

Associer conception de production et conception architecturale



CAHIER EXPÉRIMENTATION
REX REIMS
CHANTIER 2000



PLAN URBANISME
CONSTRUCTION ARCHITECTURE



Associer conception de production et conception architecturale

REX REIMS _____

Auteurs

Thierry PILLON, sociologue et Dominique TESSIER, architecte

Rédaction - Mise en page

Christophe PERROCHEAU - Dac Communication

Photos

Eric BERNATH

Dominique TESSIER

Plan Urbanisme

Construction Architecture - Chantier 2000 - Décembre 1999

Directeur de la publication

Olivier PIRON

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	p 5
La méthodologie	p 5
Les résultats attendus	p 5
► DÉROULEMENT DE LA DÉMARCHE	p 6
Description du terrain	p 6
Les solutions techniques adoptées	p 6
La phase chantier	p 8
► ÉVALUATION DE LA DÉMARCHE	p 11
Une recherche d'unité du projet	p 11
Un compromis technique	p 11
La place des acteurs	p 12
Un débat d'abord économique et commercial	p 13
Une réduction des objectifs initiaux	p 13
La relation maître d'œuvre/maître d'ouvrage	p 14
Perspectives	p 15

Fiche technique :

REX REIMS

► RÉSUMÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

L'opération de Reims avait pour but de tester et développer une méthodologie de conception permettant à chaque stade de l'élaboration du projet architectural de prendre en compte le point de vue technique du constructeur, et le point de vue du maître d'ouvrage. Le but de la REX était de permettre une meilleure intégration des impératifs de chacun des acteurs dans une démarche itérative, au service d'une meilleure constructibilité, d'une meilleure qualité de l'ouvrage fini et d'une réduction des modifications en cours de chantier.

► OPÉRATION SUPPORT

L'opération se situe à Reims. Elle comprend 60 logements neufs PLA collectifs (avec garages, en partie en sous-sol et en partie extérieur). Le chantier a été réalisé du 21 mai 1996, début de la période de préparation de chantier, au 21 octobre 1997.

► PARTENAIRES DE L'EXPÉRIMENTATION

Maître d'ouvrage

OPAC de Reims

Maîtrise d'œuvre

R.T.R - E. De Cormis - F. Metrich - G. Ragot

Entreprises

Sotram, *entreprise générale*
Gayet, *plomberie, chauffage*
Agnesina

Industriels

Acier Construction

► ÉVALUATION DE L'EXPÉRIMENTATION

Thierry PILLON et Dominique TESSIER
40, rue Gutenberg
93310 Le Pré Saint-Gervais
Tel. 01 48 43 86 87

Synthèse de l'évaluation

L'opération de Reims avait pour objectif d'associer une conception de production à la conception architecturale, et de trouver une articulation entre les trois phases habituellement dissociées du projet : programmation, conception, réalisation. Il s'agissait de mettre en oeuvre une méthodologie de conception permettant, à chaque stade de l'élaboration du projet architectural, de prendre en compte le point de vue du constructeur afin d'obtenir notamment pour le projet une constructibilité optimale et permettre une efficacité maximale des modes opératoires. Cette REX devait s'efforcer de rendre communes des démarches qui, généralement, sont dissociées, de rendre interactifs des acteurs et des logiques indépendants, et enfin de proposer un modèle itératif du projet tel que le chantier apporte un éclairage effectif sur la phase de conception architecturale.

Ce chantier s'est caractérisé par un parti constructif alliant une ossature acier à un système de prédalles ; les façades étaient constituées par des éléments de façade de type bardage sur une face du bâtiment, et de parpaings auto-porteurs pour d'autres portions. Le maître d'ouvrage a imposé à l'architecte et l'entreprise l'ossature poteaux-poutres en acier (qu'ils ne connaissaient pas) qu'il a en outre fallu concilier avec des exigences de performances acoustiques élevées. C'est également autour de ce parti pris technique et des contraintes de terrain - au-dessus de caves de champagne - que s'est fondé le programme. Si les choix techniques ont montré quelque efficacité lors du gros oeuvre, des déficiences importantes ont été observées au niveau des liaisons avec le second oeuvre : c'est le cas de la liaison façade parpaings-dalle béton, des bâtis de fenêtres sur les parties courbes du bâtiment, des encoffrements de poutres et de la façade parpaings. La particularité de l'opération - construire sur des caves à champagne - conduit à s'interroger sur la pertinence du choix d'une structure en acier dont la caractéristique est de transmettre les charges de façon ponctuelle alors qu'il aurait fallu répartir le poids du bâtiment le plus également possible. De même, l'évidence eut été de charger le moins possible les poteaux en réalisant des planchers collaborants en bacs aciers, chape de béton et plafonds suspendus ; ce n'est pas ce qui a prévalu. La charpente en acier a été chargée étage après étage de prédalles en béton et alourdie par des chapes dont l'effet est d'élever le poids de la structure. De même, les façades, d'abord envisagées en éléments

légers, ont cédé leur place à des murs percés, en parpaings enduits et indépendants de la structure. On peut donc s'interroger sur la compatibilité d'une démarche visant à associer les différents acteurs autour d'une recherche des meilleures solutions de production, et l'imposition par le maître d'ouvrage d'une technologie de construction en poteaux-poutres acier. Ce dernier, en imposant l'acier à une entreprise de maçonnerie, a en effet verrouillé en partie les débats sur les modalités les plus adaptés pour parvenir à une meilleure constructibilité. Si la proposition d'un parti constructif n'est pas en soi un obstacle à la conception, cela nécessite par contre une mise au point préalable qui permette de rendre compatible la démarche et les domaines de compétences des différents acteurs engagés ; ce ne fut pas le cas de Reims. Au lieu de concentrer leurs efforts sur le rapport conception/mise en oeuvre, les acteurs se sont figés sur une discussion autour de l'adaptation des deux technologies acier/béton. L'exemple de Reims souligne à quel point la remontée en amont des questions de production dès lors qu'elle n'est pas précocement discutée et régulée, au lieu de permettre une ouverture du débat de conception, limite le débat aux champs restreints des compétences propres de chaque acteur ; la dynamique du dialogue visant à dépasser ces spécificités, au contraire de se développer et se résoudre en amont, se fige et paralyse le processus.

A Reims, certains choix figés très tôt, ou d'autres exprimés très tard, ont obligé l'architecte ou l'entreprise à maintenir des exigences qui ont fini avec le temps par perdre de leur pertinence, aussi bien technique, qu'économique ou organisationnelle.

Protocole d'expérimentation

► PROBLÉMATIQUE

La problématique de la REX de Reims s'organise autour de la gestion et du pilotage de projet qui associe les différents acteurs en phase amont, là où, généralement, ils ne collaborent pas.

Traditionnellement, l'acte de bâtir associe études de conception, démarches administratives, choix fonctionnels, techniques et économiques ; il combine pendant une période assez longue les efforts de nombreux acteurs habituellement indépendants.

Ce processus s'articule en 3 phases : la programmation, la conception et la réalisation. Un des principaux problèmes rencontrés lors de la réalisation tient à l'écart constaté sur le chantier entre le caractère idéalisé de la conception et les conditions d'organisation de la production. Cette difficulté a pour origine l'absence, lors de la conception, de l'éclairage que pourrait apporter le chantier.

L'objectif initial du projet de Reims consiste précisément à rendre plus cohérent et plus fluide, le processus de réalisation par anticipation des questions et des difficultés éventuelles en élargissant la phase de conception proprement dite.

Un ouvrage est généralement conçu comme s'il était achevé. Les documents écrits et graphiques constituant le "dossier d'exécution" décrivent un bâtiment terminé, ses équipements techniques et ses finitions. Elaboré par la "maîtrise d'œuvre", ce dossier exprime la conception architecturale et technique de l'ouvrage. Déterminant un objectif de travail pour l'entreprise, il n'est cependant pas directement utilisable comme outil d'organisation de la production proprement dite. Dans la réalité, le bâtiment est réalisé en plein-air, sur son site définitif. Il y prend forme progressivement, imposant de perpétuelles modifications au lieu de travail forain dont il est le noyau. Outil de production créé pour la circonstance, le chantier nécessite pour être efficace une organisation rationnelle, fruit d'une préparation minutieuse.

Cette élaboration de l'outil de production est la mission des ingénieurs méthodes des entreprises. Bien que fondamentale pour la productivité des entreprises, leur pratique n'a pas encore fait l'objet d'une formalisation systématique, et ne peut donc pas être prise en considération par l'architecte et le maître d'ouvrage aux différentes étapes de la définition d'un projet.

La seule pratique qui permettrait de faire remonter le point de vue du constructeur au stade de la conception technique, et le point de vue de l'ingénieur au stade de la conception architecturale, repose sur la mise en place d'une gestion conjointe des trois parties. C'est sur ce point que la REX entendait porter ses efforts.

► LA MÉTHODOLOGIE

L'objectif de la REX consistait à mettre en œuvre une méthodologie de conception de l'opération permettant, à chaque stade de l'élaboration du projet architectural, de prendre en compte le point de vue du constructeur. Il s'agissait :

- d'obtenir une constructibilité optimale (réduction de l'écart entre conception et réalisation) ;
- de permettre une performance maximale des modes opératoires, et une plus grande efficacité technique dans le cadre d'une gestion en entreprise générale ;
- de permettre une appréhension de la réalisation par les acteurs de chantier, (conducteur de travaux) ;
- d'assurer une meilleure qualité de l'ouvrage fini.

L'objectif était de rendre commune des approches qui généralement sont dissociées : conception, choix fonctionnels, techniques et économiques, démarches administratives. Autrement dit, il s'agissait de rendre interactifs des acteurs et des logiques généralement indépendantes. La REX avait également pour ambition de proposer un modèle de gestion itératif du projet qui permette, et c'est là l'essentiel, au chantier d'apporter un éclairage effectif à la phase de conception architecturale, en regard des contraintes de production (planification, calendrier, moyens techniques et humains).

Cette forme de pilotage de projet par l'acteur principal de chaque phase, conjointement avec l'acteur de la phase aval, avait pour ambition d'éviter la dichotomie entre conception et réalisation, préjudiciable à la qualité de l'ouvrage.

► LES RÉSULTATS ATTENDUS

• *Au niveau de la conception :*

- la constructibilité du projet ;
- l'adéquation du projet aux attentes du maître d'ouvrage : cette démarche doit avoir "enrichi" le projet, en particulier sur le type et la qualité des prestations fournies.

• *Au niveau du chantier :*

- une réalisation conforme au projet définitif, tel que l'a conçu l'architecte : réduction des phases de mise au point en cours de chantier ;
- l'optimisation technique de l'exécution, à partir d'un phasage précis des interventions qui prend en compte les besoins et contraintes de chaque intervenant ;
- la suppression de tâches pénibles au profit de tâches plus qualifiantes et valorisantes ;
- la réduction des incertitudes pour les entreprises afin d'éviter au chantier des problèmes résolubles en amont.

Déroulement de la démarche

► DESCRIPTION DU TERRAIN

Le site est situé à Reims, dans le quartier "des Maisons de Champagne". Il est un prolongement de la zone résidentielle d'habitation situé autour de ces maisons de champagne. Avant l'opération, le terrain était occupé par des bâtiments d'exploitation de diverses époques, ayant subi de nombreuses altérations par manque d'entretien. Le terrain surplombe une zone de caveaux très dense. Le sol de ces caveaux abritant des bouteilles de champagne se trouve à une profondeur de 10m environ. Les accords passés entre l'OPAC de Reims et l'entreprise de Champagne Mumm ont figé une division de propriétés en volumes. Le droit à construire a été fixé essentiellement à une distance d'environ 3m50 m au-dessus du sommet des voûtes. Cette profondeur a permis d'enterrer partiellement un niveau de parking. Le principe constructif retenu pour l'opération a consisté à réaliser un radier "alvéolaire" sous l'emprise des futurs bâtiments afin de répartir l'ensemble des charges au-dessus des voûtes. Radier d'autant plus utile que le système poteaux-poutres acier garde des charges en poinçonnement très importantes.

► LES SOLUTIONS TECHNIQUES ADOPTÉES

La démarche de conception, conformément aux attendus de la REX, a donné lieu à discussion entre les différents acteurs de l'opération autour des principaux choix de production. Le débat a principalement porté sur les planchers, les façades, les poteaux, et les poutres.

Les planchers

Le maître d'ouvrage souhaitait obtenir une qualité acoustique aussi satisfaisante que sur ses opérations antérieures qui ont joué ici comme références. Plusieurs solutions ont été envisagées, parfois simultanément.

• Dalle sur prédalle béton

Du point de vue de l'usage, cette solution possède des avantages : hauteur de niveau standard et donc pas de perte de volume habitable "inutile". L'épaisseur de 20 cm satisfait la réglementation acoustique aux bruits aériens, sans traitement particulier. Du point de vue de la mise en oeuvre,



cette solution entraîne une mise en place décalée par rapport au charpentier et rallonge les délais de montage de la structure. De plus, le charpentier ne peut bénéficier de la grue de chantier.

• Bac collaborant de petite portée

Cette solution nécessite un traitement acoustique par faux-plafond en raison de la transmission des bruits de chocs et aériens. D'autre part, un plénum de 27 cm est nécessaire pour habiller le plafond en passant sous les poutres et solives intermédiaires, d'où une augmentation de 25 cm de façade par niveau, par rapport à une hauteur standard. La structure s'en trouve en contrepartie allégée par rapport à la solution précédente. La mise en oeuvre est elle-même plus souple, car elle ne suppose pas de juxtaposition gros oeuvre/charpentier sur le site ; les deux corps d'état peuvent travailler avec la même grue. Autre avantage : les corps d'état secondaires sont libres d'intervenir sous le plancher.

• Bac collaborant de grande portée

Les avantages et inconvénients sont identiques à la solution précédente, à ceci près qu'à chaque poutre correspond une retombée de 19 cm en saillie du plafond.

- **Dalle alvéolée**

Les poutres sont en façade et n'impliquent pas de retombée dans les logements. En revanche, 10 cm supplémentaires de façade sont requis par niveau par rapport à une hauteur standard. La solution nécessite également un traitement acoustique spécifique en raison de la transmission latérale par les alvéoles.

Mais le plus épineux problème tient à la descente des charges en fondation sous les façades dont la répartition serait très locale, ce qui contredit le besoin d'une répartition des charges la plus grande possible, compte-tenu du sous-sol.

- **Plancher champignon**

Du point de vue de l'usage, la solution est satisfaisante ; l'épaisseur de 20 cm garantit un respect des règlements acoustiques sans traitement particulier. Mais la dalle pleine entraîne un poids mort important et suppose une structure plus forte.

En outre, elle s'accommode mal des grandes trémies ou réservation importantes et génère une juxtaposition fer/béton en sous-face de plancher. La mise en oeuvre suppose un délai de montage rallongé et la juxtaposition sur le chantier du charpentier et du gros oeuvre.

La solution finalement adoptée consiste en une dalle en béton armé sur prédalle de 5 cm, plus une chape, avec un traitement de la sous-face en ragréage et enduit de pierre. Cette solution satisfait principalement les impératifs que le maître d'ouvrage s'était fixés au départ.

Les poutres

- **Poutre bétonnée**

Le béton assure à la poutre sa stabilité au feu d'une heure, le plaquiste n'a pas à intervenir, mais la retombée de poutre reste apparente.

- **Poutre encoffrée**

L'encoffrement peut être propre à la poutre, ou bien la cloison elle-même peut venir habiller la poutre, mais seul l'encoffrement de la poutre évitera le problème d'un traitement acoustique particulier à la liaison cloison/poutre. Dans ce dernier cas, la retombée de poutre reste néanmoins apparente.

La solution retenue est celle des poutres encoffrées, bien que les retombées de poutre dans les appartements soient augmentées de l'épaisseur de l'enclouement.

Les poteaux

- **Poteaux prébétonnés**

Cette solution avait d'emblée l'inconvénient d'augmenter le poids mort et supposait une mise en oeuvre plus délicate, compte tenu de la surcharge du poteau par le béton.

- **Poteaux encoffrés**

L'encoffrement assure ici aussi la stabilité au feu d'une heure, et ses avantages sont identiques pour le poteau et pour la poutre : l'encoffrement est soit propre au poteau, soit incorporé dans une cloison séparative.

La solution adoptée est celle de l'enclouement du poteau, qui permet une pose de la charpente métallique et des prédalles par une même équipe, et une protection au feu lors de la mise en place des cloisons.

Les façades

- **Façade en ossature bois préfabriquée comprenant les menuiseries**

Elle permet une mise en oeuvre rapide, mais nécessite un traitement particulier en raison des changements de nature de façade, notamment dans les parties courbes du bâtiment.

- **Façade de type bardage**

La possibilité de traiter en totalité les façades du bâtiment en bardage a été envisagée dans le projet initial, - le système de bardage le permettait -, mais il nécessitait des traitements acoustique et incendie particuliers.

Une variante permet de positionner un isolant afin de régler le problème acoustique. Ce type de façade permet une mise hors d'eau et hors d'air très rapide dans le cas de modules de grande taille.

- **Façade en parpaings auto-porteurs**

Plusieurs possibilités ont été envisagées :

- un mur de type 3 en parpaings creux de 10 sur 6 niveaux avec raidisseurs pour les grandes baies et chaînage en nez de dalle horizontaux par plancher. La mise en oeuvre est forcément plus lente que pour la façade de type bardage ; elle nécessite de commencer par le bas et conditionne l'intervention du plaquiste ;

- un mur de type 3 en parpaings de 15 sur 16 niveaux présentant les mêmes caractéristiques que la solution précédente ;

- des parpaings creux de 20 avec rupture du pont thermique en rive de dalle à l'aide d'un isolant comprimé, ce qui évacue les risques de fissuration



en rive de dalle. La mise en oeuvre est on ne peut plus lente et suppose un étaielement en rive de dalle.

La solution adoptée associera des éléments de façade de type bardage sur une face du bâtiment, et des parpaings auto-porteurs sur d'autres portions.

► LA PHASE CHANTIER

Le chantier a fait l'objet d'observations in situ. Néanmoins, il est apparu important de se reporter aux comptes-rendus parce qu'ils formalisent et contractualisent les points essentiels qui ont été débattus au cours de la réalisation ; cela permet également une mise à jour des difficultés de la démarche elle-même qui, mise en rapport avec le pragmatisme du chantier, apparaît un peu comme un règlement *a priori*.

Les grandes phases du chantier sont les suivantes :

- 1 - démolitions, terrassement et réalisation du radier
- 2 - charpente métallique, pré-dalle et plancher béton, escaliers
- 3 - façade et couverture

4 - second-œuvre - finitions

Le terrassement et la réalisation des infrastructures en sous-sol se sont étalés sur deux mois. Quatre zones - A-B-C-D - permettent un avancement séquentiel par zone et par niveau : terrassement-> fondations-> radier-> voiles-> prédalles ; niveaux -1 ; RdC ; R+1 ; R+2 ; R+3 ; R+4

• Séquence 1 - démolitions et réalisation du radier

L'installation de chantier s'est déroulée selon un mode opératoire classique : le projet d'implantation de la grue , les accès et l'implantation de la zone de vie sur le terrain sont négociés entre l'entreprise, le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage. Les murs d'enceinte en maçonnerie sont conservés comme clôture de chantier.

La démolition des bâtiments en superstructure est totale pour permettre l'implantation des installations de chantier. Prévues sur 4 semaines à partir du 1er juillet, la date effective de démarrage des démolitions a été repoussée deux fois. Un ingénieur conseil du CEBTP a été sollicité au début de cette phase pour définir le mode opératoire du contrôle des caves ; aucune démolition n'est autorisée auparavant. L'opération s'avère délicate en raison de la présence des caveaux en sous-sol. La conception du parking a du être adaptée pour protéger les caves à champagne : suppression de 8 places de sous-sol compensée par des places en surface.

Lors de la vente des caves par la société MUMM, un relevé a été effectué. Celui-ci s'est avéré imprécis concernant une paire de caves situé à l'endroit de la rampe d'accès au parking et du passage sous immeuble. L'épaisseur du manteau de craie s'avérant insuffisante pour absorber les pentes, il a fallu enlever des voûtes de caves. Pour limiter les travaux et leur incidence financière imprévue, le maître d'ouvrage a renoncé à 8 places de parking en sous-sol et demandé leur réalisation en surface en augmentant le contingent de places déjà prévues à ce niveau.

• Séquence 2 - charpente métallique, prédalle et plancher béton, escaliers

La superstructure est composée de poteaux et de poutres métalliques sur lesquels sont posées des prédalles en béton armé et une chape flottante en mortier ciment. Les contreventements sont réalisés en partie par la charpente (croix de Saint-André), et en partie par des maçonneries autour des cages des escaliers et d'ascenseurs. La charpente en acier porte à chaque étage des prédalles



en béton et des chapes flottantes en mortier de ciment.

La pose de la charpente a été programmée sur 3 mois, de mi-octobre 96 à mi-janvier 97. En réalité, les premiers encastresments par le charpentier métallique dans la dalle de rez-de-chaussée interviennent la deuxième semaine de novembre ; la dernière pose de pannes intervient la quatrième semaine de février. Le décalage du planning est lié au retard pris par la réalisation de l'infrastructure en raison des incertitudes du relevé des caveaux. Le montage des prédalles est subordonné à l'assemblage et au contreventement des poteaux et poutres métalliques. La précision dimensionnelle de la charpente contraste avec la taille un peu grossière des prédalles. Les difficultés de superposition des deux composants sont réglées manuellement à l'aide de barres à mine.

La conception de production n'a pas correctement pris en compte l'interface entre le charpentier et le gros œuvre ; la coordination avec les autres lots a fait l'objet de mises au point après la production des plans de chantier in situ, sur l'ouvrage lui-même.

Quatre exemples permettent de mesurer ces problèmes de coordination.

1. les plans de charpente réalisés, il est apparu que certaines gaines dans lesquelles se fait l'extraction des gaz brûlés se croiseraient avec des poutres. Des dévoiements de gaines, ou le déplacement de certaines chaudières (individuel gaz), s'avéreraient nécessaires.

Ainsi, l'entreprise de chauffage a été autorisée à modifier l'emplacement des appareils de cuisine pour réserver une place à la chaudière près des

gaines d'extraction des fumées. L'intervention des entreprises de charpente, gros œuvre, chauffage, du maître d'œuvre, du maître d'ouvrage et du concessionnaire, a été nécessaire. La durée de la mise au point sur plans a été de 6 semaines à partir de la 6ème semaine de chantier.

2. La solution adoptée, charpente métallique/dalle béton + chape acoustique, a entraîné des études pour limiter la transmission des bruits solidiens. La charpen-

te a nécessité divers coffrages, tant contre le feu que contre le bruit.

Le débat a également porté sur la séquence de mise en œuvre des chapes et des cloisons. Il a été arrêté que les cloisons séparatives entre logements seraient posées sur dalles et les cloisons de distribution des logements sur chape. Le réglage des niveaux de dalles a donc été soumis à la mise au point et l'accord technique des différentes parties en présence : entreprise, maître d'œuvre, bureau de contrôle et maître d'ouvrage. Cette question n'avait pas été examinée auparavant.

3. Des poteaux sont exposés à d'éventuels chocs le long du passage des automobiles. Le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage ont retenu la proposition de l'entreprise consistant à remplacer les poteaux en acier par des poteaux en béton sur la hauteur des deux premiers niveaux, de préférence à un habillage des poteaux métalliques.

4. La mise au point de la conception de la charpente a nécessité un calage des files porteuses. La position d'une poutre s'est avérée sur le chantier en contradiction avec le débattement d'une fenêtre. La poutre a été grugée.

• **Séquence 3 - façade et couverture**

Les façades, d'abord envisagées en bardage acier lors de la mise au point des choix de production, ont cédé leur place à des murs percés de baies en parpaing enduit et indépendant de la structure.

Le second œuvre est classique : cloisons en plaques, menuiseries extérieures en PVC. La solution parpaings s'avérait plus proche du savoir-faire de l'entreprise de gros œuvre. Néanmoins, la



coordination entre la charpente et les façades maçonnées a, elle aussi, été réglée au moment de passer à la mise en œuvre. Le coffrage en plaques de plâtre des IPN s'est avéré nécessaire pour assurer leur stabilité au feu et la norme C+D. Le dimensionnement du remplissage entre maçonnerie et structure acier verticale a du être modifié par rapport aux prévisions initiales.

A la fin du cinquième mois de chantier, le sous-traitant du lot "couverture" a fait part des problèmes de réalisation que lui pose la couverture prévue au marché et a proposé une autre solution au maître d'ouvrage. La mise au point a duré 19 semaines :

- semaine 30 : solution refusée
- semaine 32 : remise à l'étude
- semaine 33 : accord de principe
- semaine 35 : nouvelle proposition de couverture en zinc, diffusion du dessin de principe
- semaine 36 : détail à voir avec le bureau de contrôle
- semaine 38 : deux observations du bureau de contrôle sur le détail de mise en œuvre de la couverture.

Le C.C.T.P. "suit" les négociations entre le maître d'ouvrage et l'entreprise. Il préconise une couverture en bac acier. Néanmoins, la géométrie de la toiture est complexe : jonction d'un trapèze incliné et d'une portion de cylindre, le bac acier manque de souplesse pour épouser les formes du toit tout en donnant des garanties d'étanchéité.

Le maître d'ouvrage, très attaché à l'emploi de l'acier, refuse tout d'abord une solution alternative. L'entreprise met alors en évidence les difficultés et l'aspect assez lourd qui accompagnent ces solutions. En fin de compte une solution en zinc plus

fine, d'une grande durabilité, et très fiable à l'exécution, est retenue. La modification n'a pas généré de surcoût.

• Séquence 4 - second œuvre - finitions

Le déroulement du second œuvre est très classique. Les entreprises "suivent" le gros œuvre et s'adaptent. Durant cette période, un grand nombre d'adaptations témoignent - non de l'imprévision -, mais de la faculté des intervenants à s'entendre en bonne intelligence pour que leurs contraintes res-

pectives n'entravent pas la qualité de réalisation de l'ouvrage.

- Remplacement d'un sol isolé par des dalles en plastique dans les circulations communes (économie à performance égale, recherche d'une uniformisation des prestations et approche décorative).
- Modification des prestations plomberie-sanitaire et électricité pour 15 logements sur 45, demandée par le maître d'ouvrage pour ajuster les prestations à ses financements (1/4 des logements sont annoncés en financement P.L.I.). Le maître d'ouvrage prescrit de relever certaines prestations par rapport aux logements financés en P.L.A. (devis de travaux supplémentaires accepté en semaine 45).
- Modification de la télé-alarme qui résulte de l'introduction par le maître d'ouvrage du prestataire de service agréé par l'office.
- Adaptation de logements pour personnes handicapées : le maître d'ouvrage a prescrit au maître d'œuvre, au début du projet, que tous les appartements devraient être adaptables pour loger des personnes à mobilité réduite (P.A.M.R.). En effet, la pratique qui consiste à aménager initialement un quota de logements réservés aux P.A.M.R. n'est pas rentable.

Le nombre de demandeurs correspondant au quota n'est pas toujours suffisant et, régulièrement, des logements adaptés sont loués à des personnes qui n'en n'ont pas besoin. Le maître d'ouvrage préfère donc adapter le logement en fonction de la demande. Ce cas de figure s'est présenté en fin de chantier, et un logement a été adapté. En corollaire, l'accès extérieur au hall d'entrée de l'immeuble a été revu pour faciliter la rotation et l'ouverture de la porte en fauteuil roulant.

Evaluation de la démarche

► UNE RECHERCHE D'UNITÉ DU PROJET

L'ambition de la REX était de proposer une démarche intégrée, capable de rendre plus fluide un processus généralement segmenté. L'association des différents acteurs du projet - ingénieurs, architectes, entreprises -, autour de problématiques techniques et économiques communes constituait un enjeu de gestion important et fortement innovant dans un contexte généralement caractérisé par une forte division des compétences et des territoires.

Cette division, on le sait, n'est pas entre les seuls acteurs et leurs savoir-faire particuliers : elle s'opère au sein même du projet qui ne se conçoit que dans la succession de ses moments dont chacun possède des particularités irréductibles : l'espace à l'architecte, les modalités de construction à l'ingénieur, et les moyens de production à l'entreprise. Faire de cette succession une continuité, un processus, c'était autoriser que les compétences interagissent, se nourrissent l'une l'autre. L'emboîtement des approches et leur régulation en temps réel devait consister à privilégier la gestion unitaire du projet sur le respect des prérogatives professionnelles. C'est d'abord à travers cette volonté affichée que la REX se proposait d'innover. Son enjeu était avant tout gestionnaire, autour du projet, en amont du chantier, dans la perspective d'une préparation optimale de celui-ci.

L'association des acteurs et des démarches propres à chacun s'est organisée autour d'une problématique centrale dont on peut dire qu'elle a déterminé nombre des aspects du projet : l'ossature poteaux-poutres acier. C'est en effet autour de ce postulat que devait se développer le dialogue entreprise-architecte-maître d'ouvrage. C'est également autour de ce parti pris technique et des contraintes de terrain - au-dessus de caves de champagne - que s'est dessiné un programme. Dans le projet de REX, tel que présenté, la volonté de programmation était ambitieuse puisqu'elle consistait à rechercher en commun des solutions optimales d'un triple point de vue technique, opérationnel et d'usage. Il faut donc accorder ici au terme même de programmation une valeur qu'il ne possède généralement pas dans le domaine du logement : une recherche en commun de solutions techniques ; autrement dit un processus ouvert au cours duquel la solution définitive est

validée par l'ensemble des acteurs en fonction des incidences sur la réalisation, et non pas a priori en fonction de critères extérieurs à la démarche elle-même.

L'étape de conception proprement dite n'était pas moins ambitieuse puisqu'elle se donnait comme objectif de maintenir le principe d'une structure acier tout en évitant les inconvénients propres à ce choix.

Programmation et conception devaient ainsi pouvoir s'articuler dans cette ambition unitaire associant conception architecturale et conception technique. Cette association, présentée comme un mouvement itératif où les propositions de l'architecte sont confrontées aux exigences techniques et celles-ci aux ambitions esthétiques et aux contraintes d'usage, devait enrichir le projet à chaque étape (esquisse, APS, APD).

Par confrontation aux contraintes de site, aux exigences de chantier, à la gestion des coûts, il s'agissait d'intégrer la production à l'élaboration du projet qui est dès lors en mesure d'anticiper, dans sa forme même, les conditions de sa réalisation.

► UN COMPROMIS TECHNIQUE

Considéré dans son ensemble, on peut se demander si ce compromis technico-économique, entre une logique de "lobby" (acier-logement) du maître d'ouvrage et les moyens de l'entreprise (béton), est de l'ordre de l'innovation technique ou du "bricolage". Même si le compromis a abouti à une réalisation atteignant toutes les performances requises et satisfait aux normes d'usage et de construction, l'interrogation persiste sur la cohérence du système.

Le particularisme de l'opération, construire sur des caves à champagne, conduit en effet à s'interroger sur la pertinence du choix d'une structure en acier dont la caractéristique est de transmettre les charges de façon ponctuelle alors que la condition de constructibilité est de répartir le poids du bâtiment le plus également possible. De même, une fois ce premier choix établi, l'évidence eut été de charger le moins possible les poteaux en réalisant des planchers collaborants en bacs aciers, chape de béton et plafonds suspendus ; ce n'est pas ce qui a prévalu.

La charpente en acier, dont un des mérites est de se monter rapidement, a été chargée étage après

étage de prédalles en béton et alourdie par des chapes dont l'effet est d'élever le poids de la structure. De même, les façades, d'abord envisagées en éléments légers, ont cédé leur place à des murs percés, en parpaings enduits et indépendants de la structure.

Cette mixité de composants et de techniques ne peut prétendre - au moins dans ce contexte - à un label d'innovation. Le système constructif initié, pour convaincre au delà des critères normatifs et économiques, devrait décliner une cohérence dans les liaisons entre infrastructure et superstructure (par exemple : puits et poteaux), entre gros oeuvre et second oeuvre (par exemple planchers-façades), mais également entre forme construite et forme du logement.

Peut-on accepter que les têtes de poutres limitent le débatement des vantaux de fenêtre, ou que les encoffrements de poutres scient visuellement et fonctionnellement l'espace d'une pièce d'habitation au motif de satisfaire un compromis entre lobby et moyens ? La position esthétique, pour abstraite qu'elle soit au regard des moyens et du terrain, inviterait non seulement à la cohérence entre le système constructif, ses sous-systèmes et la forme architecturale, mais poserait également une exigence de résultat pour le produit et l'usager.

Dès lors qu'ils avaient été correctement étudiés en phase de préparation de chantier, les choix techniques ont montré quelque efficacité lors du gros oeuvre : par exemple, le montage des prédalles béton sur les structures en acier. Toutefois, cette remarque souligne a contrario qu'au delà du gros oeuvre, les nombreuses liaisons avec le second oeuvre ont été gérées à l'avancement du chantier : par exemple la liaison façade parpaings-dalle béton, les bâtis de fenêtres sur les parties courbes du bâtiment, les encoffrements de poutres et de la façade parpaings.

Le principe d'une rencontre entre conception technique du chantier et conception architecturale ne se suffit pas à lui-même ; il sollicite une démarche synchronisée (dont le maître d'oeuvre est juridiquement réputé le garant) pour faire coïncider le programme, le geste et les choix techniques.

► LA PLACE DES ACTEURS

Il est dès lors nécessaire de s'interroger sur la compatibilité d'une démarche ouverte associant

les différents acteurs autour d'une recherche des meilleures solutions de production, et l'imposition par le maître d'ouvrage d'une technologie de construction en poteaux-poutres acier. Si une telle décision n'est pas en soi discutable, elle soulève des réserves dès lors que les conditions concrètes de l'opération expérimentale la transforment en obstacle.

On peut en effet se demander jusqu'où le choix d'un acteur doit être maintenu quand il rentre à ce point en contradiction avec les possibilités des autres acteurs - le maître d'oeuvre et l'entreprise - et avec l'esprit de la REX ? Le rôle du maître d'ouvrage est-il d'imposer des choix techniques à l'architecte et à l'entreprise ou, au contraire, de limiter son intervention à l'affirmation d'objectifs et d'exigences en matière d'usage du logement, par exemple ? Il faut rappeler les ambitions de la REX et l'engagement de chacun en matière de programmation. Un tel requis technique ne met-il pas en cause la notion même de programme ? Celui-ci n'est-il que la chambre d'enregistrement des décisions techniques ou, au contraire, le processus par lequel ces décisions apparaîtront naturellement au terme d'une redéfinition des usages et de leur dévoilement progressif ? Autrement dit, ce qui prime dans le programme est-ce la technique postulée ou l'usage réfléchi ? Il nous semble que c'est évidemment la seconde option qui définit au mieux ce peut être un programme. Sur ce point, la REX s'est contenté d'une version très appauvrie de la programmation, contrairement à ses ambitions déclarées.

Le maître d'ouvrage, en imposant un système poteaux-poutre acier à une entreprise de maçonnerie, a verrouillé en partie les débats sur les modalités les plus adaptées pour parvenir à une meilleure constructibilité. La proposition d'un parti constructif n'est pas en soi un obstacle à la conception, mais cela nécessite une mise au point préalable qui permette de rendre compatibles la démarche et les domaines de compétences des différents acteurs engagés. Tous les maîtres d'oeuvre sont-ils en mesure de concevoir dans les limites techniques qu'impose l'acier ? Toutes les entreprises sont-elles en mesure d'affronter une exigence de cette nature ? Enfin, peut-on dissocier la conception technique du bâtiment de celle des logements ?

La REX permet ainsi de poser la question de la compatibilité entre des particularités professionnelles et des contraintes techniques imposées. Or

une telle démarche ne nécessite-t-elle pas comme préalable, d'associer les bons acteurs, ceux dont la compatibilité a priori n'est pas problématique ?

► UN DÉBAT D'ABORD ÉCONOMIQUE ET COMMERCIAL

La REX de Reims soulève d'autres questions récurrentes concernant le rapport qu'entretiennent les entreprises et les maîtres d'ouvrage dans le cadre de la mise au point d'un marché.

Parmi ces questions, le débat " économique " occupe une position centrale. Mais de quel débat s'agit-il ? A vrai dire, il s'agit plutôt d'une négociation commerciale dans laquelle personne ne met à plat la valeur réel du projet. Dans le cadre d'un PLA, le prix ne se calcule pas en fonction du projet, mais en fonction de ses possibilités de financement. Les entreprises, comme les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, savent calculer et optimiser la hauteur du financement accessible à une opération donnée. Par ce jeu, l'évaluation d'un projet est verrouillée, son prix le plus élevé est toisé par les possibilités maximales de financement. Dès lors, la discussion qui s'engage entre le maître d'ouvrage et l'entreprise est gauchie : l'entreprise cherche à préserver sa marge à l'intérieur du prix plafond et le maître d'ouvrage, avec l'appui du maître d'œuvre, cherche à préserver des qualités d'usage (confort, entretien, mode de vie). Il ne s'agit donc pas d'un débat économique sur la valeur d'un objet, mais d'une discussion " aveugle " puisque la marge de l'entreprise est spécifique et inconnue de ses interlocuteurs. La REX de Reims n'a pas fait exception sur ce point ; le mode de détermination des prix s'est élaboré selon une méthode statistique basée sur les coûts de chantiers antérieurs qui n'intégraient pas les choix techniques en terme d'organisation et de performances.

La remontée en amont de la conception de chantier se heurte également à l'organisation même de l'entreprise au sein de laquelle subsistent deux logiques, commerciale et travaux. Chacune a des critères spécifiques de validation de ses choix. Une réelle validation supposerait de prendre des décisions en fonction de critères multiples et d'intégrer les conséquences des différents choix. Or, c'est l'organisation interne de l'entreprise et la primau-

té accordée au commercial qui a été déterminante dans la hiérarchisation des choix et les décisions finales en matière d'organisation. Le lien entre l'entreprise SOTRAM et les autres acteurs du projet s'est fait en premier lieu, et durant toute la phase de négociation, par l'intermédiaire du responsable commercial. C'est à partir des impératifs économiques de celui-ci que les études techniques ont été menées et non pas d'abord directement avec l'architecte et le maître d'ouvrage : l'objet même de la REX, la prise en compte des choix constructifs et de ses conséquences sur la conception sont passés au second plan derrière des préoccupations commerciales.

Ainsi, la négociation entre les trois parties montre un écart trop fort entre la formulation a priori de principes techniques, la valeur marchande attribuée à chacun, et l'abstraction dans laquelle est resté le chantier. Dans une telle procédure, sans concurrence, la mise au point du projet et du marché ne s'est pas fait de manière structurée, par itérations faisant l'objet d'un protocole admis de part et d'autre. Ce protocole aurait pour objet de fixer un programme initial avec des objectifs et des performances techniques et financières à atteindre et une transparence des propositions et de leur analyse. Ce ne fut pas le cas.

► UNE RÉDUCTION DES OBJECTIFS INITIAUX

Dans ces conditions, l'anticipation des problèmes de production n'a pas joué un rôle prépondérant. Le maître d'ouvrage, en imposant à une entreprise de béton armé un système constructif à base d'acier, a de fait décentré l'objet de la négociation. Au lieu de concentrer leurs efforts sur le rapport conception/mise en œuvre, les acteurs se sont figés sur une discussion autour de l'adaptation des deux technologies acier/béton. Ces discussions paraissent s'être limitées à des approches très partielles où les coûts n'ont été envisagés qu'à partir de coupes type sur la composition des planchers et la proposition de façade acier/parpaing. Les conséquences économiques du choix d'un type de plancher par rapport à un autre n'ont pas fait l'objet d'études exhaustives.

L'interaction entre projet et marché est rituelle, mais la discussion diffère selon que l'on se place dans un contexte de mise en concurrence ou un contexte de marché négocié. L'absence de com-



paraison dans le marché négocié exigerait une plus grande rigueur dans l'évaluation du projet par le maître d'œuvre. L'avant-métré sur une technologie parfaitement décrite, garantit un véritable débat " économique " avec l'entreprise. Sur la REX de Reims, l'intervention de l'entreprise " en amont dans le projet " a occulté en partie l'analyse économique, puisque le débat n'a pas porté sur la recherche d'une économie de mise en œuvre pour une technologie donnée, mais sur la comparaison entre diverses technologies.

A travers ce débat, il est apparu que le critère discriminant d'une technologie par rapport à une autre était variable : le coût a d'abord été invoqué par l'entreprise pour refuser les bacs collaborants avec faux plafonds ; l'affaiblissement acoustique a ensuite été invoqué par le maître d'ouvrage pour refuser un plancher béton courant. L'accord s'est opéré entre les deux parties autour d'une structure poteaux-poutres avec plancher béton et dalle flottante. Ce dernier plancher n'était pourtant ni moins cher, ni plus performant acoustiquement que le premier.

L'introduction de critères différents dans des temporalités elles-mêmes différentes, a provoqué un

déplacement du débat sans qu'une approche de chantier intervienne. L'enjeu du passage d'une technique à une autre était de parvenir à un compromis dans lequel personne ne perd la face : l'entreprise préserve une dose de technique béton et le maître d'ouvrage une dose de technique acier. Au demeurant, on retiendra que, par ce biais, le maître d'ouvrage est parvenu à imposer le niveau de qualité acoustique qui lui importait. Mais dans le même temps, l'objet de la REX n'a pas été abordé sur le fond.

► LA RELATION MAÎTRE D'ŒUVRE/MAÎTRE D'OUVRAGE

A la contradiction entre technologie imposée par le maître d'ouvrage et moyens traditionnels de l'entreprise, se sont greffés deux blocages.

- Le maître d'œuvre ne semble pas avoir traité la conception architecturale du projet en tenant compte du compromis technologique. Au contraire, comme il est classique de le faire, c'est le mode de construction qui s'est adapté



(comme il a pu) à la forme.

- Le maître d'œuvre a été mis dans une situation de double dépendance économique à l'égard du maître d'ouvrage et de l'entreprise, et n'a pas pu faire valoir une cohérence entre choix techniques et économie.

Cette phase de la REX n'a pas différé d'une négociation avec une entreprise retenue à l'issu d'un appel d'offre : l'entreprise a évalué la valeur PLA du projet et proposé des techniques lui permettant de garantir sa marge économique. De plus, le caractère perturbant des choix technologiques du maître d'ouvrage a fortement pesé. Il semble que l'architecte et l'entreprise auraient pu s'entendre sur une valorisation de la conception technique de chantier dans le projet architectural s'ils n'avaient eu à gérer un choix paradoxal. A vrai dire, le résultat de la négociation a abouti à un compromis technique qui a complexifié la mise en œuvre : le conducteur de travaux a été confronté à un type d'assemblage dont il n'avait pas l'expérience. A ce titre l'entreprise n'a pas eu tort de garantir sa marge.

► PERSPECTIVES

Le rejet des formes modernes, la recherche d'un logement adapté aux "modèles culturels", une diminution de la commande et de la taille des projets, ont conduit les industriels à produire des matériaux modulaires s'adaptant à des architectures et des situations de chantier différenciées (poutres, poteaux, prédalles, parpaings, plaques, etc.).

Dans ce contexte, les marges de l'entreprise ne peuvent se gagner sur une diminution de la main d'œuvre de chantier ; elles se constituent dans la négociation lors des achats de matériaux, la sous-traitance et l'organisation. Cette nouvelle configuration met en évidence le lien qu'entretient l'organisation du chantier avec la conception : pour gagner des marges sur le chantier il faut soumettre à sa logique le processus qui lui donne naissance. On peut supposer qu'en partant de l'organisation réelle du chantier pour concevoir le projet, la rentabilité devrait être améliorée : mais dans ce cas comment préserver la qualité architecturale et d'usage ? Si la soumission du projet à la rentabilité de sa production ne peut être évitée, l'organisation du chantier doit permettre de préserver les impératifs esthétiques et d'usage. Dans ces conditions, le maintien de tels impératifs nécessite un renforcement du pôle maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre.

Le processus expérimental mis en place avait précisément pour fonction de permettre en amont une régulation performante entre les différents acteurs de l'opération pour éviter une relégation des problèmes techniques et organisationnels sur le chantier. Or le processus itératif imaginé n'a pas facilité la résolution des problèmes techniques, productifs et économiques. Cela ne tient pas aux seuls professionnels, mais au fonctionnement même du processus.

Faire état d'un état idéalisé de la conception architecturale qui ne prend pas en compte les conditions de production est justifié. Mais, a contrario, le déroulement de la REX tend à prouver qu'un dialogue très précoce entre la conception et la réalisation ne décloisonne pas ces deux dimensions si il n'a pas les moyens de ses ambitions. A Reims, ce dialogue a mis à jour des contradictions entre l'architecte, l'ingénieur, le maître d'ouvrage et l'entreprise, contradictions dont on peut se demander si il était nécessaire pour le projet de les soulever dès lors qu'elles ne pouvaient être immédiatement résolues. De fait, ces contradictions ont fini par bloquer le caractère dynamique du processus. La proposition initiale de REX a mis entre parenthèses une dimension sociologique commune à toute opération : la division du travail qui se pose comme a priori technique et qui impose à chaque acteur de développer sa propre logique, souvent contradictoire avec celle des autres.

Une démarche de programmation-conception concertée n'évacue pas les oppositions fondamentales entre des acteurs différents ; poser ces contradictions dans la phase amont de la conception ne paraît pas constituer la solution. A l'idéalisme de la conception dénoncée dans la proposition de REX, on risque bien de se trouver devant un idéalisme de la régulation : c'est-à-dire penser qu'il suffit de mettre des gens autour d'une table pour que les problèmes se résolvent. Or, les problèmes se posent et conduisent plus sûrement à des oppositions qu'à des avancées constructives. La question est donc bien de trouver des solutions optimales pour tous, le plus tôt possible, et permettre la capitalisation des solutions trouvées. C'est le propre d'une démarche itérative : capitaliser et repartir sur des éléments qui ont fait l'objet d'un accord commun.

Dès lors, comment réguler les différentes logiques entre acteurs ?

L'expérience prouve que les porteurs de logiques



différentes ne peuvent, en même temps, se mettre à l'écart de leur propre compétence et intérêt, pour épouser celui, consensuel, de la majorité. La régulation est une fonction spécifique qui doit être occupée par un "régulateur". En l'occurrence, le pré-supposé d'une entente nécessaire entre architecte et entreprise, sous l'égide du maître d'ouvrage, ne permet pas de faire émerger le plus tôt possible les incompatibilités entre acteurs, et *a fortiori* ne permet pas de les dépasser. Qui serait en mesure d'assumer une telle place et quel moment? Faut-il un acteur indépendant (AMO) ou bien, au contraire, un acteur interne qui se met en "recul"? Faut-il mettre en place un comité de pilotage qui prend le projet en charge très en amont (les questions liées au foncier, à l'opportunité de l'opération,...) et jusqu'à la réalisation? La question n'est pas tranchée, mais l'absence de cette place spécifique se fait nettement ressentir. L'exemple de Reims souligne à quel point la remontée en amont des questions de production dès lors qu'elle n'est pas régulée, au lieu de permettre une ouverture du débat de conception, limite le débat aux champs restreints des compétences propres de chaque acteur : en matière technique et de gestion de projet. Bref, on associe trop vite des compétences et des capacités exclusives. La dynamique du dialogue visant à dépasser ces spécificités, au contraire de se développer et se résoudre en amont comme le voulait la REX, s'est figé et a paralysé le processus.

L'expression de la commande, au niveau de la phase de programmation et au cours du déroulement du projet, devrait s'appuyer sur une instrumentation permettant de valider des choix, d'ob-

jectiver des critères, de permettre une remontée de l'ingénierie de production. Dans ce contexte un pré-supposé, un *a priori* technologique spécifique à cette opération, a joué un grand rôle : la demande du maître d'ouvrage de construire en acier et d'atteindre des performances acoustique très élevées. En soi cette question n'est pas nécessairement problématique, c'est le processus lui-même qui suppose un montage particulier : les choix techniques,

du maître d'ouvrage, de l'entreprise, de l'architecte, ne sont pas nécessairement contradictoires, sauf si leur expression, et les conséquences économique et organisationnelle, ne sont pas très précocement décelées, discutées, régulées. Ici ce n'est pas la technique qui est en cause, mais l'absence d'une intervention précoce capable d'identifier les points potentiels de blocage. Certains choix figés très tôt, ou d'autres exprimés très tard, ont obligé l'architecte ou l'entreprise à maintenir des exigences qui ont fini avec le temps par perdre de leur pertinence, aussi bien technique, qu'économique ou organisationnelle.

Une fonction spécifique de régulation serait sans doute en mesure d'identifier les points de blocage potentiels. Cela suppose la mise en place d'un processus de collaboration très en amont de la réalisation et la volonté forte des différents métiers d'y souscrire.