permis de tester plusieurs modes d'organisation des approvisionnements pour les produits de second œuvre.

Le principe retenu a consisté à libérer la grue de ces approvisionnements qui, pour l'essentiel, ont été assurés à l'aide d'un chariot élévateur à bras télescopique. La grue était ainsi totalement dédiée à la construction de la structure poteaux poutres (150 m² de plancher par jour) sans que les travaux de maçonnerie de façade, ni les cloisonnements, ne perturbent son cycle.

Ce chariot a été utilisé jusqu'au plancher du troisième niveau, en association avec un dispositif de sécurité innovant issu du secteur des transports. Il s'agit d'une porte basculante, couramment utilisée en bordure des quais de déchargement des camions, qui a été adaptée avec succès au chantier. Cet équipement permet, en sécurité pour les compagnons, de livrer les palettes de produits en bordure de plancher, puis d'assurer leur reprise pour les manutentionner à l'horizontal sur les plateaux d'étage.

Pour les étages plus élevés, la grue, alors libérée de la construction de la structure, a pris le relais. A la suite de l'expérimentation, des réflexions vont être engagées pour adapter cette porte de sécurité aux approvisionnements par grue.

Du point de vue économique, le procédé HGP ne procure pas de gains significatifs par rapport à un système constructif traditionnel même pour une opération de la taille de Bonneuil. Par contre, il offre dès maintenant un intérêt en terme de délai de réalisation. Les efforts à venir devront porter sur la conception de bâtiments tirant parti des atouts du système HGP (qui sont pour l'essentiel ceux présentés par les systèmes dits «à plateaux libres» également promus par des filières comme l'acier) en association avec une utilisation massive de produits industriels.

Ce dernier point ouvre des perspectives sur l'évolution des relations industrie-chantier, notamment à travers la mise en place d'un système informatisé de gestion des commandes et des livraisons des produits préfabriqués en béton que l'expérimentation aura amorcée.

Protocole d'expérimentation

► PROBLÉMATIQUE DE L'EXPÉRIMENTATION

Il est fréquent dans un centre commercial que l'activité de telle ou telle boutique change radicalement. En un délai bref, un magasin de vêtement pourra devenir un salon de coiffure, un magasin d'optique pourra s'étendre en transformant la bijouterie voisine.

Cette possibilité de transformation est un atout pour les clients commerçants, ainsi qu'un argument de vente pour les gestionnaires de surfaces commerciales.

Cette aptitude à remplir cette fonction est acquise grâce à des choix constructifs comme les structures poteaux-poutres et l'utilisation de techniques de planchers permettant des portées importantes (dalles alvéolées précontraintes en béton par exemple).

Le changement des réseaux et équipements dans ces locaux est facilité par le recours quasi général aux faux plafonds, qui procurent à la fois les volumes requis pour la circulation des conduits divers et des possibilités esthétiques variées.

Ces pratiques sont ainsi issues de la nécessité d'optimiser les investissements dans le nouveau local et de réaliser ces changements en de brefs délais. Il est rare que des travaux de gros œuvre importants soient à réaliser.

Comment se posent ces questions de l'évolution pour des bâtiments de logements ?

Quelques similitudes et différences peuvent d'emblée être soulignées.

La nécessité d'un délai bref de transformation, sans être a priori aussi prégnante que pour un local commercial, est néanmoins une des dimensions sensibles du problème, du fait de son incidence sur les coûts de l'opération.

Les mécanismes qui président à la décision de changement de composition de logements sont a priori plus lents. Si la possibilité d'évolution des espaces intérieurs des bâtiments de logement n'est pas spontanément exprimée actuellement comme une priorité par les maîtres d'ouvrages, ceux d'entre eux qui ont été confrontés au problème ont pu se rendre compte de la difficulté de telles opérations avec des bâtiments «traditionnels».

Pouvoir faire de telles transformations sans toucher de manière massive à la structure peut être un élément favorable à la prise de décision.



La technique dominante en France pour la structure des bâtiments de logements collectifs est le béton, notamment coulé en place. L'organisation des entreprises et les outils de production intègrent complètement ce fait. Cette caractéristique doit être prise en compte dans l'élaboration d'une solution au problème de l'évolutivité des bâtiments.

Les techniques de façade doivent également permettre de faire évoluer à moindre coût l'aspect du bâtiment.

La mise au point de telles solutions doit par ailleurs tenir compte des contraintes techniques réglementaires applicables aux logements (par exemple pour l'acoustique et la thermique).

C'est dans ce contexte que l'expérimentation baptisée «habitat grande portée» (HGP) entend proposer une réponse à la question de la mise à disposition de bâtiments «transformables».

Cette réponse technique et organisationnelle peut ainsi être perçue comme s'inscrivant dans une stratégie d'offre de procédés constructifs par une grande entreprise de bâtiment.

► PRINCIPLE CONSTRUCTIF DES BÂTIMENTS HGP

La structure HGP est constituée de poteaux et de poutres en béton ; elle permet une grande souplesse pour l'aménagement des cellules.

De même, cette structure est favorable à une reconfiguration de ces espaces au cours de la vie du bâtiment, car les ouvrages de séparation des différentes zones sont en grande partie non porteurs. Il devient ainsi possible modifier les cloison-



nements en limitant l'interaction de ces travaux avec le reste de la structure.

Par ailleurs, la transmission des charges par des éléments largement indépendants de ceux délimitant les zones du bâtiment, permet de varier les aménagements d'un étage à l'autre.

En soi, ce choix technique n'est pas original ; la solution technique poteaux-poutres en béton armé est très répandue, par exemple dans les pays du sud de l'Europe.

La particularité d'un bâtiment HGP est de recou-

rir à des «bétons hautes performances» (BHP) qui présentent des caractéristiques mécaniques fortement améliorées par rapport aux bétons utilisés pour les bâtiments de logement courants.

Ces bétons autorisent des grandes portées entre poteaux et entre poutres, ce qui diminue la densité de porteurs tout en conservant des épaisseurs de planchers courantes.

Le contreventement de la structure implique de réaliser des voiles banchés répartis en des endroits judicieux (par exemple en pignon et dans les noyaux de circulation verticale (escalier, ascenseur)).

Par sa conception, un bâtiment HGP permet de conserver une trame constante, depuis les garages en sous-sol jusqu'au dernier étage. La superstructure, qui prend appui sur les poteaux en infrastructure, évite la réalisation d'une dalle de reprise au niveau du rez-de-chaussée (ou du 1er étage, lorsqu'il y a des commerces en rez-de-chaussée), souvent nécessaire pour des bâtiments de logement en béton banché.

La structure HGP s'érige rapidement grâce à des produits préfabriqués (poutres, éléments de plancher) et en limitant le coulage de béton sur chantier (poteaux, dalles de compression, quelques voiles). L'érection des ouvrages verticaux intérieurs et périphériques peut se faire suivant plusieurs méthodes, mais le recours à des éléments industrialisés apporte a priori une cohérence avec le choix de reporter en usine une partie importante de la production.

L'approvisionnement des produits en étage est facilité par la mise à disposition rapide de plateaux libres ; leur montage peut s'effectuer à l'abri du plancher supérieur.

Comme nous le verrons plus loin, le report important de la production en usine influe sur l'organisation des interventions des corps d'état.

Cette structure par points porteurs ne dessert pas a priori le projet architectural. Les poutres sont en effet conçues pour permettre des portées jusqu'à trois mètres et demi, avec pour corollaire des possibilités d'animation des façades, tant verticalement pour les étages situés sur une même trame, qu'horizontalement d'une trame à l'autre, voire au sein d'une même trame.

Le procédé HGP fait l'objet d'un brevet.

► APPLICATION DU PRINCIPE CONSTRUCTIF

Dans le cas du chantier expérimental, les principales données associées à la mise en œuvre du procédé HGP sont les suivantes :

- **Béton pour les poteaux : BHP 50**

Le choix de ce niveau de performance est en grande partie lié aux calculs de la liaison poteau-poutre.

- **Béton pour les poutres : BHP 50**

Éléments préfabriqués

- **Dimensions des poteaux : 0,35m x 0,35m x 15m**

0,35m = retombée de poutre. Pour avoir la hauteur de la poutre, ajouter l'épaisseur du plancher (0,21m).

- **Écartement des portiques : 7,5m**

Cet écartement est réduit à 2,6m en quelques endroits pour des raisons architecturales.

- **Porte-à-faux des poutres : jusqu'à 3,5m**

- **Prédalles de planchers : 0,07m x 2,5m x 7,5m**

La dalle de compression est de 0,14m.

La mise à disposition de plateaux libres, la simplification des travaux de coulage en place offrent également des possibilités d'organisation du travail des équipes que l'expérimentation se propose d'explorer.

Il faut préciser que la décision d'adopter le procédé constructif HGP est postérieure au projet initial qui avait déjà été conçu sur la base de solutions traditionnelles.

► OBJECTIFS ORGANISATIONNELS

L'expérimentation est centrée sur le procès de production de bâtiments HGP. L'opération est constituée de deux groupes séparés d'immeubles, situés sur le même terrain et comprenant au total 160 logements.

Outre les aspects techniques, la démarche inclut les aspects organisationnels associés à la réalisation d'un bâtiment HGP.

Pour les approvisionnements des produits d'enveloppe et de second œuvre en étage, deux modes opératoires ont été envisagés.

Pour les premiers bâtiments (FGH), il était prévu d'approvisionner simultanément les cloisonnements et les éléments de maçonnerie, de manière



à bénéficier de la liberté de circulation sur des plateaux sans parois.

Pour les autres bâtiments (ABCDE), il était prévu de reporter les approvisionnements de produits de cloisonnement/doublage après la réalisation des murs et cloisons maçonnés. L'objectif était de limiter le temps de stockage avant la mise en œuvre de ces produits qui sont sensibles à l'humidité et aux chocs.

Déroulement de la démarche

► ORGANISATION GÉNÉRALE DU CHANTIER

Les bâtiments sont fondés sur pieux réalisés à la verticale des futurs poteaux de la structure.

Le procédé constructif permet d'élever rapidement la structure au prix d'une mobilisation importante de la grue, tant pour la manutention des poutres que par celle des prédalles et du béton, des poteaux et des planchers.

Deux poutres ont été posées par jour, ce qui a permis de réaliser quotidiennement environ 150 m² de plancher. Coulage du béton des poteaux

Cette organisation n'autorisait pas que les approvisionnements (blocs béton ou cloisons/doublages) perturbent le cycle de la grue.

L'entreprise générale a loué un chariot élévateur à bras télescopique (de type «Maniscopic» : coût de location de l'ordre de 16 kf HT par mois) pour assurer ces approvisionnements, en les découplant du cycle de la grue.

Après le montage de la structure, la grue a servi à la mise en place, en façade, des panneaux préfabriqués en béton. Durant ce cycle, elle a également assuré des manutentions de produits industriels, notamment dans les étages élevés, inaccessibles à l'aide du chariot élévateur.

► POSE D'UNE POUTRE

Préparation, positionnement

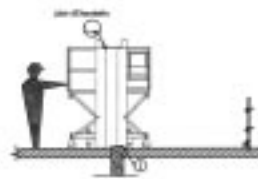
Chaque poutre préfabriquée repose sur deux poteaux coulés en place, à la tête desquels elle est assemblée par clavetage. Le clavetage est réalisé par prise du béton dans des ouïes réservées à cet effet lors de la fabrication de la poutre en usine.

Le coulage des poteaux et le clavetage se font en une seule opération de bétonnage. A cette fin, il est utilisé des coffrages de poteau qui servent également de support à la poutre.

La conception de ces coffrages a bénéficié des réflexions menées par Bouygues Habitat lors de la mise au point de la banche B96¹.

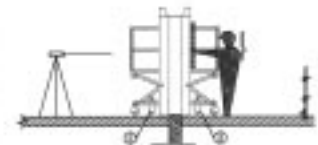
1 : Mise en place du Coffrage du POTEAU

- Déplacement manuel de l'outil
- Coulage de l'outil sur l'ancrage des Pieux (II)



2 : Mise à hauteur de L'OUTIL

- Réglage de la hauteur par les vérins (II)
- Réglage ajouté au laçage



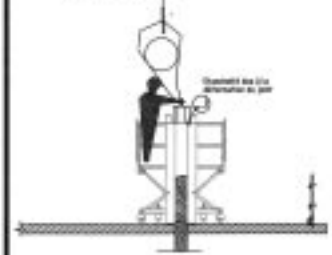
3 : Pose de la POUTRE

- Mise en place de la Poutre à l'aide de la Brue (II)
- Réglage de la Poutre à l'aide des guides



4 : Coulage du Poteau

- Coulage de Poteau jusqu'à l'axe supérieure la Poutre

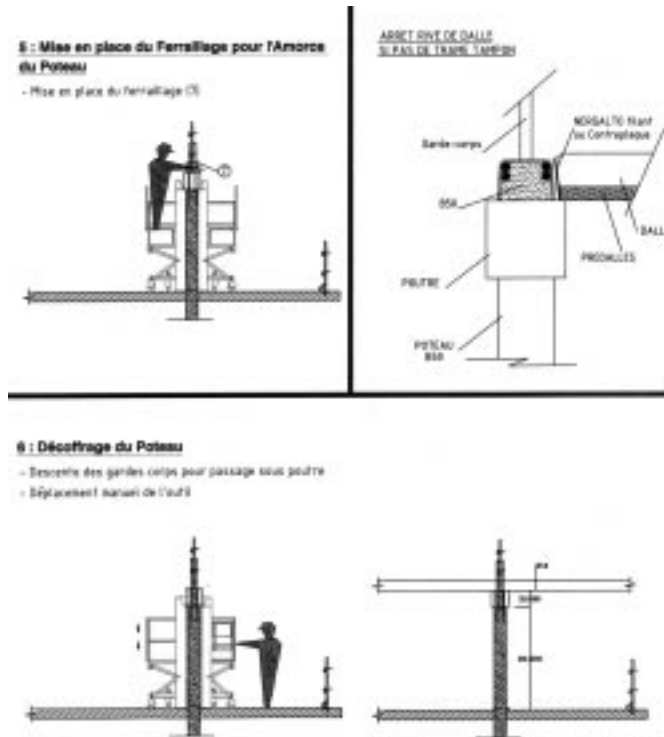


Ces coffrages de poteaux sont constitués de deux demi coquilles formant chacune un dièdre. Tous les poteaux ayant la même section, et la cadence prévue étant de deux portiques par jour, quatre coffrages ont été utilisés pour l'ensemble du chantier. Une attention particulière a été portée à l'optimisation des armatures des poteaux qui étaient également toutes identiques et «réversibles» (pas de sens «haut bas»).

La peau métallique de coffrage de chaque demi coquille est réalisée par pliage, afin de garantir la qualité des arêtes. Pour former le coffrage d'un poteau, deux demi coquilles sont serrées à l'aide de quatre fermoirs imperdables constitués d'étriers équipés de tiges filetées horizontales munies d'écrous de blocage. Des joints souples sont disposés suivant les lignes de jonction verticales des demi coquilles, ainsi que dans le plan horizontal de pose de la face inférieure de la poutre.

Pour s'adapter aux diverses configurations du chantier, les demi coquilles sont équipées de bras stabilisateurs constitués de supports articulés permettant de modifier leur position en fonction de l'espace disponible autour du coffrage.

1. CHENAF (M.) : La banche B96, Cahier expérimentation PUCA Chantier 2000 - PARIS, Cahiers du CSTB, décembre 1998



Des roues, fixées sur les bras de stabilisation, facilitent la fermeture et l'ouverture des coffrages et permettent de les déplacer horizontalement sur les plateaux des étages. Les déplacements plus importants, verticaux en particulier, sont réalisés à la grue.

Pour pouvoir passer sous les poutres déjà posées, les coffrages sont équipés de garde-corps escamotables réduisant leur hauteur hors tout.

Les réglages de hauteur et de verticalité sont effectués par un jeu de vérins à vis. Un fil à plomb, un niveau à bulle et un plan laser sont utilisés pour ces opérations.

La position des poteaux est matérialisée sur les planchers par des talonnettes en béton coulées avant l'opération de coffrage. Les demi coquilles du coffrage viennent enserrer ces talonnettes.

Une fois les deux coffrages correctement positionnés et réglés, la poutre est élinguée au crochet de la grue et amenée à la verticale des coffrages.

Le positionnement latéral de la poutre est assuré par des guides situés en tête de coffrage. Le positionnement longitudinal est réalisé par mise en correspondance de deux repères tracés respectivement sur un des coffrages et sur la poutre. La

position du repère sur la poutre étant déterminé par référence au porte-à-faux.

Une fois la poutre positionnée et en appui sur les deux coffrages, les élingues sont détachées. Des dispositifs intégrés au coffrage permettent de réaliser toutes ces opérations dans de bonnes conditions de sécurité. Quelques étais sont provisoirement disposés jusqu'au coulage du plancher supérieur. Lors des observations, le temps écoulé entre le début de la manutention par la grue de la poutre élinguée, stockée sur la remorque de transport, et de désélingage après positionnement de la poutre sur les coffrages supports a été de dix minutes.

Coulage du béton des poteaux

Le béton est coulé à travers les deux ouïes verticales ménagées

dans la poutre qui servent également de volume pour le clavetage. Le volume de BHP employé est d'environ 1,2 m³ par portique, soit 195 m³ pour l'ensemble du chantier. Le surcoût de ce BHP, par rapport à un B25, est de l'ordre de 115 F HT/m³.

Le coulage du BHP nécessite une attention particulière du fait de la cinétique de prise. Lors d'une démonstration, l'aspect du béton présent dans une première toupie laissait supposer une prise déjà bien avancée. Cette hypothèse s'est confirmée à la première tentative de coulage, le béton ne pouvant descendre dans la manchette : une deuxième toupie de BHP a dû être livrée.

Cet incident, peu fréquent lors du chantier, a concerné cinq toupies de BHP sur environ quatre-vingts, (nombre évalué sur la base d'une toupie pour quatre poteaux).

MANUTENTIONS DES MATÉRIAUX

Organisation générale

Après analyse de différentes solutions suivant des critères de souplesse d'utilisation, de coût, de sécu-

rité, l'entreprise générale a opté pour la location d'un chariot élévateur avec fourche télescopique. Bien qu'il permette d'approvisionner jusqu'au cinquième niveau de plancher, l'engin n'a été utilisé que pour les quatre premiers niveaux pour des raisons de sécurité.

Outre les produits qu'il était envisagé d'approvisionner ainsi dès l'origine (blocs à maçonner pour façade et cloisons, plaques de plâtre), le chariot élévateur a également servi de manière intensive pour certains produits (menuiseries extérieures après regroupement de châssis de dimensions voisines, appuis de fenêtre), et occasionnelle pour d'autres (berceaux d'étais, outillage).

Pour les étages supérieurs, la grue, plus disponible à ce stade du chantier (la structure HGP était terminée), a été utilisée.

Portes TRIAX

Des dispositifs de sécurité, localisés aux points de livraison des produits manutentionnés à l'aide du chariot élévateur, ont été mis en place. Dérivés de ceux utilisés en bordure des quais de déchargement des camions dans les entrepôts industriels (produit TRIAX), ces dispositifs permettent de maintenir une barrière anti-chute pendant toutes les phases de la livraison des produits :

- approche du lieu de livraison en étage par la fourche du chariot élévateur,
- dépose des produits par le chariot élévateur,
- reprise manuelle des produits pour approvisionnement à pied d'œuvre sur le plateau d'étage.

La barrière TRIAX mise en œuvre est un produit que le fabricant a adapté aux particularités du chantier à partir d'un modèle standard. Les principales modifications, étudiées en partenariat avec l'entreprise, ont porté sur les supports (multiplication des points possibles de fixation) et sur le renforcement mécanique de l'ensemble.

Jusqu'à six barrières délimitant six zones de livraison ont été utilisées simultanément.

Chaque barrière est constituée d'un ensemble mécano-soudé en acier, protégé d'une couche de peinture émaillée. Ces pièces métalliques sont solidaires d'un châssis, fixé au plancher par des goujons. Une partie de cet ensemble peut tourner autour d'un axe horizontal pour prendre une des deux positions stables possibles.

Dans chacune de ces positions, la zone de livraison est entourée sur trois côtés d'une barrière de protection. Le quatrième côté est d'accès libre.

Mode opératoire

Le conducteur du chariot (compagnon de l'entreprise) saisissait et soulevait une palette posée au sol à l'aide de la fourche du chariot élévateur. Le chariot était ensuite positionné au droit de la zone de livraison. Les béquilles latérales de stabilisation étaient mises en place. Des repères peints sur le sol en béton guidaient le conducteur lors de ces manœuvres.

Les mécanismes du bras télescopique étaient actionnés pour amener la charge au niveau du plancher de livraison. La barrière TRIAX était alors en position qui permettait d'accéder à la zone de livraison depuis l'extérieur. La manœuvre d'approche du colis était guidée par un compagnon situé à l'étage, en vue du conducteur et protégé d'une chute éventuelle par la barrière TRIAX.

Cette manœuvre se terminait par la dépose du colis dans la zone de livraison, le retrait de la fourche et le repliement du bras télescopique.

La barrière TRIAX était alors basculée dans l'autre position stable par un compagnon présent à l'étage. Cette manœuvre ne demandait qu'un effort très limité, la partie mobile étant équilibrée mécaniquement par conception. Au cours de ce changement de position, le compagnon restait protégé d'une chute éventuelle.

À la fin de cette manœuvre, la palette était entourée sur trois côtés par la barrière. Un transpalette était alors glissé sous la palette par le quatrième côté. Une fois la palette soulevée, les compagnons la déplaçaient, chargée de blocs, sur le plancher. Ce déplacement s'effectuait depuis le point de livraison jusqu'au lieu de pose repéré par une marque au sol, conformément au plan de calepinage élaboré par le bureau d'études en concertation avec l'équipe travaux. La circulation des colis, à l'aide du transpalette, s'effectuait sans difficulté particulière malgré les étais, du fait de la forme de la palette de blocs en béton (base carrée de 1 m de côté).

De même, la circulation des palettes de plaques de plâtre, qui sont plus encombrantes, a pu s'opérer sans difficulté dans la mesure où la densité d'étais était moindre.

Dispositions particulières

L'entreprise générale a recherché des solutions pour limiter les risques de chute de produits lors des manutentions de palettes à l'étage par chariot élévateur. Le problème est aigu pour les blocs creux en béton, empilés sur sept rangs, du fait de la hauteur des colis. Un filmage des deux derniers

rangs de blocs, ainsi qu'un cerclage du rang supérieur, ont été testés. Cette dernière solution n'a pas été généralisée pour des raisons de coût. Une solution par housage de la palette a également fait l'objet d'une étude sans suite opérationnelle. Comme prévu, les palettes de cloisons et de doublages destinées aux premiers bâtiments ont été approvisionnées plusieurs semaines avant leur mise en œuvre. Environ 10 % des produits ont été endommagés par chocs et par humidité pendant ce laps de temps. La mise en œuvre d'une partie de ces produits a néanmoins pu s'effectuer au prix de travaux supplémentaires.

Pour les bâtiments suivants, les palettes ont été approvisionnées après la réalisation des murs de maçonnerie extérieurs et intérieurs. Cette disposition a nécessité de différer la réalisation de quelques murs de façade et de séparation entre logements de manière à libérer les passages nécessaires au transport des palettes. La durée de stockage des produits plâtre, avant mise en œuvre, a ainsi été réduite, ce qui est favorable à la conservation de leurs propriétés initiales.

Les menuiseries PVC étaient transportées du camion au pied de bâtiment à l'aide du chariot élévateur. L'ordre de rangement des produits sur les supports en bois correspondait à un ordre de fabrication en usine et non aux contraintes de mise en œuvre sur chantier. Après le tri, puis le regroupement de fenêtres de dimensions voisines sur un support en bois, les colis étaient manutentionnés par le chariot élévateur. Ce mode de manutention a concerné à peu près la moitié des produits, le reste étant transporté manuellement dans les étages.

► GESTION DES PIÈCES PRÉFABRIQUÉES

L'équipe a développé un système informatique de gestion des pièces préfabriquées lors du chantier, avec la contribution d'un élève ingénieur en stage. Ce système est constitué d'une chaîne de saisie et de traitement d'informations :

- édition de codes à barres sur les plans traduisant les caractéristiques de chaque pièce (repère et lieu de pose);
- stylo de lecture de ces codes à barres;
- dispositif de transfert à un micro ordinateur des informations saisies par le stylo;
- traitement sous EXCEL des informations (généra-

tion de commande, préparation de fax de commande, suivi des factures, traitement des anomalies).

Les plans étaient édités systématiquement avec les codes à barres associés aux éléments. Des étiquettes, portant ce même code à barres et l'information en clair, étaient également éditées et fixées sur des supports résistant aux conditions de chantier.

Poutres

La pose de l'ensemble des cent quatre-vingts poutres a été gérée en utilisant un code «géographique» (bijection code de poutre/lieu de pose), matérialisé sur les étiquettes collées aux poutres en des endroits aisément accessibles à la lecture par le stylo électronique.

Après une période de rodage sur les bâtiments FGH, ce mode de gestion a donné satisfaction pour les poutres préfabriquées destinées aux bâtiments ABCDE.

Éléments de façade

La procédure et le logiciel de gestion des flux des éléments de façade préfabriqués, en béton blanc ou poli, ont été mis en œuvre lors des travaux sur les bâtiments A à E. Les pièces étaient normalement dotées d'une étiquette portant un code inscrit en clair, sous forme de barres interprétables par le système informatique selon le principe utilisé pour les poutres.

Cette étiquette n'étant pas collée, mais attachée à l'aide d'une ficelle, environ 70 % des pièces sont arrivées munies d'une étiquette sur le chantier. Les étiquettes des pièces de grande dimension, ou des pièces disposées l'une contre l'autre, n'ont pu être lues du fait de leur inaccessibilité. L'étiquetage de quelques pièces semble également avoir été omis. L'organisation de ces flux ne respectait pas une logique d'adressage «géographique» des éléments de façade, contrairement aux poutres qui sont des pièces uniques. Certains éléments de façade en béton sont en effet fabriqués en plusieurs exemplaires et peuvent être interchangeables sans conséquences sur la qualité de l'ouvrage. En terme de gestion, l'essentiel est qu'une pièce soit du « bon type »; il est secondaire que son adresse géographique corresponde exactement au lieu de pose.

Evaluation de la démarche



► ORGANISATION DU CHANTIER

Par rapport aux attendus de l'expérimentation, le chantier aura confirmé le potentiel d'organisation associé au parti constructif HGP.

Le fort découplage entre le montage de la structure et la conduite des autres travaux aura servi de ligne conductrice à la mise en place de l'organisation du chantier.

Durant l'érection de la structure, la grue est trop saturée pour réaliser d'autres tâches. Ceci implique la mise en œuvre de moyens adaptés pour effectuer les manutentions indispensables.

Parmi ces moyens, le recours au chariot élévateur aura, en association avec les portes TRIAX, constitué un élément essentiel pour assurer les approvisionnements en sécurité de nombreux produits aux étages. On peut noter que le chantier s'est approprié ce moyen de manutention pour des produits dont la livraison en étage n'était pas prévue initialement.

La généralisation de l'utilisation de cet engin à d'autres produits, comme les menuiseries extérieures, nécessiterait une réflexion avec les fabricants pour aboutir à un accord sur les conditions de conditionnement, tant pour la composition des colis que leur réalisation, ceci pour les rendre com-

patibles avec l'usage du chariot élévateur.

Ce point critique d'organisation ressort fréquemment lors de chantiers expérimentaux centrés sur les questions d'approvisionnement. La solution n'est pas qu'une question économique ; elle passe aussi par la reconnaissance mutuelle des points de vue différents du manufacturier et du chantier.

Le fabricant de menuiseries extérieures dispose fréquemment d'un outil de production automatisé qui lui permet théoriquement de faire du «sur mesure au prix de la série». Ses critères d'optimisation tiennent compte avant tout des types de fenêtres à fabriquer, de leur nombre, de la manière dont les plateaux des camions seront remplis, des stocks et des chutes de profilés.

Les exigences du chantier, en terme d'ordre de livraison, de regroupement des menuiseries en fonction de critères propres à la production sur site, ou de disponibilité de moyens de manutentions, sont encore mal satisfaites pour deux raisons :

- ces exigences ne sont souvent pas formulées explicitement par le chantier ;
- la recherche d'optimisation de la production en usine peut moduler, voire s'opposer à ces demandes.

Cette question, qui n'est pas nouvelle, prend un relief particulier dans le cadre de HGP car l'incompatibilité entre les organisations du chantier et du manufacturier est exacerbée.



La structure du bâtiment HGP est constamment lisible et appelle à ce que tous les produits industriels arrivent au bon moment et dans le bon ordre.

► RELATION AVEC LE PRÉFABRICANT BÉTON

L'amorce de mise en place d'un système de gestion informatisé des livraisons de produits préfabriqués en béton (poutres et panneaux de façade) éclaire ces mêmes problèmes de liaisons industrie-chantier sous un autre angle.

Le goulet d'étranglement ne se situe pas au niveau des outils informatiques, même si le bureau d'étude, en collaboration avec le service des méthodes de l'entreprise, a dû faire quelques efforts pour systématiser l'impression de codes à barres sur les plans pour repérer les pièces.

De même, le prix jugé encore élevé du stylo lecteur de ces codes ne saura constituer un argument à l'encontre du développement de tels systèmes informatisés dans un futur très proche,

même si les flux restent très faibles (quelques saisies par jour). Un tableur satisfait par ailleurs amplement à la nature des traitements d'information à effectuer.

Le problème à résoudre est celui de la mise en cohérence de la culture du chantier et celle de l'industrie.

Malgré la proximité (géographique, appartenance au même groupe) entre l'entreprise et le préfabricant, le chantier aura mis en lumière la nécessité d'instaurer une communication autour d'enjeux communs pour que ces outils informatisés de gestion soient à l'origine de bénéfices partagés.

Généraliser un système de gestion informatisé des livraisons à d'autres produits nécessitera de prendre en compte la multiplicité des situations entre des sous-traitants et des fournisseurs qui n'entretiennent pas toujours des relations suivies. Ceci n'est pas de nature à faciliter l'élaboration de protocoles d'échanges d'information compatibles avec une organisation générale du chantier, quel qu'en soit par ailleurs son mode de pilotage (entreprise générale ou autre).

Le développement des démarches d'assurance qualité entraîne la nécessité de « tracer » les informations de production. Cette traçabilité génère à son tour l'usage des outils informatiques. C'est pendant cette phase de montée en puissance de ces méthodes de gestion de production que devraient être posés les termes de la mise en cohérence entre les deux univers de production.

► FLEXIBILITÉ ARCHITECTURALE

La flexibilité architecturale est avancée comme argument en faveur du parti constructif HGP.

Tirer parti de cet argument nécessite à l'évidence une concertation étroite entre l'architecte et l'entreprise. Même si le système HGP est « flexible », il impose des contraintes qui doivent être exposées et analysées pour définir des solutions répondant aux exigences du programme.

La force de l'argument réside dans la performance de grande portée autorisée par les BHP. Les portées atteintes à Bonneuil ne constituent pas des limites absolues. Il existe un champ à explorer pour que la conception des logements puisse tirer parti des performances offertes.

Le programme national BHP 2000, dont une réunion d'un des groupes de travail s'est tenue

pendant le chantier, travaille dans ce sens. Des enseignants de l'Ecole d'Architecture de Paris la Villette (EAPV) proposent également à leurs étudiants de prospecter ce domaine.

Le chantier de BONNEUIL apporte quelques éléments pour alimenter ces réflexions.

Retombées de poutres

Dans la mesure où la surface inscrite entre deux portiques (environ 100 m²) est nettement supérieure à la taille moyenne des logements construits, les retombées de poutres dans les logements sont inévitables.

Par rapport au schéma de principe, qui propose dans certains cas de placer un logement par trame, il aura fallu placer jusqu'à quatre logements dans trois trames.

Le traitement des retombées de poutres a donné lieu à plusieurs types de solutions, étudiées en détail par l'architecte et le bureau d'étude de l'entreprise : intégration dans les parties communes, dans un séparatif de logement ou en limite de pièces par exemple.

Réseaux

Le positionnement «rationnel» des passages des réseaux verticaux à proximité des poteaux s'est trouvé pris en défaut sur le chantier. Une étude précise du cheminement des différents réseaux a dû être faite au cas par cas. Pour des raisons de résistance mécanique, il n'était pas possible de ménager des réservations dans l'âme de la poutre de manière à faire passer les réseaux au droit des cloisons situées sous ces poutres. Il a fallu fréquemment contourner les poutres (largeur 35 cm) pour ramener ensuite les réseaux le long des poteaux (largeur 25 cm). L'encoffrement des réseaux se trouve alors à 10 cm de la face du poteau, ce qui réduit d'autant la largeur de la pièce concernée.

Ces points singuliers doivent être traités de manière globale, dans le cadre d'une réflexion sur les retombées de poutres. Le positionnement d'une cloison sous une poutre est-il la seule solution, sachant qu'il occasionne des difficultés de circulation des réseaux ? Faut-il, au contraire, éviter de placer les cloisons sous ces poutres, ce qui suppose alors l'intégration d'une retombée de poutre dans une pièce.

Joints de prédalles

L'utilisation de prédalles préfabriquées de forme

rectangulaire d'une largeur de 2,5 m rend inévitable la présence de joints aux plafonds dans plusieurs pièces. Deux solutions ont été envisagées pour les traiter : les laisser apparents ou les couvrir avec un profilé.

La première solution a été retenue par le maître d'ouvrage.

Il sera intéressant de voir comment les occupants s'approprient cette singularité.

Abouts de poutres

Les schémas de principe des bâtiments HGP montrent que les abouts de poutres peuvent être visibles. Les cacher, comme à BONNEUIL, implique de mettre en place des ouvrages remplissant cette fonction, en l'occurrence des bandeaux ou des plaques préfabriquées.

Tous ces points sont spécifiques au projet de Bonneuil/Marne, dont il faut rappeler qu'il avait été conçu avant de faire le choix du système HGP.

Perspectives

L'expérimentation pose les termes d'une possible évolution du chantier de logement vers une nouvelle utilisation du béton, ouvre des perspectives techniques tant sur le plan de la productivité, de la gestion des flux que de la sécurité. Elle laisse également pendante quelques questions relatives au positionnement du procédé HGP par rapport au marché du logement.

► ASSEMBLAGE DE PRODUITS INDUSTRIELS

La rationalisation de la production que sous-tend la conception d'un bâtiment HGP vise à mieux maîtriser les délais et à clarifier l'utilisation des ressources, en particulier de la grue. Ce parti constructif rappelle d'autres tentatives faites avec d'autres matériaux, notamment l'acier.

Les logiques de ces deux voies de développement se rejoignent sur plusieurs points :

- report massif de la production du bâtiment en usine,
- évolution vers un chantier d'assemblage de produits industriels,
- recours à des produits industriels pour l'enveloppe et les cloisons,
- mise à disposition de plateaux libres offrant des possibilités importantes en terme d'organisation des flux et des tâches,
- «plombage» des structures.

Dans les deux cas, tirer bénéfice des atouts de la structure poteaux-poutres nécessite des études de conception poussées et une préparation soignée. Ceci implique notamment de faire participer les corps d'état et les fournisseurs industriels en amont de l'opération.

Une différence importante toutefois tient dans le matériau lui-même.

La «culture du béton» acquise par les entreprises présentes sur le marché du logement collectif est un élément favorable à l'appropriation du procédé HGP qui valorise les performances du BHP.

► PERSPECTIVES TECHNIQUES

Le recours important aux produits industriels appelle une rationalisation des relations chantier-fournisseurs. Le parti constructif HGP est en effet plus cohérent avec des techniques d'assemblage

que de façonnage sur place.

Pour ce faire, il faudrait d'une part définir le contenu de la «boîte à outils» HGP, c'est à dire le catalogue des solutions de détails identifiant les produits industriels adaptés à satisfaire les fonctions désirées. Il conviendrait d'autre part de travailler avec les industriels concernés sur les conditions de mise à pied d'œuvre de ces produits (ordre de livraison, conditionnement, information accompagnant les produits, procédures et accessoires de mise en œuvre par exemple).

Ce travail accompli, la gestion des flux de ces produits pourra bénéficier des apports des outils informatiques, comme celui développé à Bonneuil. Ces développements devraient permettre au secteur, dans son ensemble, de faire progresser la communication entre le chantier et ses fournisseurs. Sans doute faudra-t-il mettre en place des actions structurées complémentaires à cet effet. Par exemple, rassembler les principaux intéressés afin qu'ils définissent ensemble ce qui constituera demain le «vocabulaire de base» et la «syntaxe» d'un langage de communication adapté aux besoins de la communication chantier-fournisseurs.

Compte tenu de l'intérêt de l'association du chariot élévateur et des portes TRIAX, il paraît opportun d'engager une réflexion pour adapter ces portes à d'autres outils de levage, par exemple la grue à tour.

► DES QUESTIONS PENDANTES

Par delà ces perspectives, il reste quelques questions sans réponse complètement satisfaisante.

Articulation conception-production

Une nouvelle fois, le chantier aura montré l'intérêt de définir les options techniques le plus tôt possible, afin d'en tirer le meilleur parti au bénéfice du projet. Il aura également redémontré l'importance d'une réelle phase de préparation de chantier.

C'est au prix d'une telle démarche que l'on peut espérer mieux maîtriser les délais et optimiser les ressources du chantier.

Les travaux qui vont s'engager à l'EAPV et se poursuivre dans le cadre du programme national BHP 2000 viendront probablement éclairer cette question.

Domaine d'excellence de HGP

Cette question est à explorer dans le sillage du questionnement précédent.

En comparant deux bâtiments R+5, de même surface et de typologie de logements semblable, l'un construit en traditionnel, l'autre suivant le procédé HGP, la différence n'est pas tant sur le coût final (différence estimée de l'ordre du pour-cent), que sur la possibilité de réduire le délai de construction et, donc, de réceptionner le bâtiment plus rapidement.

Dans le cas de Bonneuil, ce gain de délai est estimé par l'entreprise à un mois et demi, évalué à 600kf sur la base d'un loyer mensuel de 3000 F par logement. Un tel montant représente à peu près 1% du montant du marché de l'entreprise générale.

Une autre approche consiste à comparer qualitativement les déboursés et les frais de chantier pour les deux modes constructifs. La construction d'un étage de bâtiment HGP mobilise moins de ressources qu'en traditionnel (moins de banches, de coffrages divers), mais est plus onéreuse en matériaux et main d'œuvre (BHP, produits industriels). L'avantage étage par étage est ainsi en faveur du traditionnel.

Un bilan, incluant le gain lié à la suppression de la dalle de reprise et les éléments précédents, fait apparaître un intérêt pour des bâtiments HGP n'excédant pas quatre à cinq niveaux.

Rappelons dans l'espace disponible autour du bâtiment est un élément favorable à la mise en œuvre du procédé. Il autorise a priori un découplage fort entre la grue, qui peut se consacrer au montage de la structure, et l'approvisionnement des autres produits à l'aide d'un autre moyen de levage, par exemple un chariot élévateur. Si l'espace est trop restreint pour envisager une telle organisation, le potentiel de réduction de délai peut ne pas s'exprimer.

Ces éléments esquissent un premier cadrage des domaines dans lesquels les bâtiments HGP pourraient trouver leur marché ; ils montrent aussi l'intérêt d'approfondir les réflexions sur des cas précis.

Adaptabilité des logements

La possibilité de reconfigurer les logements d'un bâtiment au cours de son cycle de vie est un argument qui a déjà prévalu pour d'autres opérations expérimentales².

La maîtrise d'ouvrage ne s'est jamais clairement



prononcé vis-à-vis de cet argument. Sans doute faut-il travailler encore cette question pour mieux positionner les procédés constructifs à plateaux libres, dont HGP.

Une piste de développement concerne les bâtiments de logements pour étudiants qui présentent à l'origine une trame répétitive s'associant bien avec le procédé HGP. S'ils sont amenés à changer de destination, de tels bâtiments pourraient évoluer sans qu'il soit nécessaire de toucher à la structure. Cet argument était au centre d'une des premières REX Chantier 2000³.

Il est important de bien explorer cette question car les réponses peuvent influencer sur l'évolution du système. Faut-il conserver une flexibilité « systématique », c'est à dire ne réaliser que des portiques, ou la moduler en transformant quelques portiques (situés par exemple en pignon ou au niveau des joints de dilatation) en voiles ?

Pour alimenter ces réflexions, on pourra se reporter à des travaux anciens sur la « flexibilité » dans le cadre de toutes premières années du Plan Construction⁴ et à des analyses qui en ont été faites en intégrant des expériences étrangères⁵.

2 SALAGNAC (J-L) .- Des dalles alvéolées en logement
Cahier expérimentation
Chantier 2000 .- PARIS, PUCA,
1997

3 SALAGNAC (J-L) .- REX Zac
du lac de Maine à ANGERS,
rapport d'évaluation CSTB (PSL
95-017) .- PARIS, CSTB, 1995 -
Doc PUCA : Ex 185

4 ABRAM (J), GROSS (D) .-
Bilan des réalisations expérimentales
en matière de technologie nouvelle - Plan
Construction 1971-1975 .-
Paris, Plan construction/Le
moniteur, 1983

5 MARGHIERI (I), PERIANEZ
(M) .- Le développement de
l'habitat évolutif .- PARIS,
Cahiers du CSTB n° 2147, 1987

Bilan de l'entreprise

► LE MATÉRIEL DE RÉALISATION DES PORTIQUES

Sur les chantiers «Habitat Grande Portée», l'équipe de compagnons affectée aux verticaux a pour mission principale l'exécution des portiques. Le chantier de Bonneuil représente 180 portiques portés par 312 poteaux. C'est pourquoi leur exécution a été l'objet d'une étude approfondie de la part des méthodes et des travaux.

Solutions envisagées

- Utiliser la méthode «traditionnelle» consistant à couler les poteaux puis à poser et claveter les poutres en deux phases séparées, et donc dissocier l'outillage de coffrage des poteaux de l'outillage de clavetage et d'étalement des poutres.
- Créer un outillage spécifique permettant l'exécution de ces deux tâches en une seule phase et ce, avec un matériel unique. Seul inconvénient de ce mode opératoire : la nécessité de réaliser une talonnette avant la mise en place du coffrage.

Compte tenu du nombre de réemplois, l'utilisation d'un matériel standard a été rapidement écartée au profit d'un outil spécifique répondant aux besoins du chantier. Cette solution est plus performante comparée à une recherche de matériel existant sur le marché. Elle a pour avantage de répondre pleinement aux besoins du système. Plus coûteuse en terme de matériel, elle présente plusieurs avantages.

- Limiter le nombre de phases et donc simplifier le cycle en diminuant le nombre de postes de travail.
- Chaque tâche élémentaire est simplifiée :
 - le coffrage de dimensions fixes ne nécessite qu'un réglage en hauteur et en verticalité.
 - le coffrage sert à la fois d'étalement provisoire et de réglage en hauteur de la poutre.
 - le clavetage et le bétonnage du poteau se font en une seule et même opération.
- Le coffrage évite un poste de travail spécifique pour le clavetage de la poutre.
- Outil spécialement adapté à sa fonction.

Caractéristiques

Les principaux critères qui ont orienté la conception de l'outil sont : l'ergonomie ; la sécurité ; l'affranchissement de l'utilisation de la grue ; la qualité de l'ouvrage exécuté ; un outil auto-organisant ; des pièces imperdables.

D'où l'adoption des solutions suivantes :

- système de roulage intégré autorisant le déplacement des coffrages sans la grue. Cela permet de casser la liaison critique entre la grue et l'ouverture, le déplacement, et la fermeture des poteaux. On obtient ainsi non seulement un gain en temps de grue (critère très important sur un chantier à très forte saturation de grue comme Bonneuil), mais également une plus grande autonomie des équipes dans leur organisation journalière. Ce système de roulage intègre le déploiement d'une roue complémentaire permettant de réduire l'encombrement en phase coffrage tout en conservant une bonne stabilité en phase roulage;
- gardes corps escamotables pour permettre ce roulage, notamment lors du passage sous les poutres;
- coffrage équipé de joints verticaux à la jonction des deux demi-coquilles et à la jonction horizontale coffrage/poutres. Ces éléments assurent une très bonne qualité de jonction tout au long du chantier;
- mode de serrage réalisé par des éléments imperdables et hors béton afin d'éviter de reboucher les trous de tiges habituels tout en facilitant le travail des compagnons.
- accès à la passerelle de travail subordonné à la mise en position «sécurité» des gardes-corps. Cette mise en position se fait aisément depuis le sol. L'accès est facilité par la mise en place de poignées dédiées à cet effet.
- coffrage équipé en tête d'un système de guidage permettant une mise en place précise et rapide de la poutre préfabriquée de plusieurs tonnes. Ceci simplifie la tâche des compagnons tout en limitant la durée d'utilisation de la grue.

► CHRONO-ANALYSES

Deux objectifs ont présidé à la campagne de chrono-analyse :

- actualiser les temps de la « bible de saturation » pour la grue et la main-d'œuvre ;
- évaluer la pertinence de l'organisation mise en place.

Méthodologie

Il s'agit de décomposer chronologiquement en tâches élémentaires (blocs de temps) l'activité complète de l'équipe des horizontaux, des verticaux et de la grue durant une journée. Les mesures visent à créer des temps de référence qui

devront être mis à jour lors de prochains chantiers de même type.

La méthode de sondage employée est celle des observations instantanées. Après détermination d'un pas de travail (ici 2 minutes), il s'agit de «photographier» la tâche réalisée par la grue et celle réalisée par les compagnons de l'équipe observée. Cette tâche est identifiée à l'une de celles contenues dans le bordereau des blocs de temps.

La prise de mesures s'effectue à l'aide d'un outil informatique adapté (Organiser). Les relevés se

sont déroulés durant 7 jours, sur les bâtiments ABCDE. Il s'agit ensuite de procéder à un dépouillement des temps observés et des quantités afin de restituer les temps élémentaires (T.E.) pour chaque tâche.

Les résultats de ces chrono-analyses serviront au bureau des méthodes pour prévoir les effectifs des futurs chantiers, la synthèse des temps permettant de constituer une «bible de saturation» de main d'oeuvre et de grue afin de réaliser des simulations et des prévisions.

Analyse des résultats

Quantités mises en œuvre pour 160 logements

	Bâtiments A B C D E	Bâtiments F G H	TOTAUX	
Nbe de poteaux HGP	202	110	312	195 m3 (BHP)
Nbe de poutres HGP	117	63	180	274 m3 (BHP)
MI de poutres			2235 ml	
Long. moy. d'une poutre			12 m long. maxi : 15 m	
Surface totale de plancher SHO cis infra	13669	4960	18629 m2	
Pièces préfa extérieures hors poutres et prédalles	417	155	572	
Nbe de prédalles	762	415	1177	

Durée des cycles en jours ouvrés cis RDC et hors aléas

Bâtiments FG H : 35 jours

Bâtiments ABCDE : 62 jours

Synthèse des résultats pour un jour moyen de cycle durant chrono-analyse

1. Horizontaux (hors sécurité, escaliers et allèges préfa)

- Temps de grue
- Changement élingue : 0,06
- Pose de prédalles : 1,76
- Stockage 60% : 0,81
- Bétonnage plancher : 1,57
- Total : 4,20h**

- Temps de main d'œuvre
- Décoffrage : 6,03



L'utilisation de composants préfabriqués a pour effet de diminuer fortement la quantité de béton à couler en place (-30% par rapport à une superstructure traditionnelle). Il faut alors profiter et exploiter au mieux la structure HGP qui offre de vastes espaces par plateaux, de manière à rationaliser les flux physiques des différents corps d'état.

- Manutention : 11,76
- Coffrage : 15,43
- Bétonnage : 7,36
- Total : 40,58h**

2. Poteaux-poutres

- Temps de grue
- Changement élingue : 0,06
- Manutention ptx (50% à la main) : 0,14
- Bétonnage poteau sous plancher : 0,41
- Pose poutre : 0,60

Total : 1,21h

- Temps de main d'œuvre
- Décoffrage : 0,33
- Manutention dont 50% à la grue : 0,78
- Coffrage cis talonnettes : 1,67
- Bétonnage : 0,77
- Pose poutre : 1,64

Total : 5,19h

► MANUTENTIONS EN PHASE GROS OEUVRE

Choix des matériels de transport

Deux critères ont présidé au choix des matériels.

- Le nombre important d'éléments préfabriqués à assembler en structure HGP qui engendre une forte saturation de grue.
- Les manutentions dédiées à l'activité du gros œuvre qui doivent être gérées en parallèle des approvisionnements des corps d'état secondaires.

Les plateaux libres à chaque étage permettent des flux horizontaux avant cloisonnement. En revanche, les flux verticaux doivent être créés en ménageant des zones d'entrée dans les bâtiments (portes TRIAX).

La manutention des tâches de gros œuvre s'est opérée à l'aide de la grue. Cependant, le choix d'outils permettant des déplacements à la main (coffrage de poteaux, étaieement de plancher) a permis de minimiser l'impact des manutentions sur la saturation de la grue. D'autre part, un chariot élévateur a été loué pour les approvisionnements des corps d'état secondaires afin de permettre à la grue d'être totalement dédiée à l'élévation de la structure poteaux-poutres.

Bien qu'il se soit limité au PH 3ème (à la fois pour des raisons de sécurité et de précision, notamment pour les charges lourdes, et parce que la grue était disponible pour les approvisionnements du PH 4ème), l'emploi du chariot élévateur a permis un déchargement rapide des camions. D'où la fluidité observée pour l'ensemble des approvisionnements. Autre avantage : l'outil offre une souplesse d'utilisation dans le temps par la possibilité de location au coup par coup.

Liste des matériaux approvisionnés fréquemment à l'aide du chariot élévateur

- Parpaings : ~ 1000 palettes
- Cloisons : ~ 250 palettes (reste bat CD à approvisionner)
- Menuiseries : 40% de FGH
- Appuis de fenêtre : 95% de FGH
- Transpalettes : occasionnel



- Bacs de colle pour parpaings : 50%
- Sacs de plâtre : approvisionnement en pied de machine (au RDC)
- Berceaux d'étais : occasionnel
- Berceaux de tubes de garde-corps : occasionnel
- Cuve à huile de décoffrage : occasionnel
- Portes intérieures : 25% sur FGH

► GESTION DES FLUX PHYSIQUES DES C.E.S DURANT LE GROS OEUVRE

Logistique mise en place sur les bâtiments FGH (parpaings cloisons)

- Exécution du cycle de G.O.
- Sous cycle : approvisionnement des palettes de parpaings destinées à la maçonnerie extérieure avec le chariot élévateur et les portes Triax puis stockage au niveau selon le plan Méthodes.
- Exécution de la maçonnerie extérieure.
- Approvisionnement des palettes de cloisons et

de doublages à l'aide du même matériel (chariot élévateur, portes Triax). Les palettes ont été distribuées sur les plateaux d'étage à l'aide d'un transpalette manuel et stockées aux endroits prédéfinis sur les plans et repérés au sol par un marquage à la craie.

- Approvisionnement d'une partie des palettes de parpaings intérieurs par le même procédé.
- Exécution de la maçonnerie intérieure. Le complément a été mis à l'étage au fur et à mesure de l'avancement de la maçonnerie intérieure.
- Les cloisons et doublages ont été enchainés après l'exécution de la maçonnerie intérieure.

Avantages

La grue n'est plus une ressource partagée entre le G.O. et les C.E.S, d'où une meilleure organisation sur chaque zone.

- Déchargement rapide et sans attente des camions de parpaings et de cloisons grâce au chariot élévateur (3 semi-remorques de 20 palettes de parpaing en 8h).
- La réception à l'étage s'effectue en sécurité grâce aux portes Triax.
- Bonne circulation des palettes à l'étage jusqu'au lieu de mise en œuvre. Diminution de la pénibilité grâce au transpalette.
- Les moyens mis en place (porte Triax et transpalette) sont adaptés au personnel de chantier.

Inconvénients

- Dégradation importante des cloisons et doublages pendant l'exécution de la maçonnerie.
- Nécessité de disposer d'une zone importante de circulation au sol.
- Coût du chariot élévateur justifiable que pour des chantiers où la grue est très saturée.
- Ce type d'approvisionnement ne peut être mis en place que sur une structure par plateaux.

Logistique mise en place sur les bâtiments ABCDE (parpaings-cloisons)

- Exécution du cycle de G.O.
- Sous cycle : approvisionnement des palettes de parpaings destinées à la maçonnerie extérieure et intérieure avec le chariot élévateur et les portes Triax puis stockage au niveau selon plan méthodes.
- Exécution de la maçonnerie extérieure et intérieure en une seule phase cage par cage. Des baies sont laissées pour le passage ultérieur des cloisons.
- Approvisionnement des palettes de cloisons et

de doublages à l'aide du même matériel (chariot élévateur, portes Triax). Dépalettisation à l'étage et transport des cloisons doublages à l'aide d'un chariot au travers des baies vacantes.

- Rebouchage des baies laissées dans la maçonnerie.
- Exécution des cloisons doublages.

Avantages et Inconvénients par rapport à la solution appliquée aux Bâtiments FGH.

Avantages

- Une seule intervention pour la maçonnerie extérieure et intérieure hors rebouchage des baies.
- Pas de stockage de cloisons et doublages en amont, pas de dégradation constatée.
- Travail plus aisé pour la maçonnerie : le plateau est libre de cloison.

Inconvénients

- Difficulté de conserver des baies dans la maçonnerie. Obligation d'une intervention ponctuelle différée.
- Solution moins novatrice : reprise des habitudes (constat: approvisionnement de quelques cloisons par les fenêtres).
- Nécessité de laisser les portes TRIAX plus longtemps (façade en maçonnerie ou préfa à poser après).



des moyens de manutention l'exécution du GO et l'approvisionnement des CES. Durant le chantier, nous avons constaté que le chariot élévateur était utilisé pour l'approvisionnement de matériaux non prévus initialement, ce qui prouve son intérêt. De plus, les portes TRIAX sont novatrices en terme de sécurité et devront être déclinées pour une utilisation à la grue. La solution chariot élévateur/porte TRIAX est tout à fait transposable sur des opérations en structures traditionnelles :

- dans le cas de fortes saturations de grue avec superpositions de tâches GO / CES (en général d'un autre bâtiment);
- pour des hauteurs d'approvisionnement limité à R+3;
- sous réserve de disposer de suffisamment de place au sol pour les manœuvres et la circulation. Dans ce cas, le critère de circulation des matériaux à l'étage devra être pris en compte dans la définition des voiles en béton.

► **SYNTHÈSE DES SOLUTIONS D'APPROVISIONNEMENT**

Les deux solutions testées sur les bâtiments FGH et ABCDE ont en commun des points positifs qui pourront être reconduits sur d'autres chantiers Habitat. Il s'agit principalement de l'utilisation du chariot élévateur et de portes TRIAX. En effet, ces moyens d'approvisionnement sont très intéressants dans le cas d'enchaînements de plusieurs cycles de gros oeuvre sous une même grue saturée. Ils permettent de désaccoupler au travers de

La structure HGP a permis de tester sur les bâtiments FGH un nouveau concept d'approvisionnement qui désaccouple l'approvisionnement des matériaux et l'exécution, principalement pour les cloisons. Ceci a eu pour avantage une circulation aisée des palettes de cloisons sur les plateaux en diminuant la pénibilité de la tâche. Par contre ce stockage en amont a entraîné une dégradation importante des cloisons et une gêne pour la maçonnerie. De plus, ce concept peut difficilement être reproduit dans une structure classique de logements.

A contrario, l'option plus classique appliquée sur

les bâtiments ABCDE peut être transposable sur d'autres chantiers. Elle est une évolution de ce qui se pratique actuellement et permet un approvisionnement rapide et en sécurité du niveau. Par contre la distribution au niveau reste manuelle et fatigante pour les compagnons.

Partenariat avec les sous-traitants

En phase de préparation de chantier, une discussion ouverte a eu lieu avec les différents corps d'état secondaires. Les demandes de chacun ont pu être recueillies en terme d'approvisionnement de matériaux et de réalisation d'ouvrages, tant au point de vue du délai que de la gestion d'interventions simultanées.

Après une synthèse des souhaits et contraintes de délai, les phases d'interventions ont été établies à partir de ces données. Une des difficultés fut de faire prendre conscience à chaque entreprise que l'organisation pouvait être optimisée par rapport à un chantier traditionnel. Pendant la réalisation des ouvrages, un suivi renforcé a été nécessaire de façon à guider chaque intervenant dans les prescriptions de réalisations et de phasages prévus.

L'avis des sous-traitants

- Plomberie-VMC

Intéressé par l'approvisionnement des baignoires par le chariot élévateur.

- Electricité

Avantage : intervention de courte durée pendant la phase gros œuvre.

Inconvénient : 2 interventions en phase CES, pour le parpaing intérieur puis les cloisons (accentué avec la démarche d'approvisionnement sur les bâtiments FGH).

- Menuiseries intérieures

Utilisation du chariot élévateur au «coup par coup» appréciée pour l'approvisionnement des portes.

- Menuiseries extérieures

Le fournisseur n'a pas changé sa manière de palettiser (par type de châssis). L'équipe de pose a repalettisé au sol les menuiseries par logement puis les a approvisionnées dans les étages grâce au chariot élévateur.

► IDENTIFICATION PAR CODES BARRES

L'utilisation massive de composants en béton préfabriqué nous a conduit à élaborer un système



d'identification et de suivi de ces éléments. Deux types de pièces ont pu être répertoriés: les poutres préfabriquées et les éléments de façades. Les poutres préfabriquées ont été identifiées en fonction de leur lieu de pose. Ce type d'identification a été choisi en raison de la forte ressemblance des poutres et afin d'éviter tout risque de permutation de poutres à ferrailage différent. Les éléments de façades en béton préfabriqué architectonique ont été identifiés uniquement par type. Ce type d'identification a été choisi en raison du grand nombre de pièces identiques et de l'absence de risque de permutation involontaire de pièces. Il permet au travaux une souplesse dans le mode de stockage (pas besoin d'aller chercher une pièce inaccessible si une du même type se trouve facilement disponible) et dans le phasage. Dans les deux cas, l'identifiant alpha numérique a été doublé par un code barres permettant une saisie rapide dans un logiciel de gestion des flux physiques. Ce système d'identification peut être reconduit tel quel sur des chantiers traditionnels sous réserve de quantités suffisantes. Il peut être facilement étendu à d'autres matériaux : aciers coupés façon-

nés assemblés, menuiserie, BPE (par l'intermédiaire de codes sur le bordereau de livraison), etc.

L'identification : un maillon indispensable de la logistique

L'identification, et plus particulièrement les codes à barres, couvrent de nombreux domaines d'application : par exemple, les produits de consommation courante. Le secteur industriel les utilise également pour la réception et la gestion des emplacements de marchandises, la gestion de stocks, l'aide à la maintenance, etc. Ce domaine de l'identification connaît une évolution technologique rapide : les codes 2 D, les étiquettes radio pour ne citer qu'eux sont autant d'alternatives de plus en plus utilisés dans l'industrie. En fait, ces identifiants ne sont que la partie émergée d'une chaîne logistique parfaitement maîtrisée. A contrario, l'utilisation d'identifiants intégrés au sein d'une telle chaîne logistique est globalement inexistante dans le secteur du Bâtiment.

La recherche PCARD sur la logistique de chantier et les expérimentations Chantier 2000 ont exploré les gains liés à ces repérages dans le domaine de l'organisation de chantier. Ces identifiants peuvent désigner la nature, les caractéristiques géométriques de l'élément ou le lieu de mise en œuvre (le bon produit au bon moment et au bon endroit).

Dans le cas de la REX de Bonneuil, comme dans le cas d'une autre expérimentation effectuée sur le chantier Bouygues de la SFP, nous nous sommes heurté à de nombreux obstacles :

- peu de fournisseurs acceptent de jouer le jeu :
 - ils ne sont pas tous équipés en matériel d'impression des codes à barre. La mise en place d'étiquettes portant un code imposé par le client est ressenti comme un surcroît de travail dont ils ne tirent aucun bénéfice. Cela redouble parfois d'un système d'identification qu'ils possèdent déjà;
 - ils ressentent le côté éphémère d'une telle demande et ne souhaitent pas investir .
- le monde du bâtiment, comparé à certaines branches de l'industrie, n'est pas en pointe sur le domaine des technologies nouvelles (faible taux d'informatisation). La mise en application de ce mode de gestion nécessite des changements importants d'habitudes;
- à l'heure actuelle, l'identification n'est utilisée que pour une faible part de la chaîne de gestion des flux physiques et des flux d'informations. Une ges-

tion de stock par code barres, telle que pratiquée sur le chantier de Bonneuil, n'est intéressante qu'en raison du grand nombre de pièces préfabriquées.

Promouvoir le domaine de l'identification

Le champ d'application, et donc l'intérêt des identifiants informatisés, doit être augmenté en les intégrant dans un système global de gestion de la production de chantier.

- En amont : par la généralisation de la présence de code barres (ou équivalent) sur les plans et par leur utilisation chez le fournisseur tout au long de sa chaîne de conception et de fabrication, en couplant ces identifiants avec les plannings.
- En aval : en l'intégrant dans la gestion de chantier.
- En augmentant le champ d'action par l'augmentation du nombre de composants (matériaux, matériel) pouvant être géré par un tel système.

On attend de ce mode de gestion de production de chantier qu'il rende plus efficace la planification, et qu'il optimise la gestion des flux physiques et des flux d'information (le bon produit au bon endroit et au bon moment). Toutefois, ce sujet s'inscrit encore dans une perspective de moyen terme, perspective subordonnée à la réponse de plusieurs questions.

- Quelles identifications selon la nature et l'utilisation (identification décrivant la géométrie ?, le lieu de pose ? ...) ?
- Quel type de représentation lisible par informatique (code barres , code 2D...) ?
- Comment «amorcer la pompe» (pas de code barre sur les matériaux = pas d'utilisation sur les chantiers. Pas d'utilisation sur les chantiers = pas de code barres sur les matériaux) ?
- Comment les fournisseurs peuvent-ils y trouver un intérêt ?
- Que peut-on uniformiser ? Doit-on définir des standards ou au contraire rester très ouvert ?
- Comment faire coïncider des préoccupations spécifiques à chaque entreprise, à chaque fournisseur sachant que ce «partenariat entre acteurs» est aussi éphémère que la durée du chantier ?