



**INNOVATION CHANTIER STRUCTURE**

Les habillages de la façade du Curve font office de brise-soleil et marquent la courbure du bâtiment en complément de certains vitrages concaves ou convexes.



© BinderHolz

**Lieu**

Saint-Denis (93)

**Maitrise d'ouvrage**

BNP Paribas Immobilier

**Maitrise d'œuvre**

Chartier Dalix [architectes], Bollinger & Grohmann [façades], Berim [fluides], Alto Ingénierie [AMO environnemental], DAL [économiste], Terrell [structure], Capri [acousticien], Socotec [bureau de contrôle], SSI Consulting [coordination SSI], Bureau Veritas [coordination SPS], Claude Fort Ingénierie [AMO VRD], Foundation Space & Vision [BIM management]

**Entreprises**

Ingénierie Bois [BE d'exécution/PAC], GCC [gros œuvre béton], Mathis [gros œuvre bois], Metal Yapi [façadier]

**Coût des travaux**

57 M€ HT

# Le bois prend la vague du Curve

C'est la première fois qu'un immeuble tertiaire de huit niveaux à structure bois épouse des formes aussi sinueuses. Un pari risqué, qui a repoussé les limites des méthodes de calcul des ouvrages en CLT.

Pays : FR  
Périodicité : Mensuel  
OJD : 6448

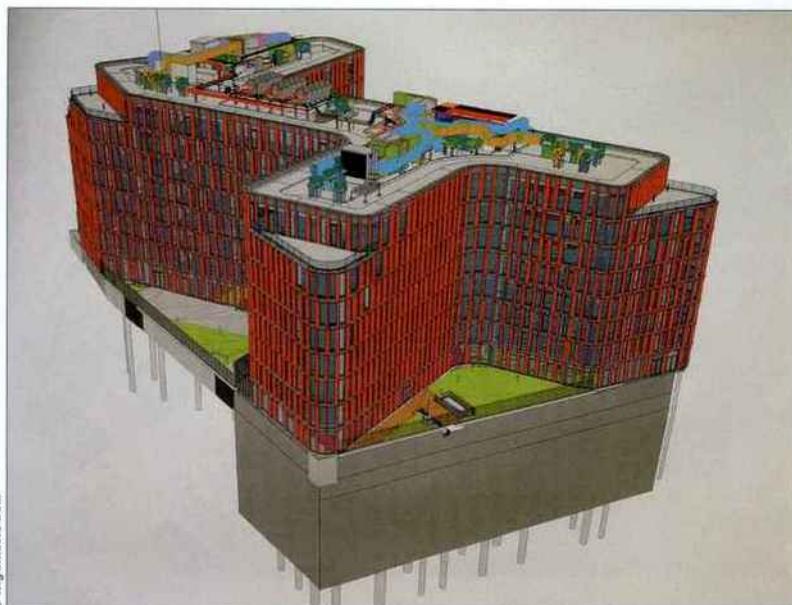


**A**u sein de la ZAC Montjoie de Saint-Denis (93), c'est une opération inédite qu'a livrée l'agence Chartier Dalix en jouant la carte du bois structurel, combinée à une morphologie tout en courbes. Le Curve, justement nommé, compte 24000 m<sup>2</sup> de bureaux, 250 m<sup>2</sup> de commerces et s'élève en R+7, avec quatre niveaux de parking en infrastructure. Le projet met en œuvre du ciment de haut fourneau (CEM III/B) permettant un gain de 1570 t de CO<sub>2</sub>, à mettre en rapport avec les 4150 t de CO<sub>2</sub> optimisées grâce à la superstructure en bois. En socle rez-de-chaussée et pour les noyaux, le recours au béton s'est imposé vis-à-vis des contraintes dues à la sécurité incendie et à la compatibilité des locaux à forte hygrométrie. Pour le reste, la construction repose sur une mixité métal-bois en structure déployée à une échelle ambitieuse. « Le projet met en œuvre quelque 5000 m<sup>3</sup> de bois, soit 4050 m<sup>3</sup> de CLT et 920 m<sup>3</sup> de BLC, chiffre Ludovic Foell, du BE d'exécution/PAC Ingénierie Bois. La structure en acier pèse quant à elle 505 t et les ferrures, hors fournitures standard, 56 t. »

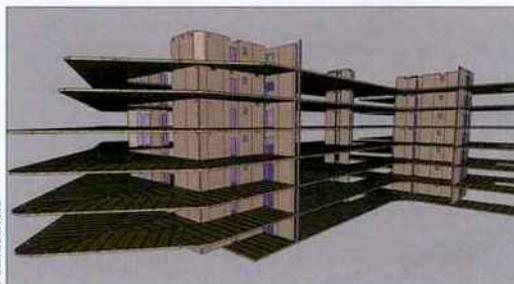
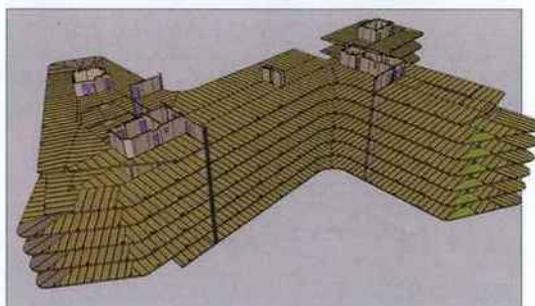
### Enjeux de la conception

« Si le principe structurel général adopté était innovant lors de la phase conception en 2017, il est dorénavant plus courant », explique Philippe Bontemps, responsable bois & bas carbone du bureau d'études Terrell. Le bâtiment culminant à 30 m est stabilisé par les noyaux en béton qui jouent le rôle de « points rigides », tout en sanctuarisant les circulations verticales en situation d'incendie. Les planchers bois en CLT ont quant à eux un rôle de « diaphragme », c'est-à-dire qu'ils reportent toutes les charges latérales imposées en façade vers les noyaux béton. En effet, la structure périphérique est un système poteaux-poutres entièrement en BLC, qui travaillent principalement pour les charges gravitaires issues des planchers et murs-rideaux portés par les rives.

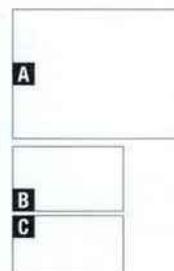
Pour autant, le projet se démarque des standards des bâtiments bois multi-étages : « Le parti pris d'une mise en plan fait la part belle aux lignes brisées, aux raccords de rives en courbure et à des portées variables de 4 à 7,5 m », précise Philippe Bontemps. Ce qui a impliqué des ajustements. En effet, dans une telle configuration, il aurait été techniquement pertinent d'employer le CLT en plancher-dalle. Cela aurait demandé des épaisseurs de



© Ingénierie Bois



© BinderHoltz

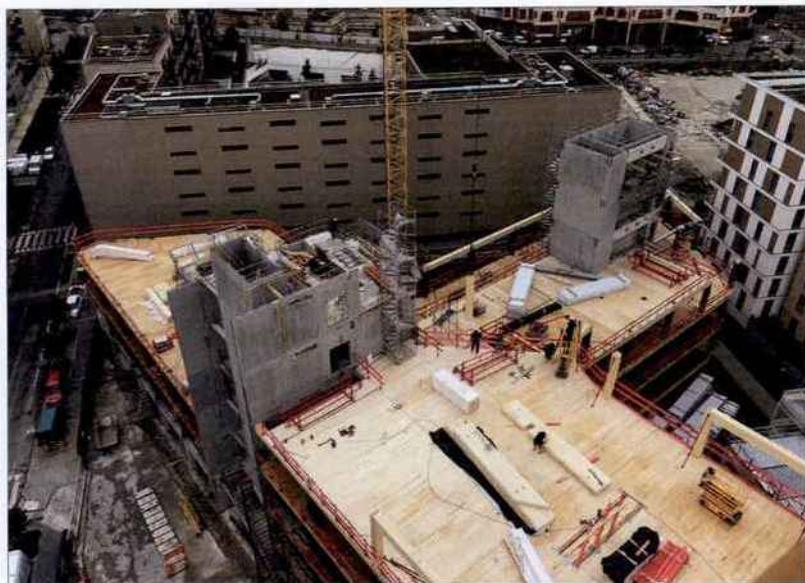


- A. Modélisation de la superstructure avec l'infrastructure et notamment les parkings.
- B. Calepinage du CLT horizontal.
- C. Calepinage du CLT horizontal et vertical.

CLT économiquement inacceptables à date. Les matériaux employés sont donc à un sens unique de portée. « Par conséquent, les poutres intérieures devaient mailler les supports des planchers CLT selon une densité plus élevée que d'ordinaire. En ajoutant la contrainte des hauteurs de plancher et du passage des réseaux, l'emploi de profilés métalliques en HEA s'est imposé », ajoute-t-il.

Concernant la façade en mur-rideau tout en courbes, l'emploi du BLC pour les rives cintrées a exigé une attention particulière. En effet, une rive courbe a tendance à basculer autour de ces appuis. Cumulée aux tassements des

Pays : FR  
Périodicité : Mensuel  
OJD : 6448



© BinderHolz



© BinderHolz

Sur les plateaux, dans la mesure du possible, des cloisonnements en CLT de qualité vue permettent une perception du bois.



**A.** La structure mixte associe deux noyaux en béton préfabriqué et des planchers en CLT sur poutrelles métalliques (sauf en rive).

**B.** Panneaux CLT BBS125 retaillés sur mesure dans l'attente de leur mise en place.



© BinderHolz

■ ■ ■ poteaux bois, cette rotation était susceptible de rendre incompatible les déformations admissibles de la façade en mur-rideau. Ce problème a été réglé par un couturage adapté entre les poutres de rives courbes et les planchers CLT, ces derniers jouant le rôle de tirant-poussant en opposition de cette rotation.

### Phase d'études d'exécution

Dans le cadre de l'étude d'exécution, menée par le BE Ingénierie Bois sous-traitant des entreprises Mathis et OBM, l'épaisseur des panneaux CLT a été modulée en 6 à 7 valeurs par niveau courant, dans une fourchette allant de 16 jusqu'à 28 cm d'épaisseur. Ces dernières étant variables, les planchers CLT – pour niveler les faces supérieures – ont été posés sur les poutres métalliques, soit au travers d'une feuillure, soit au travers d'une lisse bois de rehausse. Dans tous les cas, pour garantir la fonction diaphragme, les poutres métalliques HEA ont été pré-percées à intervalle de 25-30 cm afin de permettre le vissage de diamètre 8 mm par le dessous du CLT. Il a par ailleurs fallu résoudre le problème du cumul de tolérances des largeurs des panneaux CLT par rapport à leur calepinage sur de grandes longueurs: « Les panneaux en CLT ont habituellement une tolérance de 1 mm. Avec un jeu de 2 mm, si le plancher atteint une longueur de 50 m, on peut arriver à un cumul de jeu de 2 à 5 cm, précise Ludovic Foell. En conséquence, ils doivent être fraisés à la fabrication de 1 mm, et le dernier assemblage de la longue rangée doit être prévu à mi-bois avec un jeu de 1 cm. »

### OUTIL

## Logiciel de calculs



Le logiciel RFEM de Dlubal, utilisé par Ingénierie Bois, était adapté pour faire le calcul de segments du projet associant trois types de matériaux.

Ludovic Foell, du BET Ingénierie Bois en charge de l'exécution PAC, a notamment eu recours au logiciel RFEM de Dlubal Software, qui intègre une bibliothèque de produits, dont les différents CLT commercialisés dans ses calculs. Il permet une modélisation 3D et une utile mise en combinaison d'un poteau, d'une poutrelle, d'un panneau CLT et d'une poutre en BLC. L'export au format IFC facilite la synthèse avec des corps d'état secondaires, tandis que les tolérances du gros œuvre sont limitées par le recours au béton préfabriqué des noyaux. ■

Pays : FR  
Périodicité : Mensuel  
OJD : 6448



© Binderholz

En ce qui concerne les poteaux, les descentes de charge atteignent jusqu'à 450 t, impliquant de recourir à des sections de BLC de 44x44 cm, voire 58x58 cm, en passant à certains endroits du GL24h au GL28h, voire au GL32h. Dans le cadre de l'optimisation, il aurait été possible de diminuer la section de 40x40 cm à 36x36 cm aux étages supérieurs, mais l'agence Chartier Dalix a maintenu l'exigence de sections homogènes pour des raisons architecturales. Les courbures du projet ont également constitué une prise de risque en termes d'intégration des réseaux, « notamment en raison de la volonté de réduire au minimum les valeurs complexes en plafond, explique Nicolas Wendling, d'Ingénierie Bois. Cela a nécessité un très lourd travail de synthèse pour intégrer 3 550 réservations (réseaux CVC, électricité et plomberie) dans les ouvrages bois et métal. Pour la plupart, elles ont demandé des justifications structurelles au cas par cas ». La complexité était augmentée par l'impératif de respect de la trame du faux plafond, avec attribution en amont d'espaces spécifiques imposant la disposition de réseaux de ventilation à des points précis.

### Phase de chantier

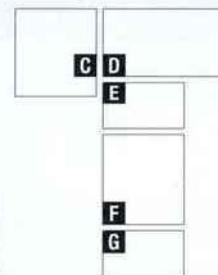
Pour le lot structure bois et métal, les travaux ont été réalisés par l'entreprise Mathis, en remplacement au pied levé d'OBM qui était initialement prévue. Pour la fourniture du CLT, le constructeur Mathis s'est tourné vers Binderholz, un industriel disposant de CLT de 125 cm de large. Le BE exé/PAC Ingénierie Bois a ainsi livré une vue en plan niveau par niveau, tandis que ■■■■



© Binderholz



© Ingénierie Bois



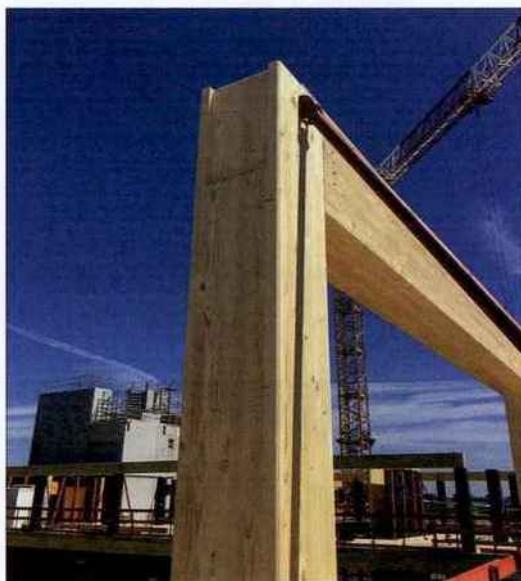
**C.** Mise en place d'un élément en BBS125.

**D.** Les poutrelles métalliques s'imposent notamment dans les extrémités convexes du bâtiment, afin de maîtriser le fluage du CLT et la flèche active minime tolérée par la façade.

**E.** Démarrage au niveau 1 avec interaction poussée entre béton, acier et bois.

**F.** Le recours aux poutrelles métalliques n'est pas systématique.

**G.** Le nœud poteau-poutrelles est en acier.



© Binderholz



© Ingénierie Bois

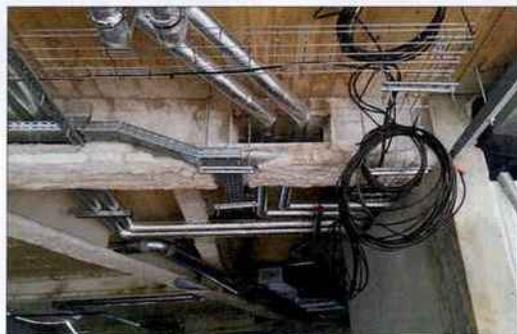
Pays : FR  
Périodicité : Mensuel  
OJD : 6448



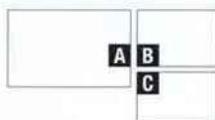
© Binderholz



© Chartier Dalix



© Ingénierie Bois



**A.** Les panneaux CLT BBS125, standard et disponibles, permettent de remplir les surfaces de planchers rectangulaires.

Les zones cintrées restent en attente de la livraison de panneaux XL rendus nécessaires par les coupes polygonales.

**B.** Les poteaux en BLC sont protégés toute hauteur contre les chocs et les UV. Les poutrelles métalliques facilitent la gestion des chevêtres.

**C.** Dans la mesure où la sous-face des panneaux n'est pas apparente, le plénum peut être utilisé pour la circulation des fluides et réseaux.

■ Binderholz s'est chargé du calepinage. Dans certaines zones courbes, le recours au grand format XL s'est imposé à cause de découpes polygonales. Concernant les poteaux et poutres en BLC, leur fabrication s'est effectuée dans un délai très court, en particulier pour ce qui concerne les poutres cintrées de rives, constituées de lamelles de section inhabituelle (inf. à 4 cm) pour un rayon de courbure de 1,73 m.

La logistique a mobilisé une collaboration étroite entre Binderholz, Mathis et les sous-traitants. En effet, l'industriel a livré en flux tendu 144 camions en 15 semaines, à partir d'avril 2019, soit

deux camions par jour ouvrable. L'enjeu étant de faire converger simultanément les BLC, les panneaux CLT et les éléments en acier. Deux grues servies par deux équipes ont été mobilisées, tandis que d'autres équipes spécialisées dans la pose des poutrelles métalliques travaillaient en temps masqué pour augmenter la cadence de montage. Les façades ont quant à elles été pourvues par le turc Metal Yapi, qui a su fournir des éléments concaves et convexes.

La construction bois a fait la preuve de sa rapidité, car selon Sébastien Chevance, responsable de projet de Chartier Dalix, un chantier en béton aurait été plus long de 3,5 mois. Pour Philippe Bontemps, « Curve fait la démonstration que l'équilibre des ambitions architecturales, des défis techniques et des objectifs de décarbonation trouve sa réponse dans une conception hybride des matériaux. De plus, comme tous les projets pilotes en bois multi-étages de moyenne et grande hauteur, les équipes de conception et de réalisation ont dû résoudre des difficultés inhérentes à l'innovation et à l'expérimentation ». Pour autant, la filière bois progresse rapidement grâce à ces chantiers pilotes et les conditions normatives actuelles pour la construction bois sont déjà bien différentes de celles de 2017, année de démarrage du projet Curve.

Jonas Tophoven

## UN PRODUIT SPÉCIFIQUE

### Poutre cintrée Binderholz

© Binderholz



La courbure des façades est obtenue par des poutres cintrées constituées de lamelles inférieures à 4 cm, pour des rayons de courbures atteignant 1,73 m. Elles supportent des planchers CLT en bois massif vissés par le dessus. Dans les angles, les panneaux BBS125 sont remplacés par des panneaux XL. ■