

Mixité

Solutions constructives – Vol. 1

Mixité

A lors qu'aujourd'hui, de nombreux défis s'imposent au bâtiment, il devient urgent de ré-envisager en profondeur les réponses constructives. La mixité dans la construction – de tout temps appliquée pour répondre à des besoins multiples et complexes - apparaît de nouveau comme une voie d'avenir, qui promet de mélanger le meilleur des techniques, des matériaux, des compétences, pour un résultat augmenté.

Cet ouvrage dédié à la mixité, est un premier opus, qui appréhende avant tout la question de la structure. Mais au-delà de la structure, le travail mené sur le présent ouvrage a confronté ses auteurs à des questionnements qui dépassent le point de vue structural et technique. Car les conséquences de ces choix en structure impactent nombre de domaines. L'environnement, la durabilité, l'investissement, l'esthétique, la frugalité, le mieux-vivre ont ainsi émergé des échanges avec les acteurs de terrain. Aussi, pour compléter ce premier volume, un second ouvrage approfondira le sujet du côté des matériaux biosourcés et de l'enveloppe.

Avec « Mixité, Solutions constructives », nous avons pris le parti de réaliser un premier pas, didactique, séduisant, reposant sur des projets enrichissants. Choisir les expériences les plus parlantes, celles qui pourront être contagieuses ; restituer la diversité des typologies de mixité et de bâtiments ; se faire le fidèle relai des ambitions qui sous-tendent ces choix... La tâche fut délicate au vu du nombre de réalisations identifiées. Cette abondance signifie que la mixité redevient courante. Ses potentiels en revanche peuvent être décuplés. Une multitude de pistes que nous vous invitons à emprunter dans les pages qui suivent.

Sommaire

Préambule

Regard architectural sur la mixité

La mixité dans l'histoire des bâtiments
Mixité.... Quelle ambition ?
Quels types de mixité ?
Détour. L'expérience du métal

Expériences de la mixité

Espace de loisirs Aqualagon, Bailly-Romainvilliers
Pôle culturel et sportif, Alby-sur-Chéran
Collège de la Rose Blanche, Paris
Salle omnisport, Strasbourg
Résidence étudiante Studéa, Villejuif
Maison de l'étudiant, Guyancourt
Immeuble de bureaux Opalia, Paris
Pulse, tertiaire bas carbone, Paris
Solaris, résidentiel R+9, Grenoble
Surélévation d'immeubles, Poissy

Approche technique des solutions en mixite

Tirer le meilleur profit des caractéristiques de chaque matériau
Stabilité globale, contreventement et sollicitation sismique
Allier esthétique et optimisation de matière pour porter loin
Combiner en superposant ou juxtaposant
Tirer profit de la mixité pour rénover ou réhabiliter
Performance thermique
Acoustique et confort vibratoire
Sécurité vis-à-vis du risque incendie
L'interface principale : les assemblages
Conduite d'un projet en mixité

La mixité, demain

Aller plus loin

**REgard
Archi-
TectuRal
sUr
la miXiTé**

Par Véronique Klimine,
architecte (R2K)



Green Office® ENJOY : Immeuble tertiaire, Paris / Bois + Béton
Architectes : BAUMSCHLAGER EBERLE et SCAPE - Photo : Luc Boegly

La mixité dans l'histoire des bâtiments

TIPOLOGIES ARCHITECTURALES VS MONOCULTURES CONSTRUCTIVES

Afin d'aborder la mixité des matériaux dans la construction contemporaine et du futur, il est utile de repenser comment la construction s'est organisée historiquement en filières pour créer des bâtiments caractérisés à la fois par des modes constructifs et des typologies fonctionnelles.

Depuis le début de l'ère industrielle nos sociétés ont répondu à des besoins massifs de construction pour faire face à divers phénomènes : reconstruction d'après-guerre, poussées démographiques, développement de la société industrielle et de services, nécessité d'équipements publics, de locaux tertiaires... Pour produire ces mètres carrés, la construction s'est organisée, mettant en place différentes innovations, de nouveaux modes constructifs, et développant les formations nécessaires à leur développement.

Des vagues successives de bâtiments construits à grande échelle sur le territoire,

témoignent de leur époque. Ils ont modelé et accompagné l'évolution de notre paysage urbain et péri-urbain vers la monoculture, avec des ambitions spécifiques, aux typologies de bâtiments et aux époques :

- **Produire en nombre des logements sains** ouvriers ou bourgeois au XIX^e siècle, ainsi que des ateliers de production et des usines,
- **Eduquer, administrer et soigner** avec diverses lois ayant conduit les communes à s'équiper sur le territoire de bâtiments publics, écoles, mairies, dispensaires, postes, sanatoriums et hôpitaux, puis gymnases, piscines,
- **Accomplir la reconstruction** d'après-guerre et répondre au développement économique avec la construction de logements collectifs en masse,
- Répondre dans les années 70 au développement de la **grande distribution** avec les entrées de villes commerçantes et les hypermarchés liés au développement périurbain, correspondant à la généralisation de l'automobile,
- **Bâtir les plateaux de bureaux de la société tertiaire**, assurances, mutuelles, banques, en essaimage autour des villes moyennes et les tours à Paris,
- **Répondre de nos jours au gigantisme des entrepôts logistiques** liés à la consommation en flux tendu, à l'achat dématérialisé venu de la mondialisation de l'économie.

À chaque vague, il est ainsi possible d'associer une innovation et la montée en puissance d'un nouveau système constructif qui, au cours du XX^e siècle, fera à chaque fois cheminer les bâtiments de la mixité initiale (encore présente avant la seconde guerre mondiale) vers une « monoculture » constructive.

LA MIXITÉ D'AVANT-GUERRE

Lorsque les constructions étaient réalisées avec des matériaux très locaux, les constructeurs, qui plus est les charpentiers, avaient la bonne intelligence, pour que le bâtiment soit durable dans le temps et protecteur des intempéries, de bien réfléchir aux matériaux utilisés et adaptés aux différents climats, de sorte à accroître leur longévité. La mixité était naturelle afin de tirer le meilleur parti des ressources disponibles.

Correspondant à chaque climat et zone géographique et puisant dans les matériaux locaux, une variété d'architectures a été inventée. Pierre, argile, brique, bois, natte, bambou ont permis des modes constructifs intelligents, symboliques et décoratifs.

Puis la maîtrise du fer et de la fonte ont renouvelé le potentiel en permettant la finesse des sections et une invention de composants. De même avec le béton, moulé, ferrailé puis fibré qui a également su s'imposer massivement, comme nouvelle réponse.

Les premiers bétons sont opérationnels à la fin de la première moitié du 19^{ème} siècle, ainsi que la fonte moulée et le fer. A cette époque, la mixité des matériaux de construction est encore évidente. Des matériaux comme le bois, la brique, la pierre y conservent une place régulière et noble.

Lors de ce moment charnière de l'histoire de la construction, le vocabulaire constructif est enrichi par la finesse et la robustesse des éléments structuraux en fonte (piliers) permettant des transparences et plus de liberté dans les plans avec des structures moins massives.

Charpentier, au cœur de la mixité

L'esprit du charpentier réside dans un aller et retour permanent entre l'idée et sa matérialisation. Lorsqu'il conçoit, le charpentier pense en poids, en forces, en volumes... et en matières. L'homme de métier doit ainsi savoir évaluer la stabilité non seulement de la charpente elle-même mais de tout le bâtiment. Cette stabilité de l'édifice influe sur la conception même de l'ouvrage. Il s'agit alors de tenir compte de l'interdépendance de tous les éléments constructifs, depuis les fondations jusqu'aux combles. À ce titre, et de tout temps, le charpentier est un homme de mixité, qui opère la synthèse entre le bois et les différents matériaux de son époque. Comprendre une réalité nouvelle, un espace, un volume, les attentes de l'architecte ou les ambitions du maître d'ouvrage... tels sont les préalables du métier du charpentier pour traduire les besoins en solutions. Ce rôle central porte le charpentier vers une réflexion propice à l'utilisation du bon matériau au bon endroit, depuis la conception jusqu'au levage. Une réflexion essentielle à la mixité.

Source : *Charpentier, un métier d'Art et d'avenir* – Gilles Mermet – Editions de La Martinière

De la même manière, les premiers composants en bétons moulés, produits en série et disponibles sur catalogues, se mêlent aux murs de pierre, avec tableaux de fenêtre,

linteaux, clés de voutes, balcons, ornements et meilleurs marché que la pierre de taille. Ils offrent en outre une gamme stylistique élargie, du néoclassicisme à l'art nouveau. Le métal, quant à lui, est dans un premier temps utilisé en charpentes : d'abord, parce qu'il les protège du feu, ensuite parce qu'il dérange ; et qu'ainsi dissimulé sous la couverture, il échappe aux regards.

Ainsi, au milieu du XIX^e siècle, les 4 matériaux, maçonnerie (pierre ou briques), bois, fer, béton sont présents conjointement pour écrire les bâtiments, de la structure au revêtement et à la décoration, jusqu'à l'agencement.

ÉPOQUE MODERNE : PROCÉDÉS INDUSTRIELS

Pendant la reconstruction, et ensuite des années 1970 à 2000, le développement de nouveaux procédés industriels balaie ce qui restait de mixité. La pierre disparaît, le bois est absent des zones commerciales, des zones artisanales, du logement collectif, du bureau, des tours. Des systèmes constructifs mono-matériau et mono-usages font leur apparition :

- Les pré-dalles,
- Les refends
- Les voiles de façades
- Les portiques en structure métallique
- Les systèmes de façades double peau
- Les isolants issus des produits pétroliers ou minéraux
- L'avènement industriel des filières PVC et aluminium.

Pourtant, une certaine mixité continue d'être soutenue. Ainsi programmes HLM, programmes de maisons en bande et de petits collectifs, équipements publics ou programmes de logement de tourisme échappent à cette tendance du mono-matériau pour maintenir un principe de mixité. Ce patrimoine a permis de poursuivre la recherche et le retour d'expérience en accompagnant l'évolution des entreprises.

Au début du 20^e siècle, le bois innove également. De nouveaux brevets sont déposés et signent la naissance d'un matériau d'ingénierie permettant de grandes portées : le lamellé collé. Ce matériau, fort de sa stabilité au feu et des formes libres facilitées, investit au cours de la seconde moitié du 20^e siècle, de nouveaux marchés : gymnases,

piscines, toitures de supermarchés, entrepôts... Le bois reste également présent en charpente (fermettes) comme en architecture de montagne (pastiche ou référence vernaculaire). Il se développe enfin dans les menuiseries extérieures, volets, escaliers, planchers de terrasses, bardages extérieurs ventilés, y compris sur des murs béton.

RADICALITÉ DU ZONING URBAIN

Parallèlement à ces innovations et au développement de nouveaux systèmes, la pratique d'un urbanisme de zoning a produit une architecture codifiée perdant la référence à son milieu environnant, organisant les bâtiments par formes, fonctions et systèmes constructifs via les règlements urbains dans les plans d'occupation des sols. Mais en perdant les notions de climat et de site, en autorisant les mêmes constructions quelles que soient les villes du territoire, cette logique a produit des bâtiments typifiés : boîtes, barres, tours, entrepôts ou maisons de Monopoly®...

Ces vagues successives de développement urbain ont produit une majorité de bâtiments monofonctionnels, répondant à des besoins ciblés, reflets de réflexes constructifs architecturalement appauvrissants. Et l'on passe d'un univers à l'autre, sans transition.

DU CHOC PÉTROLIER AU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE DES EXPÉRIENCES DE MIXITÉ CONSTRUCTIVE

Pendant les années 1960-1970, à l'écart de villes centres, des villes nouvelles ont tenté de répondre à la problématique de mixité fonctionnelle ou constructive et aux problématiques énergétiques nouvelles. En 1973, la crise pétrolière déclenche une politique énergétique axée sur les économies d'énergie.

L'architecture solaire et les mouvements d'auto-construction post 1968 amènent une nouvelle identité et un type d'architecture où bioclimatisme et auto-construction proposent d'autres voies d'expérimentation. Elles demeurent cependant très confidentielles.

En 1985 s'érige par exemple le Village terre à l'Isle-D'abeau dans l'Isère, qui permet de renouer avec une tradition locale, la construction en pisé, pour retrouver un matériau économe en énergie (dans sa mise en œuvre et son utilisation) et démontrer le potentiel de la terre crue face aux problèmes de logements, notamment à l'échelle des besoins du tiers monde. Des organismes, comme l'OPAC38 avec des financements publics réalisent des programmes valorisant les filières terre, bois, ou mixtes. La DHUP a par ailleurs financé 6 groupes de travail afin d'élaborer des règles professionnelles. Un sujet éminemment d'actualité...

MIXITÉ CONSTRUCTIVE RÉPONSE À L'ENJEU DE MIXITÉ FONCTIONNELLE

Ou comment permettre la cohabitation des usages, pour envisager une réduction des temps de transport et améliorer notre quotidien ? Récemment, la réutilisation des friches au cœur des grandes villes, casernes, ports, berges, docks, ont permis des mutations citadines (Nantes, Lyon, Bordeaux, Grenoble). Ces expériences vertueuses ont ré- initié un début de mixité fonctionnelle et constructive offrant des opportunités de réfléchir sans carcan, sur des modes constructifs à réinterpréter.

CHANGER DE REGARD LA MIXITÉ, AILLEURS

Pour mieux nous interroger sur nos propres pratiques constructives il est parfois bon d'observer d'autres pays ou continents pour se rendre compte à quel point l'organisation de nos modes constructifs reflète notre histoire et est sujette à une multitude d'influences (culturelles, sociétales, économiques).

Au Québec

Lors d'un voyage au Québec je constatais ainsi que les murs manteaux existaient bien pour les multi étages dont le système constructif était en béton, dalles et poteaux / refends. Ces murs manteaux n'étaient toutefois pas en bois, mais ressemblaient à un Megastil®. Ainsi l'acier a trouvé ici une mixité avec le béton. Il est intéressant de constater que la logique d'utilisation de ressources renouvelables et la

nécessité d'efficacité de l'enveloppe ne sont pas des critères premiers, du moins pour ce choix technique.

En Finlande

La qualité des chaînes de production depuis les machines-outils jusqu'aux produits industriels ont permis, par des innovations, la transformation de la ressource forestière locale en matériaux performants, usinés à grande échelle, compétitifs et destinés à des usages bien spécifiques. Au-delà des éléments structuraux bois qui s'y sont naturellement développés (du fait d'un marché national ouvert à ces solutions), des produits comme les cloisons non porteuses sont ainsi également proposées, afin de remplacer justement ces procédés conventionnellement utilisés pour le cloisonnement. Des solutions plus fines, résistantes et biosourcées.


En Allemagne

Organiser le chantier et repenser le process de co-conception, de préfabrication, de chantier, comme l'a fait l'industrie automobile, préfabriquer les composants, concevoir avec une économie des ressources, dans une mise en œuvre épurée et dans un but d'efficacité et de sobriété... Voici ce qui est au cœur de nombreux projets de recherche et de pratiques architecturales en Allemagne. Universités et chercheurs se penchent sur la réduction de la matière, dans une drastique utilisation. Ce qui peut influencer sur le style architectural.

Aujourd'hui, la nécessaire sobriété environnementale est recherchée, notamment à travers les matériaux biosourcés (naturellement renouvelables), à travers le ré-emploi, l'économie de matière... Ces pistes nous amènent de nouveau vers la nécessité de repenser une architecture composite, intelligente. En capacité d'apporter une réponse plus riche à l'ensemble des enjeux (économiques, environnementaux, climatiques, sociétaux et même intimes) qui s'imposent à notre époque.



Bâtiment des sciences humaines Max Weber, Nanterre / Bois + Béton
Architectes : Atelier Pascal Gontier – Photo : Abbadie



Immeuble de bureaux Perspectives, Bordeaux / Bois + Béton + Métal
Architectes et photo : Nicolas Laisné et Dimitri Roussel

Mixité Quelle ambition?

APPROCHE GLOBALE

La mixité dans la construction peut-elle mieux répondre à nos devoirs environnementaux ? Peut-elle nous orienter vers des projets multicritères pour nos lieux de vie, prenant en compte la santé, le bien-être, la sobriété dans l'usage de la ressource, la performance des enveloppes et des systèmes ?

Aujourd'hui nous devons prendre acte de la responsabilité du secteur de la construction et de l'habitat sur le réchauffement climatique. Ceci nous impose un questionnement sur la production des bâtiments neufs et la rénovation des bâtiments existants. Nous devons de fait avancer rapidement dans nos réflexions pour agir concrètement. De ce point de vue, l'injonction qui nous est faite est une opportunité sans précédent. Car repenser les modes constructifs dans le sens d'une mixité intelligente, nous ouvre la voie pour repenser les bâtiments eux-mêmes : leur(s) fonction(s), leur adaptabilité, leur attractivité, et finalement leur ancrage dans le présent comme dans l'avenir. La construction doit dès lors être réfléchie globalement, dans son ensemble. Un tel parti pris nous invite à adopter une approche globale, tenant compte de multiples enjeux et critères.

Ainsi, le choix des matériaux, à l'aune des enjeux environnementaux, va de pair avec une nouvelle manière d'appréhender la matière et les systèmes, reposant sur...

- la connaissance des procédés de fabrication ou des matériaux de construction dans leur impact environnemental,
- la prise en compte des moyens de production et de transports nécessaires entre ressources, site de production et lieu de chantier,
- la recherche prioritaire d'utilisation des ressources renouvelables, en structure comme en isolation,
- la parcimonie des moyens de construction, la bonne portée, le bon détail,
- la réversibilité des espaces ou leur modularité, permettant la mixité des usages dans la cité, leur transformation, leur évolution.

De la même manière, la recherche d'une sobriété globale est éminemment liée aux choix architecturaux autant qu'au choix des systèmes :

- au bon accès à la lumière naturelle,
- à la réduction des besoins en énergie et donc à la qualité de l'enveloppe,
- au cout global et à une maintenance anticipée, garantissant la constance de cette sobriété,
- à la prise en compte des enjeux de la réutilisation (lors de la construction, mais aussi lors de la fin de vie du bâtiment), de la valorisation des déchets, de la déconstruction

Une dimension fondamentale réside du côté de l'utilisateur. Trop souvent négligée, cette dimension est essentielle car le bien-être, le confort, la facilité d'usage et le plaisir que peut apporter

un lieu lui accordent non seulement un surcroît de sens mais aussi un surcroît de durabilité. Cette dimension incombe aussi au concepteur. Une dimension où, là encore, la mixité a un rôle à jouer à plusieurs niveaux :

- Les choix de volumétrie et d'ambiances
- La prise en compte de l'effet des matériaux sur l'être humain

La maîtrise des résultats, enfin. La notion de « pluriel » est fondamentale, car aujourd'hui, les résultats attendus sont multiples. Produire des espaces agréables et créatifs à des prix raisonnables demande aux entreprises de construction de se projeter dans la maîtrise des process, et de réfléchir à améliorer la fabrication et l'intégration des systèmes, du gros œuvre au second œuvre, de repenser la production des chantiers de bâtiments, pour sortir d'une vision éclatée des métiers et de l'aléatoire du site et des conditions du chantier.

Pour ce qui concerne la mixité dans ce champ, il y a bien un challenge supplémentaire à relever. En effet, dans une filière donnée (tout métal, tout bois, tout béton), il y a toujours un leader, « un poids lourd » qui gère le système. Aussi, l'enrichissement des systèmes constructifs demande une réorganisation des rôles en profondeur avec différentes méthodes :

○ **Métisser les métiers par cooptation et regroupement des savoirs faire** > **Macrolots**

- **Étendre les compétences de la maîtrise d'œuvre** > **Rôle central des architectes**
- **Étendre les connaissances**

économiques et chiffrer juste
> **Rôle des économistes**

○ **Intégrer de nouveaux métiers** > **Stratégie des majors**

○ **Accepter une remise en cause des habitudes et du système** > **Choix de rupture**

CONCEVOIR UN PROJET MIXTE

Dans la genèse d'un projet de construction, plusieurs objectivations se croisent, entre les différents acteurs du projet (architectes, ingénieurs), les ressources (fabricants) et les habitudes constructives (entreprises).

Sortir du « genre » ou du « type », assigné à une typologie de bâtiment, réfléchir à chaque matériau mis en œuvre est une liberté qui se confronte à l'organisation du chantier, aux filières présentes sur le marché, à l'organisation même de l'ingénierie ou aux habitudes des clients publics ou privés. Par ailleurs, en pensant « mixte », on peut également penser à mixer non seulement les filières, mais aussi l'équilibre des matériaux neufs et des matériaux de réemploi.

Pour créer des bâtiments mixtes, il faut une équipe sachante sur de nombreux aspects, qui puisse évaluer l'impact d'une nouvelle technique de mise en œuvre sur l'économie d'un projet, ou sur le séquençage du chantier. La co-création pendant la projection, est un concept encore nouveau qui, si on la pratique avec toutes les dimensions d'une conception holistique, allant des ressources utilisées

jusqu'au bien être final, en passant par les émissions de CO₂, le cycle de vie et jusqu'à la déconstruction, demande des moyens d'études qui ne sont pas toujours valorisés par un projet lambda. Ainsi, des moyens d'investigation plus fournis peuvent être encore nécessaires pour évaluer tous les aspects d'un projet mixte.

Le bon sens ou l'expérience de mêler des systèmes constructifs pour obtenir un résultat à la fois économique, technique et satisfaisant architecturalement est le fruit d'expériences et d'observation d'opérations antérieures. Cette démarche demande une dose certaine de créativité et de persuasion de la part des concepteurs. Ainsi, la réflexion autour de la mixité pourrait devenir le chemin privilégié pour penser la construction le plus rationnellement et le plus durablement possible, en recherchant un équilibre entre économie de moyens (mettre le bon matériau au bon endroit) et pertinence des résultats globaux. Il devient dès lors nécessaire d'analyser les choix constructifs et environnementaux des projets dans le but de renouveler les vieilles recettes typologiques.

DES SYSTÈMES CONSTRUCTIFS AUX AMBIANCES ARCHITECTURALES

L'usage du bon matériau au bon endroit pourrait-il réduire le nombre de matériaux utilisés pour construire... Observée, sous l'angle architectural, la mixité constructive peut-elle amener vers la vérité constructive ?

Une certaine éthique de l'architecture pense la construction en tant que squelette et enveloppe. Les éléments constitutifs de la structure (A) sont alors repérables, visibles, et signifiants et diffèrent de ceux de l'enveloppe (B).

Les éléments structuraux, poteaux, poutres, éléments de contreventements

peuvent appartenir à un système et les enveloppes, à un autre. Ici on peut dire que A comme B peuvent être : béton, bois ou métal. En effet, on peut avoir une enveloppe en béton préfabriqué sur une structure métal ou bois. Et inversement : des murs manteaux en bois sur un système en poteau-poutre béton. La mixité est ici évidente, et les choix relèvent des priorités et besoins de l'ouvrage.

Au-delà, les solutions constructives mixtes peuvent présenter un réel intérêt architectural, pour qualifier l'espace. D'un point de vue « résonnance », « évocations », les matériaux offrent chacun une influence sur le ressenti des êtres humains. Les matières ont ainsi un impact important et positif et évoquent la noblesse de la maîtrise de la matière. Des ressentis, des impacts, des caractéristiques dont l'architecture peut s'approprier pour composer une palette qui s'exprime avec le champ de la mixité. Ce qui importe c'est à la fois la mise en œuvre, la mise en lumière, le grain, l'ornementation ou au contraire la brutalité de la matière. Jouer sur plusieurs registres peut s'avérer d'une grande richesse sensorielle. Certaines matières sont belles même - surtout - brutes, et peuvent être traitées sans peinture. Le bois scié fin, raboté, poncé, suivant les essences choisies ; le béton poli, brut de décoffrage ou jouant sur les matrices de coffrage... sont de ceux-là.

Les différents matériaux évoquent des concepts forts comme inertie ou légèreté, coulé ou as-semblé, structurant ou remplissage... C'est donc en jouant de ces qualités que l'expression architecturale crée un langage.

Quelques exemples des mixités les plus courantes

- Structure bois stable + béton rapporté en dalle
- Structure bois stable + cage béton
- Structure poteau béton + poutres bois / métal
- Structure bois stable + béton bois connecté en planchers
- Structure béton stable + dalles bois
- Structure béton stable + enveloppe légère en rideau
- Structure béton stable + enveloppe légère pour support de balcons



Stade Allianz Riviera, Nice / Bois + Métal + Béton
Architectes : Wilmotte & associés – Photo : Vinci ©Serge Demailly



La manière de construire à chaque époque a été fortement liée à l'équilibre des métiers du bâtiment, à la production industrielle des matériaux de construction et des composants, au marketing, à l'évolution des normes. En voici deux exemples.

CRÉATION D'UN GENRE À PART : L'HABITAT INDIVIDUEL, UNE MIXITÉ RELATIVE

La construction en grand nombre sur tout le territoire de maisons individuelles s'est organisée autour de la diffusion de l'aggloméré de béton (parfois de briques monomur) et de la fermette industrielle bois.

En permettant néanmoins le choix du style de la maison au goût du client, (mais sans contextualisation), la majorité des maisons individuelles repose sur des systèmes constructifs mixtes Béton pour l'ancrage au sol, agglos de béton ou briques selon les régions et charpente classique ou fermettes selon ses moyens. Les dalles intermédiaires sont au choix en poutrelles hourdis, béton ou bois. Cependant, tout est plaqué, et peint, revêtu. En quelque sorte, les matières nobles disparaissent.

CONSTRUCTIONS COMMERCIALES : UNE MIXITÉ PROGRESSIVE

Dans le secteur des constructions commerciales, le marché s'est organisé sur des solutions constructives en acier, réalisées avec des produits industrialisés à la fois de charpente, de couverture et de façade. Dans les zones d'activités, l'acier remporte largement la bataille pendant des décennies (structure en portiques poteaux et poutres, enveloppes en acier nervuré, plateaux, couvertures ondulées ou bacs support d'étanchéité). L'apparente économie constructive du système est contrebalancée par une médiocre qualité de confort thermique, un inévitable échauffement estival, une isolation thermique plutôt faible et une étanchéité à l'air, qui n'était pas la priorité avant la RT 2012. Accessibles en voiture et nécessitant des échangeurs et des parkings immenses... ces constructions sont des gouffres énergétiques, souvent exploités portes ouvertes dans les galeries marchandes.

Pour autant, certains de ces bâtiments commerciaux ont franchi le pas de la mixité, qui plus est avec le bois. Mettant à profit les performances du bois lamellé collé, notamment en stabilité au feu. Des réponses pertinentes se sont alors développées autour de la mixité bois/acier. Ainsi la mixité s'installe dans ces secteurs pour des raisons objectivables, notamment sur un point de vue assurantiel.

Quels types de mixité

DES SENSIBILITÉS À LA MIXITÉ

La notion de « mixité » est sous-tendue par plusieurs approches, plusieurs cultures du bâti, qui co-existent et permettent à tous de s'approprier une approche de la mixité. Selon les habitudes du concepteur, sa familiarité avec l'ensemble des systèmes et matériaux, son aisance avec la structure dite « légère » ou la structure dite « lourde », la mixité pourra être appréhendée du lourd vers le léger ou du léger vers le lourd.

Depuis le lourd

Le plus souvent, l'intégralité de la stabilité du bâtiment est assurée par une structure béton. Partant de ce postulat, la mixité par juxtaposition peut se traduire avec une structure légère qui vient prendre appui sur cette structure initiale. Cela peut se traduire par une cage d'ascenseur, une cage d'escalier, qui aura l'avantage de créer un point d'accroche relié aux fondations sur lequel les efforts sismiques et de contreventement seront reportés depuis les structures légères qui s'y appuient. Cette approche est également en œuvre lorsque l'on emboîte une structure béton (dalles, refends, poteaux) d'une enveloppe légère, qui apporte

un avantage thermique (meilleure performance avec une épaisseur moindre pour un gain de surface intérieure).

Depuis le léger

A contrario, on peut créer une structure légère qui assure sa propre stabilité et l'accompagner de parties d'ouvrage apportant une masse nécessaire, afin d'améliorer des points techniques spécifiques (acoustique, résolution de phénomène de soulèvement au vent ou pour des immeubles de grande hauteur, réalisation de coupe-feu entre plateaux, par exemple CF1hou 2h difficile et couteux à réaliser en léger, entre commerces et logements, ou résolution de résistance d'un socle aux chocs). Avec cette approche, l'ouvrage est d'abord pensé en structure légère, bois ou acier ou les deux. Le « lourd » vient alors enrichir l'ensemble et apporter ses performances là où elles sont indispensables.

LES TYPOLOGIES DE LA MIXITÉ

En fonction de la manière d'appréhender le projet en mixité, différentes typologies se distinguent :

- **LA JUXTAPOSITION** ou addition d'éléments côte à côte qui chacun ont des fonctions indépendantes, leurs liaisons demeurent ponctuelles. Ce type de mixité peut être en œuvre en neuf (une structure principale, des fonctions secondaires) comme en rénovation (où on viendra très facilement améliorer un bâtiment en ajoutant une façade légère ou en surélevant avec un système bois, par exemple)

- **LA COMBINAISON**

OU HYBRIDATION, où la mixité repose sur un partage des fonctions ; la structure est alors envisagée comme un tout et les éléments structuraux sont intimement associés pour travailler ensemble. Les contraintes de résistance, déformation, fiabilité (pour ce qu'il s'agit de la réponse structurale) sont envisagées comme un ensemble et la réponse en mixité peut alors apporter une réponse plus efficace, plus nourrie, qu'un matériau unique leader.

- **LE COMPOSITE.** Ici, l'intime mélange des structures est lié aux composants eux-mêmes qui fusionnent pour offrir de nouvelles réponses. Nous parlons ici de nouvelles matières ; d'une mixité fusionnelle, où l'acier, le bois, le béton et d'autres s'interpénètrent pour accroître leurs potentiels. Ils s'entraident l'un et l'autre pour fonctionner comme un nouvel ensemble plus performant. Nous arrivons ici dans le domaine, par exemple, du plancher collaborant, de la sous-tension, où les matériaux agissent, comme dans un corps : comme nerfs et muscles.

FOCUS

Apports de la mixité à la construction bois

- Les noyaux béton armé permettent le contreventement et assurent le coupe-feu nécessaire aux évacuations cages escalier et ascenseur
- Les planchers connectés bois/béton permettent la réduction des portées de bois et donc l'allègement des sections pour une structure plus fine, d'autant plus si le métal est utilisé en sous-tension pour le contreventement
- La mixité bois/ béton ou bois/ terre permet d'apporter une solution pertinente à la recherche de masse pour répondre, par exemple, aux sollicitations du vent ou aux exigences thermiques (inertie). Cette recherche d'inertie peut également passer par un apport de terre (remplissage des cloisons). Cette alliance apporte également des réponses aux problématiques acoustiques : pour réduire les effets de basse fréquence dans les structures bois, des épaisseurs de béton ou de sable apportent une solution intéressante.
- La mixité permet une adaptation plus fine à la configuration du terrain. Ainsi, sur un terrain fragile, que nous imaginerons ici en pente, la structure bois présente l'intérêt majeur de sa légèreté... qui doit cependant être ancrée sur une infrastructure enterrée, en béton.
- Le cas particulier des ambiances humides et agressives. Dans ce contexte d'agressions chimiques ou physiques (prenons ici l'exemple des piscines), la structure bois est notablement adaptée, car particulièrement résistante (dans ses capacités structurales, notamment) au contact avec ces agressions. Cette durabilité avérée sera combinée avec les performances de l'acier inoxydable, pour les parties de structures visibles ; l'invisible sera assuré par le béton.



Bureaux de la société de construction Pomerleau au Québec / Bois + Métal + Béton
Architectes et design : LEMAY - Photo : Studio J Robert



Green Office® ENJOY : Immeuble tertiaire, Paris / Bois + Béton
Architectes : BAUMSCHLAGER EBERLE et SCAPE - Photo : Luc Boegly

Approche par l'expé- rience: métal, béton, bois

Naturellement, les possibilités architecturales de la mixité constructive sont très étendues. La question demeurant est : comment l'architecture utilise ce potentiel, et comment le mettre en valeur ?

Les matériaux peuvent alternativement -qu'ils soient lourds ou légers- s'utiliser en masse, plaques, en poteaux, en poutres, en nervures, en filtres... Leur aspect peut être support d'infinies variations brutes ou poncées, lisses ou rugueuses, pour accrocher ou refléter la lumière naturelle.

En regard de la construction bois, la construction métallique apporte une perspective qui vient enrichir le propos. Les systèmes de construction métallique sont en effet des systèmes entièrement intégrés et étudiés par des industriels pour permettre une construction rapide et économique sur une architecture assez codifiée (boîtes industrielles, toiture sèche ou toiture étanchée), permutant des systèmes de façades pleines ou vitrées, des murs rideaux ou des baies en longueur. Les détails sont étudiés dans les catalogues, angles, bavettes, ondulations ou cassettes, le vocabulaire de façades non porteuses a été amendé de nouveaux produits au fur et à mesure des expressions architecturales

élaborées sur des bâtiments de prestige, sièges sociaux, unités de recherche, laboratoires, hangars d'aviation. Un marché colossal a ainsi permis une utilisation massive et répétitive des systèmes, qui ont évolué en termes esthétiques, mais aussi dans leurs performances thermiques pour s'adapter aux exigences nouvelles des réglementations thermiques. La mixité dans ces systèmes a été mise à profit, par exemple avec le béton coulé dans les structures métalliques comme des bacs collaborants, afin d'améliorer les performances des planchers en termes de coupe-feu et d'isolation acoustique.

Des architectes, rompus à l'écriture d'articulation donnée par le langage des structures métalliques, ont cherché à réchauffer et contraster l'écriture architecturale en la mariant avec des composants bois. Il en ressort une expression constructive, jouant avec des matières nobles où s'exprime la simplicité des matériaux à l'écriture soignée.

Retenons les belles leçons de ces précurseurs, qui ont su marier les matériaux et les systèmes pour inventer une nouvelle écriture architecturale. Mais au-delà, une piste passionnante réside du côté de la dialectique du lourd et du léger, en utilisant les propriétés des matériaux pour s'amuser des contrastes tout en redonnant sa place à la structure, rendant la construction compréhensible. Et ce faisant, en allant sur le terrain de la lisibilité, de la compréhension, le concepteur donne du sens à l'objet.

Révéler des parties du bâtiment par la construction peut ainsi redonner du sens et créer une identité, un rythme,

une expression unique et créatrice. Les éléments de jonction sont alors les détails révélateurs de la maîtrise des concepteurs. Et la mixité de permettre de relier structure et ouvrage, sens et fonction, esthétique et rationalisation.

Après ces quelques pages d'analyse du sens de la mixité, de ses racines et de ses expressions, vous aurez eu un premier aperçu du potentiel incroyable que recèle ce concept.

Les pages qui suivent proposent une immersion. Dix expériences sont étudiées. Dix projets aux typologies variées, qui chacune interprète différemment la mixité. Les acteurs de ces projets - architectes, maîtres d'ouvrage, bureaux d'études, entreprises...- nous racontent leur expérience. Pourquoi et comment la mixité. À travers ces projets, aujourd'hui réalisés, vous allez découvrir les raisons de leur choix et les manières dont ce choix s'est exprimé.



Bureaux de la société de construction Pomerleau au Québec / Bois + Métal + Béton
Architectes et design : LEMAY - Photo : Studio J Robert



ÉxPe- riencEs de la MixiTé

Véronique Klimine, Architecte/ R2K, Frank Kupferlé, Ingénieur/ C4Ci,
Claire Leloy, Développement/ Union des Industriels et Constructeurs Bois
et par Victor Miget et Delphine Renardet, journalistes



Aqualagon – Photos Dider Boy de la Tour

- . Résilles en bois lamellé
- . Encastresments par pièces métalliques
- . Poutres treillis
- . Socle et poteaux béton

Maître d'ouvrage : Village Nature Paris
Maîtrise d'œuvre : Jacques Ferrier
Architecture

Architecte : Jacques Ferrier

BET structure et enveloppe : C&E Ingénierie
(avec Henry Bardsley Conseil et Wolfgang Winter)

Paysagiste : Interscène

BET HQE : Transsolar

BET Fluides : Inex

Acousticien : Peutz

Economiste : Artelia

Livraison : 2017

Surface couverte : 9 000 m²

Pôle culturel et sportif : Aqualagon, bâtiment de loisir et prouesse technique

Derrière cette pyramide déstructurée se cache le plus grand parc aquatique d'Europe. Imaginé par l'architecte Jacques Ferrier, ce projet très complexe en structure bois/métal est une véritable prouesse technique.

Situé à Bailly-Romainvilliers en Seine-et-Marne, à une trentaine de kilomètres de la capitale, ce nouveau centre de loisirs de Pierre & Vacances-Center Parcs et d'Euro Disney est implanté dans un village de vacances de 175 hectares avec lac artificiel, ferme pédagogique, restaurants et 868 logements. Le projet Aqualagon est constitué d'une structure pyramidale de 110x80m et de 27 m de haut appelée « Pavillon de l'Eau », d'un « Pavillon de l'Air » avec une tour haute de 17 mètres et un lagon extérieur comprenant une zone de baignade de 2500 m².

En réponse à l'appel d'offre, l'agence Jacques Ferrier a proposé un édifice doté d'une toiture accessible en faisant un toit qui soit un jardin. L'idée a tout de suite séduit la maîtrise d'ouvrage qui a imposé une structure en bois. La complexité du projet réside dans la forme du bâtiment inspiré des ziggourats, temples babyloniens en forme de pyramide à étages de volume plein. « Contrairement aux ziggourats, nous sommes ici sur un volume creux, explique Jean-Marc Weill, architecte-ingénieur et directeur associé chez C&E Construction & Environnement. Nous avons dû trouver une solution pour intégrer un système de structure qui ne dénature pas la forme alors que la forme n'avait rien à voir avec sa résistance ». Cette problématique a conduit à la mixité des matériaux avec une forte dominante de bois.

L'édifice se présente comme une grande pyramide en verre servant également sur sa face extérieure de promenade en spirale de 380 m de long jusqu'à son sommet formé d'un dôme de verre. La charpente est posée sur un socle en béton fondé sur pieux abritant les vestiaires, les locaux techniques ainsi que les bureaux et qui assure une partie du contreventement de l'édifice. La charpente constituant l'ossature secondaire du dispositif est constituée de 52 poutres brisées en bois lamellé ayant la forme de boomerangs et qui supportent la rampe d'accès au belvédère. Ces poutres peuvent avoir jusqu'à 30 mètres de portée et leur section varie selon la géométrie de la rampe paysagée. Elles sont portées par des poutres treillis en

La mixité (...) s'est imposée en phase d'études pour répondre à plusieurs problématiques du projet : sa forme complexe, sa toiture accessible et l'environnement à très forte hygrométrie.

Jean-Marc Weill, architecte-ingénieur, directeur associé C&E Construction & Environnement

bois&acier tangentes à la surface et qui se confondent avec le mur rideau et ses raidisseurs bois.

Ces poutres treillis sont composées de membrures en bois lamellé et de triangulations en acier avec des montants en acier ou en bois. Elles s'appuient également sur 48 poteaux inclinés de 2 à 4 % en béton haute performance de forme ovoïde semblant être placés de manière aléatoire dont la hauteur varie de 6 à 18 m. C'est la position de « tangente à la surface » des poutres primaires qui permet un positionnement des poteaux plus libre. Une rotule métallique a permis de les poser inclinés chacune à un angle différent. La résille centrale en bois&acier est l'élément central de la pyramide sur laquelle s'appuie l'ossature secondaire en boomerang. Elle s'élève jusqu'au dôme de verre à structure métallique de 250 m² et abrite un escalier desservant les toboggans géants. Elle est formée de 632 poteaux ronds de 150 et 200 mm de diamètre et de 1 à 2,80 m de long fixés par des ferrures à 15 cerces métalliques horizontales.

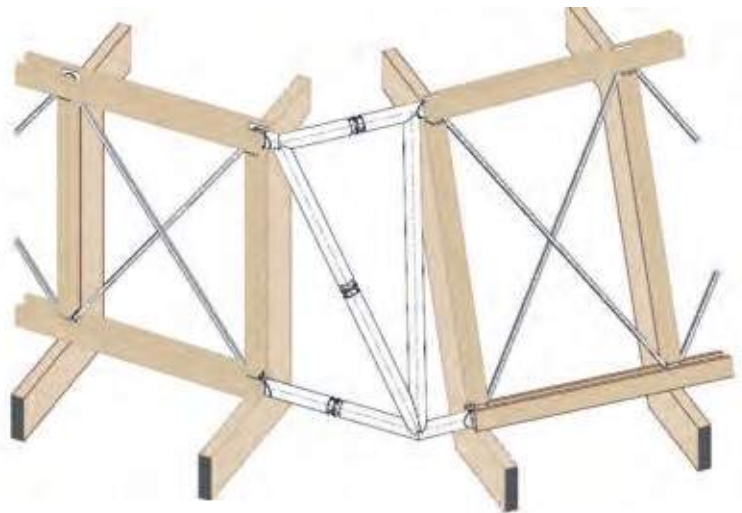
La toiture du pavillon de l'eau est quant à elle réalisée avec 5 500 m² de panneaux CLT de 20 cm d'épaisseur formant le cheminement piétonnier jusqu'au sommet et pouvant supporter jusqu'à 400 visiteurs. Au sud de la pyramide, le pavillon de l'air est coiffé d'une tour en résille de 61 aiguilles de pin cintrés, dont la plus longue atteint les 11m, et qui ont nécessité des moules de collage spécifiques.

À RETENIR

- Une structure en bois présente une excellente résistance aux ambiances agressives, et est particulièrement adaptée à un projet de piscine.

À SAVOIR

- L'étanchéité sur panneaux CLT des circulations est une étanchéité sous terrasse accessible et relève de l'Avis Technique ou d'une ATEX.









Archi

Marcher sur une bulle

Le projet part de l'idée de marcher sur une structure qui, habituellement, ne fait que couvrir des éléments de bassin, pour créer une promenade publique, vecteur d'expérience pour les clients du Center Parc. Les matériaux choisis : béton pour bassins, et socle et poteaux fuselés (de 6 à 18 m de haut) ; bois lamellé collé pour les poutres, acier pour les connexions et contreventements travaillent étroitement ensemble. Le bois répond aux efforts avec des poutres massives mais aussi en treillis aériens sous forme de diabolos. La lumière naturelle est très abondante avec une verrière sommitale ainsi qu'une façade de verre qui s'enroule autour de la promenade. Les connecteurs ont été travaillés pour que les épaisseurs de poutres et les sections des poteaux béton soient harmonisées, accordant une certaine fluidité visuelle entre les matériaux. Notons que le bois est utilisé dans des usages de second œuvre comme poutres secondaires, murs rideau, platelage extérieur.

Paroles

« La mixité n'est pas un choix initial mais c'est une solution structurale qui s'est imposée en phase d'études pour répondre à plusieurs problématiques : sa forme complexe, sa toiture accessible et l'environnement à très forte hygrométrie. Les poteaux sont en Béton Haute Performance car ils sont soumis à la projection d'eau. Pour la charpente bois, au fur et à mesure de l'avancement du projet et de sa complexité intrinsèque, il a semblé évident de mélanger les deux matériaux bois et métal. Après des tests de performance, la mixité acier/bois s'est avérée plus souple et propice à s'adapter à cette géométrie à la complexité inhabituelle. »

Jean-Marc Weill, architecte-ingénieur,
directeur associé C&E Construction & Environnement

Technique

Assemblages

Le challenge de l'Aqualagon : réaliser des arcs avec plusieurs portions horizontales, en ambiance de piscine. La réponse : des arcs brisés en bois lamellé avec assemblages rigides en rotation (encastrement) qui peuvent être assemblés les uns aux autres sur chantier, de manière fiable. La technologie des goujons collés est ici utilisée pour assembler directement - et de manière invisible - les barres de bois lamellé entre elles. Une mixité bois/ métal où les pièces de bois sont connectées entre elles par interposition de pièces d'angle métalliques. Cette technologie permet aussi une préfabrication poussée, le pré-positionnement des organes d'assemblage, sécurisant ainsi l'assemblage sur site des arcs.

À savoir

La mise en oeuvre sur support bois d'une étanchéité de toiture accessible dans un environnement à très forte hygrométrie n'est pas couverte par l'environnement normatif des DTUs (qui limitent ce type de toiture à des locaux à faible ou moyenne hygrométrie). Les simulations dynamiques de transfert hygrothermiques réalisées par le CSTB ont permis d'écarter le risque de condensation et de développement fongique dans le bois. Cette étude a permis d'obtenir l'aval du contrôleur technique et ainsi l'assurabilité de l'ouvrage.





Auditorium Alby – Photos : Sandrine Rivière et Jussy Tiainen



- . Soubassement béton
- . Superstructure bois (ossature et charpente treillis)
- . Poteaux (+ quelques porteurs horizontaux) métal

Culture et Sport : trois systèmes mixtes pour trois volumes

À Alby en Haute-Savoie, le centre culturel et sportif se compose de trois bâtiments, qui pour répondre au génie du lieu (au bord d'un panorama exceptionnel) mettent en scène par le soulèvement d'une école de musique, le paysage alpin. La mixité est au cœur des intentions architecturales. Ainsi, deux bâtiments plus massifs (en bois ondulé) sont étagés en escalier pour former une cour intime. Encastrés de 3 m dans le terrain en pente (créé par un socle béton) ils cadrent une placette qui devient hall ouvert au panorama surmonté d'une boîte vitrée (sur des poteaux et consoles en métal).

Sur les hauteurs du bourg d'Alby en Savoie, la communauté de communes du pays d'Alby décide d'accompagner le collège d'un ensemble culturel et sportif. Le bâtiment se divise en trois volumes : un premier accueillant auditorium, salles de répétition et logements, un second abritant un gymnase semi-enterré et un troisième, semblant prendre appui sur les deux autres destiné à une école de musique. Trois volumes reliés entre eux par un hall d'accueil sous cette même école.

Les façades, composées de bois et de verre, donnent la réplique à la nature environnante. « **Nous souhaitons que le bâtiment réponde aux Alpes, qu'il efface les frontières entre intérieur et extérieur. Avec des dispositifs de patio, de verrières, de gradins, la lumière naturelle rebondit sur le bois et apporte un sentiment de sérénité. L'architecture répond au génie du lieu et éveille les sens, la tonicité des couleurs fait écho à celle des champs, le béton poli et le bois poncé répondent à la nature qui entre visuellement largement dans les espaces. Le choix des systèmes constructifs et leur mixité ont servi les ambitions structurales, environnementales ou encore de durabilité** », détaille Véronique Klimine, architecte en charge du projet.

**Nous souhaitons
que le bâtiment réponde
aux Alpes, qu'il efface
les frontières entre
intérieur et extérieur.**

Véronique Klimine, architecte, agence R2K

Cependant, l'option n'était pas le tout bois. Pour optimiser la construction, l'équipe de conception a choisi des systèmes constructifs mixtes : bois, béton et acier sont à chaque fois mis en œuvre là où ils s'avèrent les plus performants. Ils sont aussi révélés en tant que matières nobles : le béton est brut ou poli avec des agrégats de verre coloré, le bois ondulé, scié ou en panneaux, l'acier imprimé ou laqué dans une palette de couleurs pop.

Maitre d'ouvrage : Syndicat Intercommunal
du Pays d'Alby
Architecte : R2K
Livraison : 2017
Surface : 4 398 m²
Coût des travaux : 10 M € HT
BET Structure : Arborescence

Le béton, constitue toutes les parties de soutènement dans le terrain, tandis que le bois forme la structure émergée et les enveloppes isolées de paille des pôles sportifs et culturels. Quant à la structure primaire de l'école de musique - surplombant les deux autres volumes, elle est préférentiellement en acier pour les porteurs principaux, et bois pour les solives.

Les trois espaces, autonomes d'un point de vue structural, sont séparés par des joints de dilatation. « Chaque partie a un comportement spécifique en raison de typologies différentes. Sur le gymnase, le contreventement est réalisé par les murs ; sur l'école de musique, chaque portique métallique est autostable, et transversalement des contreventements assurent la stabilité ; sur la partie pôle culturel, le renforcement est réalisé par quelques murs béton qui apportent masse acoustique et coupe feu à moindre frais », détaille Sandrine Besson, du bureau d'études Arborescence.

La mixité métal et bois de l'école de musique optimise l'emprise de la structure et la diffusion de la lumière. « L'acier assure la compacité et permet le contreventement des structures dans le hall ouvert au paysage », souligne Véronique Klimine. Nécessitant des sections moins importantes, il diminue l'emprise des porteurs verticaux. Chacune des trois files porteuses en métal repose sur trois ou cinq poteaux. Le plancher bois béton franchit les 10 mètres de portée entre chaque file et apporte de l'inertie. Dans l'auditorium « le challenge était de réaliser des salles musicales contiguës dans un bâtiment léger et de limiter dans le hall l'impact sonore en ajoutant de la masse », précise Sandrine Besson.

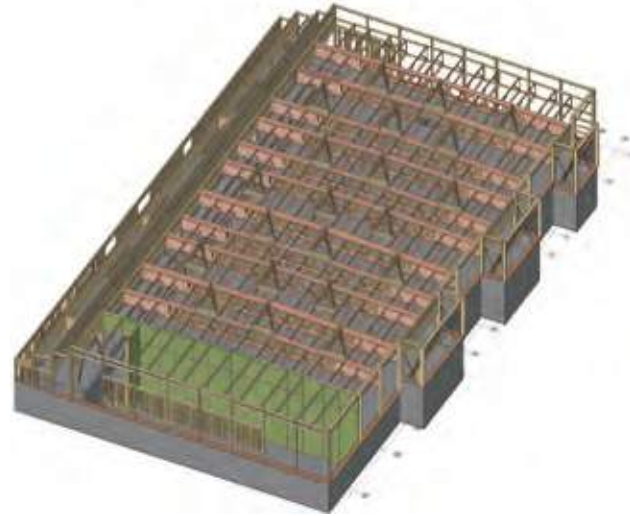
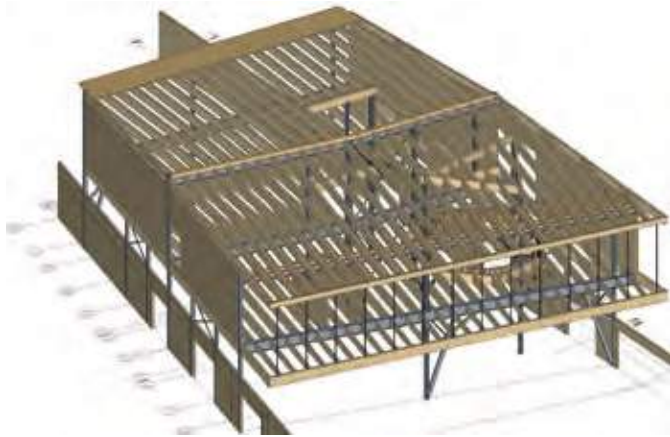
Dans le gymnase, le bois est omniprésent. Autant pour des raisons esthétiques que structurales. Des poutres en L de 1,80m de hauteur franchissent les 27m de portée et libèrent alors la surface au sol nécessaire pour ce type d'équipement. Dans un souci d'économie de matière et pour des questions esthétiques, les poutres ont été évidées.

Des petites verrières mettent en lumière la nappe des structures. Celle-ci repose sur deux portiques déportés. « Le lamellé collé autorise ici des sections de bois élancées et procure de la finesse, tout en franchissant les portées. Tandis que le socle en béton enterré sur les trois-quarts du bâtiment répond aux problématiques de solidité et d'étanchéité », précise Sandrine Besson. Les gradins, également en béton, permettent de réduire les nuisances sonores liées au piétinement du public.

Sur le pôle culturel, le béton forme une partie de la structure émergée et stabilise la zone des salles de répétition. Ce voile de 30 cm d'épaisseur sépare les salles de l'auditorium, répondant ainsi aux exigences acoustiques, et apportent en même temps de l'inertie. Le bois s'invite quant à lui dans tous les logements, y compris dans leur structure, laissée ici apparente. Car, outre ses performantes techniques ou structurales, c'est là, l'une de ses qualités principales : sa dimension esthétique et chaleureuse.







Archi

Dans ce projet la matérialité recherche l'expressivité et la sensorialité. On passe du matériau de construction au matériau de revêtement et vice versa. La dalle de béton est à la fois, structurale, mais émaillée d'éclats de verre de couleur puis poncée, elle devient sol éclatant de couleur, lors des représentations, éclairée le soir. Elle est aussi dalle confortable, puisqu' elle émet une chaleur basse température en inertie. Le bois, structure les grandes portées du gymnase et se fait pli de lumière, se pare de panneaux poncés ou de bardage ondulé. Il forme les poteaux verticaux qui deviennent brises soleil dans un rythme aléatoire pour porter le mur rideau. Le métal capable d'élever les marches de bois massives de l'escalier monumental, peut, de par sa résistance, contreventer et supporter l'école de musique, il se pare aussi en plafond de motifs décoratifs et de microperforations en intégrant la douce chaleur des cassettes. Avec ces trois matériaux, le projet est construit et invente une palette d'usages, sans recours à des produits standards.

Technique

Comment le béton peut aider la structure bois ?

- En apportant sa masse pour l'isolement acoustique de certains voiles ou planchers
- En combinant sa rigidité et sa performance au feu dans le cas d'un plancher mixte bois/béton
- En apportant des points d'appui rigides pour faire face aux sollicitations sismiques (ici en zone de sismicité 4)

À RETENIR

- Bien valider en amont le coefficient de comportement d'une structure mixte en zone sismique.





Collège de la rose blanche – Photos : Jean-Pierre Porcher



- . Dalle béton
- . Poteaux bois
- . Planchers mixtes bois-béton

Collège de la Rose Blanche : socle béton pour structure mixte bois-béton

La structure mixte bois-béton du collège de la Rose Blanche limite les surcharges sur le socle de béton de l'établissement. Si ce choix a son importance, d'autres arguments ont conduit à retenir cette solution technique: l'aspect environnemental, la rapidité d'exécution, l'esthétique et le confort des occupants

Le nouveau collège de la Rose Blanche, situé dans la ZAC Clichy-Batignolles, s'habille d'une façade revêtue de cassettes d'aluminium. Ses nuances de gris font écho à l'univers ferroviaire alentour, marqué par les voies ferrées et la gare Saint-Lazare à proximité. Mais à l'intérieur, c'est une autre histoire, puisqu'ici, béton et bois font la loi.

Optimisation d'espace oblige, le gymnase du collège s'insère directement sous celui-ci. Ce choix a induit des modes constructifs spécifiques et différenciés. «*Nous avons deux principes structurels qui se superposent : le socle en béton armé, abritant le complexe sportif, une salle polyvalente et la cafétéria, porte la superstructure du collège (R+3) qui, elle, est réalisée avec un système mixte bois-béton*», détaille Eric Puzenat, architecte associé d'Ateliers 2/3/4/, agence en charge du projet.

Sur ce chantier, les choix constructifs ont aussi découlé des contraintes liées aux usages et aux spécificités des équipements. Compte tenu des grandes portées à franchir – 15 mètres pour la salle polyvalente et 25 mètres pour le centre sportif – le poids du collège à supporter, le béton armé s'est imposé pour le sous-sol et le rez-de-chaussée (poutres de 2 m de hauteur pour 25 m de long).

Il s'agissait dès lors pour le collège de limiter les surcharges. C'est pourquoi la structure repose essentiellement sur un système poteaux-poutres en bois lamellé (épicéa). Le tout est habillé, côté voies ferrées, de voiles pleins en béton de 20 cm d'épaisseur, car nécessitant de la masse pour des raisons acoustiques évidentes ; et, côté cour, d'un mur rideau à ossature bois. Les éléments verticaux, que sont la cage d'escaliers et d'ascenseurs, sont également en béton et viennent compléter la structure bois en assurant le contreventement.

À l'intérieur, le plancher franchit des portées relativement importantes définies sur une trame variant de 7,50 à 8 mètres en fonction des salles de classes.

Le choix constructif mixte bois béton est ici motivé par des questions structurales, (...), mais aussi pour des questions environnementales, d'habitabilité des espaces intérieurs, de confort acoustique, de choix esthétiques.

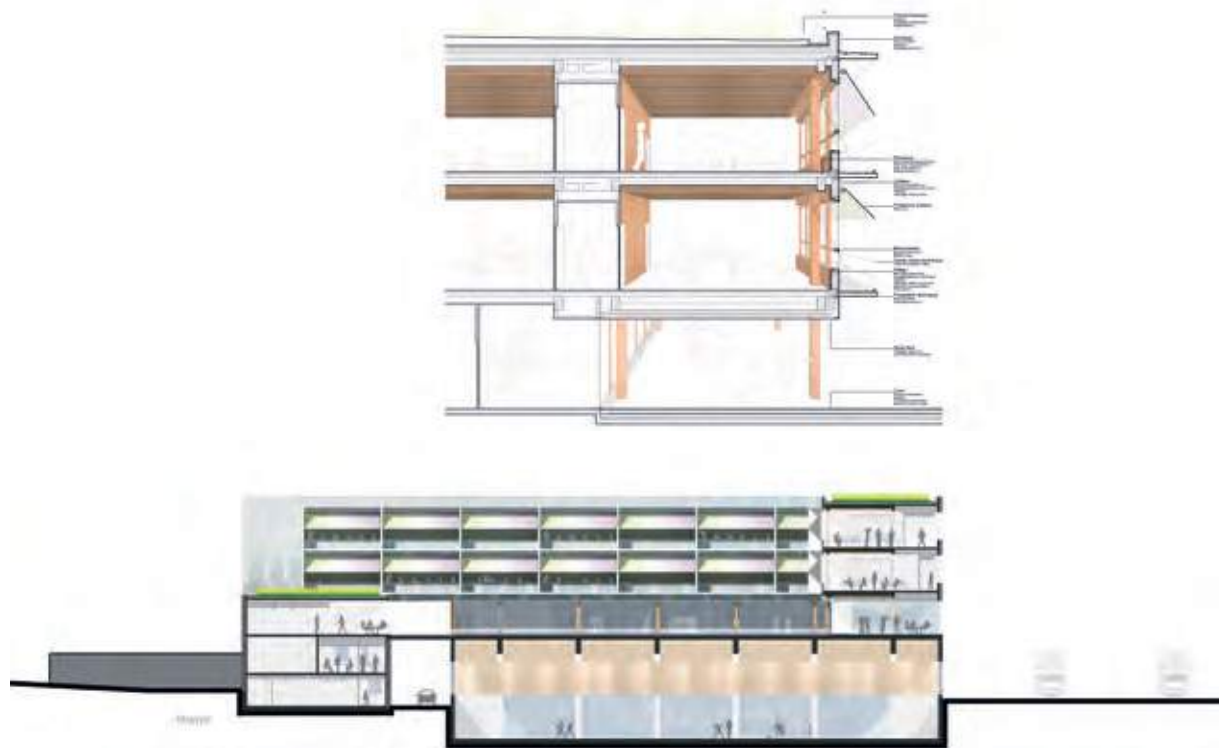
Eric Puzenat, Architecte, Agence 2/3/4/

Maître d'ouvrage : Département de Paris
Architecte : Ateliers 2/3/4/
 Livraison : 2015
 Surface : 7200 m²
 Coût des travaux : 18 M € HT
 BET Structure : SAS Mizrahi

«Il est constitué de planches en bois épicea massif reconstitué (BMR), assemblées en quinconce. Ce qui crée en sous-face un aspect lattes de bois ». Sur ce support a été coulée une dalle de compression en béton de 12 cm d'épaisseur. « Les deux se solidarisent, ce qui permet à la fois de franchir la portée et d'assurer une stabilité au feu (1 h) », explique Eric Puzenat.

Ce plancher participe également à l'atmosphère des lieux. Des feutres insérés dans le creux des lamelles BMR assurent la correction acoustique, rendant les faux-plafonds superflus. Ainsi, les hauteurs sous plafonds des classes sont de 3,50 m et les éléments de bois du planchers ont laissés apparents. Combiné à la structure en bois lamellé, l'ensemble offre un cocon chaleureux propice à l'apprentissage.

Les autres arguments qui ont motivé le recours à la mixité bois-béton étaient d'ordre environnemental. L'objectif étant de limiter, grâce à la préfabrication et au bois, les énergies grises associées au processus de fabrication et de conception.









Archi

On a ici une architecture qui doit intégrer un programme de gymnase, collège et logements de fonctions dans un terrain limité en surface en bordure de voie ferroviaire. Cette contrainte amène les architectes à la superposition et l'imbrication de deux systèmes constructifs allégeant les derniers niveaux qui reposent sur la structure du gymnase. La mixité résoud aussi des problèmes acoustiques (quelques murs de façades restent en béton afin de créer un bouclier acoustique vers la voie ferrée) et de coupe feu isolant l'équipement gymnase et le collège qui ont des entrées indépendantes. La structure bois est également mixte (plancher bois béton). En exprimant une structure apparente de poteaux poutres bois et de nervures de plancher les architectes utilisent l'aspect chaleureux intérieur qui contraste avec les cassettes aluminium claires de façade. Notons que la façade aluminium isolée est apportée en doublage de celle qui est réalisée en ossature bois. Des consoles d'acier fixées sur la façade bois sur cour permettent la création de loggias devant les unités de classe dans lesquelles un grand store s'inscrit.

À RETENIR

- Point d'attention : Les éventuelles continuités de plancher mixte bois-béton, lorsque celui-ci porte sur plus de deux appuis (porte-à-faux ou portées multiples), sont à étudier avec soin au moment de la conception. Il en va de même pour la conception des ancrages du plancher et la continuité des efforts de contreventement.
- Organisation : Le phasage des travaux (notamment du retrait de l'étalement) et la phase chantier des planchers mixtes bois-béton (notamment la protection vis-à-vis des intempéries) doivent être pris en compte dès la conception, y compris dans le scénario de chargement à court et long terme.

Technique

Intérêts de la mixité bois/béton en plancher

La table de compression en béton apporte sa rigidité et sa résistance à la compression. Les nervures (poutres) ou le plancher massif en bois apportent leur résistance à la traction et à la flexion. La connexion des deux éléments apporte l'inertie mécanique qui permet la reprise des charges sur une portée importante. L'hybridation permet de limiter l'épaisseur de la dalle béton aux 6 à 12 cm suffisants pour apporter la performance au feu requise et contribuer efficacement à l'isolement acoustique. Le système mixte permet d'atteindre un niveau de chargement et de portée que chaque élément pris individuellement ne pourrait atteindre.

On distingue les planchers mixtes bois-béton :

- selon la forme de l'élément bois : nervures (poutres) bois (par exemple avec du bois lamellé) ou plancher massif (par exemple CLT) ou plancher massif reconstitué en planches décalées (c'est le cas ici) ;
- selon le type d'assemblage : par organe métalliques vissés, insérés ou collés dans le bois, ou par blocage dans des systèmes d'entaille bois ou métal (divers systèmes existent dans les deux cas).





Bâtiment sportif – Photos : AZC

- . Socle béton semi-enterré
- . Structure métal à deux niveaux
- . Plancher : structure bois lamellé sur treillis métal

Salle omnisport : un ERP sur un ERP

Une conception architecturale contemporaine, un socle en béton, une structure primaire en acier, une coque de bois et de grandes ouvertures caractérisent le nouveau gymnase des Deux-Rives à Neudorf, en banlieue de Strasbourg (67). Une construction où l'adage « le bon matériau au bon endroit » n'a jamais été aussi juste.

De prime abord, la demande du maître d'ouvrage, la ville de Strasbourg, était simple : construire un complexe sportif composé d'une grande salle multisports et une autre dédiée exclusivement à l'escrime. Le tout en privilégiant au maximum une ressource renouvelable, écologique et esthétique : le bois. Le bois était également fortement souhaité du fait de ses bonnes performances mécaniques en compression et en traction et qu'il autorise la préfabrication pour une plus grande rapidité et précision dans l'exécution.

Mais il y avait une autre contrainte dans ce programme : celle d'implanter en R+2 la salle d'escrime, au-dessus de la salle omnisports. Et c'est cette spécificité qui a déterminé les choix conceptuels et structuraux. Pour l'architecte du projet, Grégoire Zündel, du cabinet architecture Atelier Zündel Cristea, cette demande du maître d'ouvrage a impliqué la mise en place d'un dispositif particulier :

« Si la salle d'escrime avait été en-dessous de la salle principale, une simple toiture aurait suffi. Mais, c'est l'inverse qui était attendu. Nous avons donc dû créer un plancher pour la salle d'escrime, lequel vient couvrir la salle omnisports. »

L'architecte explique que la mixité s'est imposée d'elle-même : « Tout ce qui est au-dessus du socle béton – et qui comprend les deux tiers de la partie supérieure de la salle omnisports et l'ensemble de la salle d'escrime – est en construction sèche et préférentiellement en bois ».

Compte tenu des grandes portées (33 x 38 m), utiliser uniquement du bois aurait nécessité d'importantes quantités de matière liées à un surdimensionnement des poutres. Quant au béton, qui sert ici de support à la structure, il aurait été trop lourd. C'est la raison pour laquelle les concepteurs ont préféré ajouter l'acier à cette première mixité bois/béton. Sa finesse et sa légèreté l'ont imposé comme une évidence.

Les contraintes du projet et les attentes de la maîtrise d'ouvrage menaient évidemment à la mixité. Alors nous nous sommes interrogés sur la meilleure utilisation pour le bois. Quels rôles ? Et comment il pouvait collaborer avec l'acier.

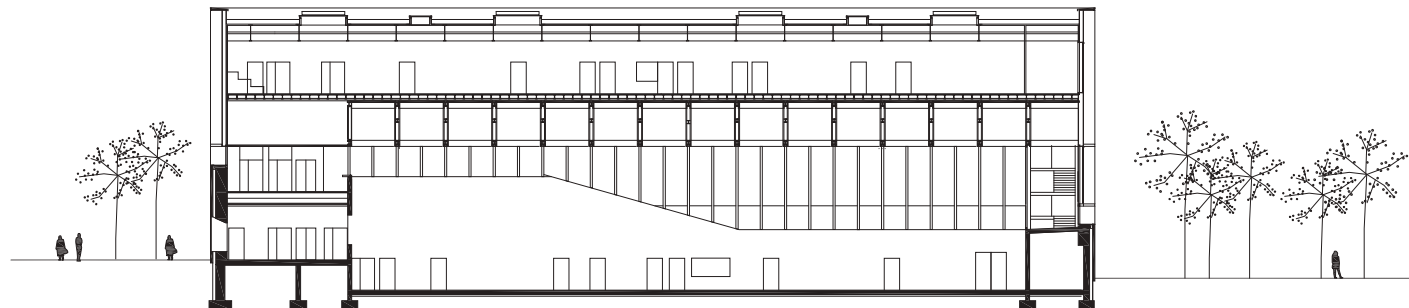
Grégoire Zündel, architecte, Atelier Zündel Cristea

Maître d'ouvrage : Ville de Strasbourg
Architecte : AZC
Livraison : 2008 – 2014
Surface : 4 290 m²
Coût des travaux : 8,5 M € HT
BET structure béton : Hagenmuller
BET structure bois : Sedime

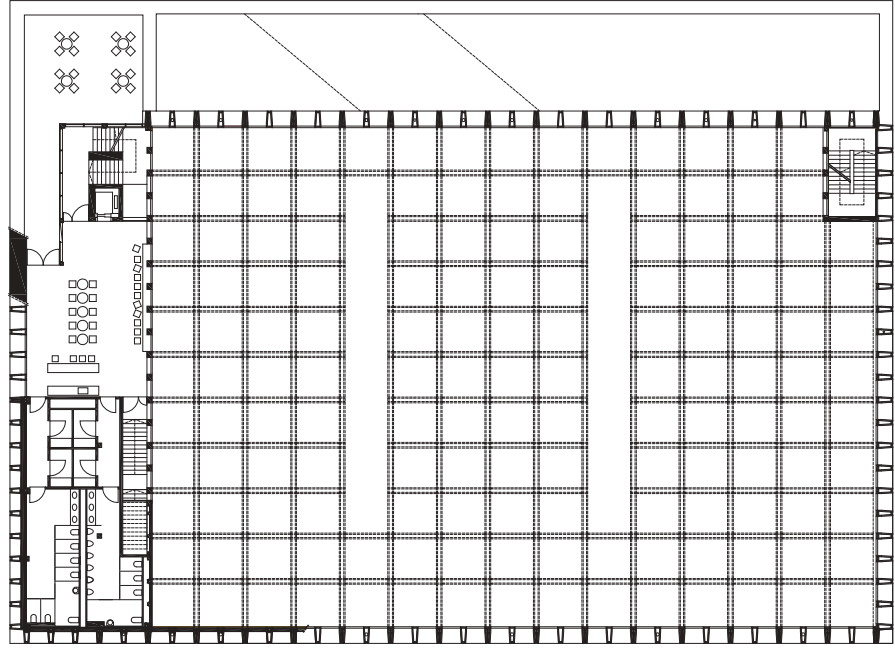
En outre, il permet de franchir les portées de plus de 30 mètres et de soutenir le plancher de la salle d'escrime pouvant recevoir une surcharge de 500 kg/m².

Au plan technique, le plancher R+2 est constitué d'une dalle en bois lamellé et d'un faux-plancher technique mis en place sur la structure métallique. Le bois habille ainsi les poutres en treillis et garantit, en plus d'une continuité esthétique, une résistance au feu d'une heure. La charpente métallique, quant à elle, n'est apparente que dans la salle d'escrime. Sur cet ensemble a été mis en place le revêtement, à savoir un plancher contrecollé.

Au-dessus du socle en béton, les façades en bardage bois sur ossature bois sont portées par une structure en poteaux de bois lamellé (mélèze classe 3) renforcée d'acier. Ils sont installés à des intervalles de 1,6 m, imprimant rythme et épaisseur à l'architecture des façades et favorisant ainsi la transparence. « La structure primaire est en acier ; le bois, lui, est implanté partout où il peut aider. Les poteaux en lamellé viennent ici raidir la façade », détaille Grégoire Zündel. Un poteau sur deux est en acier, recouvert de bois pour assurer la résistance incendie.









Archi

Comment parler bois, alors que l'on construit en béton et acier ? Ce projet est maître dans l'art du retournement de valeur et mobilise le bois dans un rôle qui semble prépondérant.

Pourtant, celui-ci n'a pas le rôle principal constructivement parlant, mais secondaire. La dextérité des architectes se retrouve dans la façon de dessiner la façade, en créant des nervures, qui semblent être des poteaux assez profonds pour être à l'échelle s'ils devaient tenir le volume. En fait, ils masquent les poteaux acier des fermes principales. Leur rythme dédoublé façonne un support aux éléments verriers et crée une façade expressive et rythmée sur la ville. Le bois permet également de protéger les fermes acier et améliore leur résistance au feu. Ici encore une contrainte de terrain (salles de sport superposées) a amené une solution constructive utilisant les atouts de chaque matériau (béton en encastrement au sol, compacité des structures acier, chaleur du bois).

Paroles

« La mixité s'est naturellement imposée à nous. Après avoir envisagé une superstructure majoritairement en bois, les contraintes du projet et les attentes de la maîtrise d'ouvrage menaient évidemment à la mixité. Alors nous nous sommes interrogés sur la meilleure utilisation pour le bois ? Quels rôles il pouvait assumer ? Et comment il pouvait collaborer avec l'acier... »

Grégoire Zündel, architecte,
Atelier Zündel Cristea

Technique

Ce que le bois apporte à l'acier

Le contexte ? La réponse structurale d'origine est une structure métallique. Or, la maîtrise d'ouvrage souhaitait maximiser la présence de bois. Ici, le bois confère à la structure métal une meilleure résistance au feu.

La solution ? L'assemblage bois/métal n'est pas problématique : il est courant en construction bois. L'assemblage métal/béton n'est pas non plus problématique. Ici, la mixité est simplifiée par l'optimisation des associations, permettant l'évitement de toute complexité au niveau des solutions d'interfaces.

À RETENIR

- Point d'attention : Tenir compte, pour les bois en extérieur, du vieillissement naturel qui doit être compris dès l'amont du projet par la maîtrise d'ouvrage.
- Feu : Ici, le plancher intermédiaire est évidemment en bois : il garantit une résistance au feu de 60 mn.





Résidence étudiante Le Lauréat – Photos : Atelier WOA – Nexity



- . Socle béton
- . Noyau béton
- . Planchers, refends et pignons CLT
- . Poteaux métal
- . Poutres bois lamellé
- . Façade rapportée ossature bois

Résidence étudiante Le Lauréat R+6 à Villejuif

L'atelier WOA est un adepte du bois, et il n'a pas fait exception avec la résidence étudiante Studea à Villejuif. Ce bâtiment en R+6 repose sur un système constructif mixte bois, acier et béton. Si chaque matériau participe à l'épure du projet, le bois, prisé pour ses performances environnementales, sa préfabrication, ou encore son évolutivité, est, en revanche, le postulat de base.

Ce programme développé par Nexity reposait sur la construction d'une résidence étudiante ; la volonté du maître d'ouvrage étant d'en faire une référence en construction bois sur cette typologie d'ouvrage. Pour ce faire, la maîtrise d'œuvre a été confiée à l'agence d'architectes Atelier WOA.

« Nous développons des projets en bois car nous sommes convaincus qu'il s'agit de la bonne réponse à la durabilité. Les ressources de la planète sont limitées, le bois est le seul matériau de construction renouvelable à partir du moment où il est issu de forêts convenablement gérées », explique Samuel Poutoux, architecte en charge du chantier. Il assure que, associé à d'autres matériaux, le bois devient plus intelligent.

De son côté, Gregory De Carvalho, bureau d'étude Innovia, explique :

« Nous savons que le métal nous permet de gagner en section, le béton a une résistance mécanique élevée. Le bois est, quant à lui, écologique et bénéficie d'une rapidité de mise en œuvre. Tous sont donc complémentaires. » Ici, tout ou presque a été préfabriqué et deux mois ont suffi à monter la structure. En 14 mois, le bâtiment préexistant a été détruit et la résidence étudiante en R+6 de 15 000 m² construite.

Tandis que le bois et l'acier ont été utilisés pour la structure des étages, le béton forme le socle qui supporte cette structure allégée et accueille les locaux techniques, poubelles etc. Un noyau de circulation en béton correspondant à la cage d'escaliers et d'ascenseur assure le contreventement au cœur du bâtiment. « Les efforts transitent par les planchers CLT et les poutres en bois lamellé raccordés sur le noyau béton », précise Gregory de Carvalho, du bureau d'étude Innovia.

Nous savons que le métal nous permet de gagner en section, le béton présente une résistance mécanique élevée. Le bois est, quant à lui, écologique et bénéficie d'une rapidité de mise en œuvre très intéressante. Tous sont donc complémentaires.

Gregory De Carvalho, bureau d'étude Innovia

Maître d'ouvrage : Nexity Fereal
Mission Innovia : MOEX
Architecte : Atelier WOA
Livraison : 2018
Surface : 4 290 m²
Coût des travaux : 2,4 M € HT

Pour assurer la descente de charges sur les 6 étages, les poteaux 10 x 14 en acier viennent limiter l'emprise au sol. Là où le bois pourrait être trop épais, les petites sections des poteaux s'intègrent directement dans les séparatifs des logements, libérant ainsi de la surface au sol – et donc des mètres carrés. Dans ces chambres d'environ 20 m², un poteau poutre se glisse dans chaque séparatif de logement et un plancher CLT sur chaque trame autorise des portées de 3,30 m.

La façade est non porteuse, à l'exception des deux pignons en CLT qui participent également au contreventement de l'immeuble. Les deux autres façades, donnant sur les chambres côtés rue et jardin, sont en ossature bois : ces « FOB » (façade ossature bois) sont fixées sur la structure principale de l'immeuble. « Economiquement, le choix de l'ossature bois en façade est intéressant, car il est plus économique que le CLT et permet de bonnes performances thermiques », assure Samuel Poutoux. Et d'ajouter : « Cela rend également le bâtiment évolutif. Si dans trente ans, nous souhaitons démonter les façades, c'est possible. Nous avons mis du CLT là où nous avons besoin d'assurer le contreventement. »

Enfin, les assemblages ont fait l'objet d'une attention toute particulière. La descente de charges s'effectue grâce à l'acier, en continu de poteaux à poteaux. En tête de poteaux, une platine vient enserrer la poutre en bois lamellé et se poursuit jusqu'au poteau du dessus. Une conception qui répond à une problématique d'écrasement des fibres. « Nous ne pouvions pas poser l'acier directement sur la poutre, car les fibres du bois auraient été écrasées sous le poids des étages », détaille Samuel Poutoux. Ce qui à terme, aurait entraîné un tassement du bâtiment.







Archi

Ici on peut noter l'efficacité des trames en fonction du programme. En s'adaptant à la taille des chambres, les structures d'acier des poteaux et de bois lamellé collé des poutres disparaissent entièrement dans les séparatifs de 190mm. Sur la coupe transversale du bâtiment, on peut voir que les poteaux sont en retrait par rapport au couloir de distribution cela permet de diminuer la portée et de créer un amincissement de la retombée. Ainsi le passage des fluides gagne un peu d'espace.

À RETENIR

- Feu : Les parties métalliques exposées au feu peuvent nécessiter d'être protégées (traitement intumescent, encapsulage...) afin d'atteindre le même degré de résistance au feu que les éléments bois qu'elles remplacent.

Technique

Ce que le métal offre au bois

Qu'apporte le métal à une structure bois ? Plusieurs atouts à cette association méritent d'être soulevés :

- Il remplace des poutres bois (ou béton) par des poutres de retombée plus faible libérant ainsi les volumes ou réduisant les hauteurs d'étage ;
- Il remplace des poteaux bois (ou béton) par des sections d'encombrement plus faible permettant notamment de les intégrer dans des cloisons et de gagner de la surface utile ;
- C'est aussi un partenaire de prédilection pour tous les assemblages structuraux : l'assemblage métal bois est plus que courant.
- L'acier est un composant aisément compatible pour tout type de structure, notamment triangulée

À SAVOIR

- L'écart important de rigidité et de résistance entre l'acier et le bois doit être pris en compte à leur interface. Ceci est par exemple le cas lorsqu'un poteau métallique, de section plus faible, s'appuie sur une poutre bois, augmentant ainsi la contrainte de compression transversale sur le bois, et pouvant causer un écrasement localisé et un tassement de la structure.





Maison de l'étudiant – Photos : Hervé Abbadie



- . Pieux + dalle béton
- . Noyau béton
- . Poteau-poutre bois lamellé
- . Plancher CLT
- . Façade ossature bois

Maitre d'ouvrage : Région Île-de-France
Suivi d'opération : Icade Promotion
(mandataire)

Architecte : Agence Fabienne Bulle
Architecte et Associés

Livraison : 2017
Surface : 2 682 m²

Coût des travaux : 6,4 M € HT

BET TCE, économie, environnement : SIBAT

Acousticien : Jean-Paul Lamoureux

Maison de l'étudiant, un tertiaire au confort éprouvé

La Maison de l'étudiant implantée au cœur du Campus universitaire de Saint Quentin en Yvelines à Guyancourt est une structure mixte bois/béton/métal. Ce monolithe se distingue par des matériaux volontairement laissés apparents, qui répondent à l'exigence d'un confort visuel et acoustique, et donnent également un sens et un caractère au projet.

À la demande de la maîtrise d'ouvrage, la Maison de l'étudiant devait conjuguer activités collectives (espaces publics et locaux d'accueil pour les étudiants) et activités de bureau (associations, services de santé, échanges internationaux et services administratifs) sur une petite parcelle au PLU restrictif dans les volumes et adossé à un mur sur la face sud-ouest. À la fois bâtiment tertiaire et ERP, le rez-de-chaussée est dédié aux espaces publics tandis que les 2 niveaux supérieurs sont destinés aux bureaux. Deux atriums sous verrière apportent un éclairage naturel à l'intérieur de l'édifice, le premier se déployant sur toute la hauteur de l'ouvrage alors que le second fait office de patio-jardin pour les niveaux supérieurs.

L'emploi du bois a été, dès le concours par l'agence Fabienne Bulle Architecte et Associés, une solution constructive qui a tout de suite séduit la maîtrise d'ouvrage. La solution de mixité bois, béton et métal a été choisie pour exploiter les qualités des matériaux qui assurent chacun un rôle spécifique.

En raison de la nature très hétérogène du terrain, le sol a été renforcé avant de réaliser des fondations par pieux en béton de 15 m de profondeur pour ensuite couler une dalle de répartition en plancher bas du RDC destinée à accueillir la structure en bois lamellé épicea. Un noyau en béton, qui abrite les escaliers et les ascenseurs, fait office de contreventement. Les façades sont des panneaux préfabriqués constitués d'une ossature bois massif épicea, d'un isolant en fibres de bois, de menuiseries en mélèze et d'une vêtue extérieure en aluminium thermolaqué. Pour la structure horizontale, le bois lamellé a été utilisé en solivage pour le plancher du RDC car les performances mécaniques de ce matériau permettent le franchissement des 13 mètres sans point d'appui et portent les façades, les planchers et la toiture sur 2 niveaux. Dans les étages, c'est le CLT qui a été privilégié car les portées entre façades n'atteignent que 7,20 mètres.

L'utilisation des matériaux est induite par les caractéristiques intrinsèques de chacun : le béton pour ses caractéristiques mécaniques, minérales et inertes ; le bois sa résistance mécanique et le confort ; l'acier pour une patine de couleur orange autoprotectrice.

Pascale Poirier, architecte,
agence Fabienne Bulle Architecte et Associés

Les liaisons entre le bois et le béton ont été traitées au moyen de platines et de ferrures en acier en âme de poteau et par sabot en acier pour recevoir les grandes solives et les poutres constituant le plancher. A l'extérieur, la façade réinvente le colombage avec l'emploi rythmé de panneaux thermolaqués et d'épines de mélèze. L'esthétique de la façade est complétée par des « clous de charpentier » qui sont de grands éléments verticaux en acier Corten perforés accrochés à l'acrotère, épais en leur sommet et effilés en leur base. Ils font office de brise-soleil aux étages supérieurs destinés aux activités de bureau et permettent une intégration urbaine intemporelle au sein de l'université construite en briques de terre cuite.









Technique

Interface bois-béton

L'ancrage des poteaux de la structure bois sur l'infrastructure béton est réalisé de manière courante par le biais d'une ferrure de pied de poteau (ici mécano-soudée). La ferrure est fixée au support béton par cheville mécanique (ou à scellement chimique) ou sur des tiges filetées en attente. Le poteau bois est fixé à la ferrure par boulonnage. Ici la

Archi

Ici la construction bois est complétée de béton uniquement en partie horizontale pour des raisons d'inertie et d'acoustique. Le béton en dalle de 10cm flotte au-dessus du plancher de bois. Des chapes chauffantes de 12 cm équipent également les planchers des 2 niveaux. Le plancher sur R+1 est formé de belles nervures formant une nappe de poutres surplombant l'espace noble du RDC. Ces nervures de bois sont resserrées ainsi leur densité forme en sous face une continuité visuelle de bois, alors même qu'un panneau acoustique noir habille la sous face du plancher. Un réseau d'épines de mélèze carroye finement façades intérieures et façades extérieures sur fond blanc. Le volume est percé de deux événements, un patio et un atrium, qui amènent une lumière éclatante au coeur du bâtiment compact. Notons que les châssis en mélèze entrent également dans le rythme vertical. Ils renforcent la cohésion visuelle en entrant dans la gamme de matières et de couleur du projet, blanc et bois, et jouent de la même trame géométrique structurale. Enfin, à l'extérieur l'acier patinable corten, amène son pigment rouge sur des éléments de seconde peau, en ombrageant le bâtiment et créant une profondeur ludique, leurs pointes verticales jouent sur l'épaisseur, la perforation et la découpe donnant un coup de folie au volume.

Paroles

partie métallique est insérée à l'intérieur du poteau bois (plaque métallique en âme) ce qui contribue à la protéger en situation d'incendie et à rendre l'assemblage quasi invisible.

« Pour la Maison de l'étudiant, l'utilisation des matériaux béton, bois et acier est induite par les caractéristiques intrinsèques de chacun. Le béton est appliqué pour ses caractéristiques structurales, mécaniques, minérales et inertes. Le bois confère une ambiance confortable et chaleureuse. Sa résistance mécanique autorise de grandes portées et sa mise en œuvre au droit des atriums apporte de la lumière naturelle en cœur de bâtiment. Enfin, Le matériau acier autopatinable (corten) est utilisé pour ses propriétés propres d'acier contenant du fer en réaction avec l'oxygène et l'eau qui, avec le temps, obtient une patine de couleur orange autoprotectrice. Dans la conception du projet, les « clous de charpentier » en acier sont en résonance avec la mise en œuvre de la charpente bois ».

Pascale Poirier, architecte,
agence Fabienne Bulle Architecte et Associés

À RETENIR

- Point façade : La peau d'acier est constituée de « clous de charpentier » directement suspendus à la façade depuis l'acrotère et à la toiture. Seuls des butons intermédiaires permettent de régler l'inclinaison et la mise en distance des éléments en acier perforé (brise soleil). Les butons prennent appuis sur une lisse filante en acier thermolaqué, fixée en tête de plancher bas R+1 et R+2.
- Étanchéité : L'étanchéité en toiture est ici posée sur un support bois non porteur, conformément au DTU 43.4. Ce support est ensuite fixé sur l'élément bois porteur (ici en CLT). La pose d'étanchéité directement sur support bois porteur (par exemple, directement sur le CLT) n'est pas visée par ce DTU et relève donc d'une technique non courante. Par conséquent une évaluation technique (Avis Technique, ATEX) est requise.





- . Deux noyaux béton
- . Planchers CLT
- . Poteau bois lamellé
- . Poutres acier
- . Façades CLT
- et façades ossature bois

Maitre d'ouvrage : Bedier Est Invest
Utilisateur : Direction Patrimoine
et Architecture

Promoteur : Bedier Est Invest
Contractant général : Quartus
Architecte : Art & Build
Livraison : 2017
Surface : 6 000 m²
BET Structure CVC : SNG Lavallin
MOE Exécution : OTCI
OPC : ELITE
Bureau de Contrôle : Qualiconsult
SPS : QUALICONSULT
BET environnement : Franck Boutté
BET enveloppe : Arcora

Opalia, 80% de bois pour un tertiaire R+7

Enjeu environnemental, bien-être, résistance au feu, performances acoustiques et structurales... Pour Opalia le bois était une évidence. Mais pour les 8 niveaux de ce bâtiment tertiaire à la silhouette atypique, inscrite dans un environnement contraint, l'acier joue également, avec le bois, sa partition.

Opalia, l'immeuble tertiaire en bois le plus haut de Paris. Situé sur la zac Bédier, avenue de la porte d'Ivry, 13^e, ce bâtiment de 8 niveaux a été réalisé par l'agence d'architectes Art&Build, lauréate du concours organisé par la Semapa et le promoteur-investisseur Buelens. Le choix du matériau bois (80 % de l'ouvrage) a été motivé par sa forte valeur ajoutée en terme environnemental et répond aussi à une démarche plus conceptuelle, à savoir le bien-être au travail, fondée sur la biophilie.

Un bâtiment posé sur une parcelle difficile : « Inscrit dans un espace étroit en bordure du périphérique, Opalia fait office de main protectrice contre le bruit », explique Steven Ware, architecte maître d'œuvre du projet. Une main qui ferme délicatement l'îlot. Une configuration en terrasses a été retenue pour protéger les logements collectifs alentour tout en préservant leur ensoleillement. Cette écriture architecturale devant assurer, en outre, une performance structurale, économique et écologique.

Le bâtiment tire son identité atypique de ses deux façades : côté jardin, des panneaux à ossature bois recouverts de lames de Douglas ; côté périphérique, une double peau ventilée formée par des bow window vitrés, est accrochée sur une paroi constituée de panneaux de CLT à l'intérieur, doublée d'un isolant et vêtue de lames de Douglas. Ce dispositif assure la perméabilité du bâtiment et son isolation thermique en plus de renforcer les performances acoustiques de l'enveloppe.

La reprise de charges est assurée, à chaque niveau, par un système poteaux-poutres bois lamellé et acier. « Le métal autorisait des épaisseurs et des retombées moins importantes », explique David Crasnier, directeur de Briand Construction Bois, en charge des travaux clos et couverts (structure mixte bois et acier, étanchéité et façade). Telles les poutres de rive en

Beaucoup d'éléments en acier ont été intégrés dans les réflexions de montage du bâtiment de façon générale. (...) L'acier permettait d'intégrer pas mal d'éléments dans les méthodes de montage du bâtiment.

Steven Ware, architecte associé,
agence Art & Build

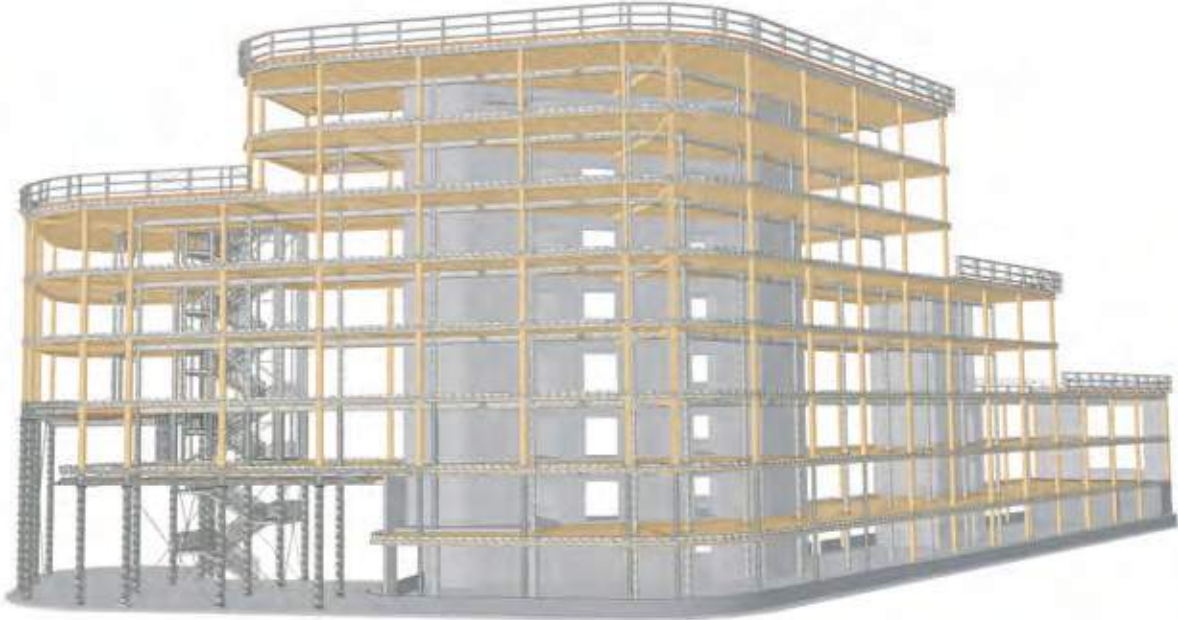
acier limitant les retombées au droit des baies. De même, une partie du bâtiment en porte-à-faux, correspondant à la rampe d'accès au parking, repose sur des poteaux acier de 10 m de haut, réduisant l'emprise au sol.

Les rangées de poteaux acier à l'intérieur sur chaque étage présentent des sections réduites qui limitent l'impact visuel sur les plateaux et renforcent l'apport en lumière naturelle. Laissés apparents, lesdits poteaux sont remplis de béton, réglementation incendie oblige. Toujours pour la résistance au feu mais aussi pour répondre à une attente esthétique, les poutres horizontales en acier sont coffrées avec un lamellé collé. Les dimensions des poteaux en bois lamellé (250 x 300 mm) garantissent, quant à elles, une stabilité au feu de 60 mn. Le système formé par les poutres horizontales acier et les planchers en CLT (panneaux d'épicéa de 2,70 x 12,00 m, ép. 22 cm) permet de ramener les efforts vers les deux noyaux en béton (cages ascenseur et escaliers) qui assurent le contreventement.

Presque totalement en filière sèche grâce à la préfabrication, ce bâtiment s'inscrit dans une démarche volontaire de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. Outre le stockage du CO₂ (1 tonne de CO₂ prélevé par m³ de bois), notons également l'importante réduction du fret en raison d'une unique entreprise en charge des conception et préfabrication de la structure mixte bois/acier. Autres effets vertueux : un chantier plus court et donc des nuisances limitées. Six mois ont suffi à monter structure, façade, plancher et charpente. Ces locaux sont aujourd'hui la nouvelle vitrine de la Direction constructions publiques et architecture (DCPA) de la Ville de Paris.







Archi

Le langage architectural des façades

Une des volontés ici est de produire une ambiance bois, capable d'accompagner les usagers dans une quiétude et un confort biosourcé et chaleureux. Le langage architectural explore, à travers le travail des façades, une juxtaposition intéressante : une façade de bardage bois en lames verticales et une seconde peau de verre et d'acier laqué créant un contraste saisissant, comme la rencontre de deux cultures, celle du bâtiment bois plus traditionnel, avec celle de l'immeuble de bureau contemporain. Cette juxtaposition révèle la volonté de montrer les matériaux biosourcés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur. Par ailleurs, la conception bioclimatique de cette double peau ventilée permet de résoudre les bruits aériens du périphérique dans une épaisseur réduite.

Paroles

« Ce qui était très intéressant, c'est qu'une bonne partie des éléments en acier a été intégrée dans le montage du bâtiment. Lorsque l'on est en bois et en acier, on est forcément amenés à faire plus de préfabrication. Ce sont des éléments qui sont conçus, montés, assemblés hors site, et lorsqu'ils arrivent sur place, le montage est très rapide. Ce qui était intéressant, c'est que beaucoup d'éléments en acier ont été intégrés dans les réflexions de montage du bâtiment de façon générale. Par exemple, la poutre en rive intégrait également les réservations pour les garde-corps. L'acier permettait d'intégrer pas mal d'éléments dans les méthodes de montage du bâtiment. En terme de conception de ces connexions, nous n'avons pas eu de difficultés non plus. »

Steven Ware, architecte associé,
agence Art & Build

Technique

Façade en double peau ventilée

Outre l'usage massif de bois en structure (environ 80% des éléments structuraux sont en bois), cet ouvrage se distingue par son enveloppe avec une façade bois, en double peau ventilée qui répond à la fois à une problématique acoustique, à une exigence de confort thermique et au contexte réglementaire sur la sécurité incendie. Pour concilier ces exigences, une première paroi gère les aspects structuraux, d'étanchéité à l'eau et à l'air et de résistance au feu. Il s'agit de la paroi intérieure : en CLT + laine de roche + bardage à lame d'air ventilée, conforme au *Guide d'application IT 249* (voir Bloc-Notes). Par-dessus cette première paroi, a été rapportée une double peau (cadre métal et vitrage simple). Ce second complexe (paroi extérieure) permet de résoudre le sujet thermique et de concilier exigences thermique et acoustique. Pour réaliser ce système, le complexe « bardage ventilé + double peau » a été rapporté sous forme de modules.

À RETENIR

- Feu : La protection au feu des poutres métalliques a été réalisée avec du bois lamellé, notamment dans les appuis de menuiserie.
- ATEx : Il est à noter que pour permettre la réalisation des solutions déployées sur cette réalisation, la conception de la façade (technique non courante) a été visée par une ATEx.
- Façade : La compétence du façadier qui assemble bois, acier et verre est à souligner.

À SAVOIR

- Une cale de protection au feu masque la console d'appui du plancher CLT.







- . Socle et noyau béton
- . Poteau-poutre bois lamellé
- . Planchers CLT

Pulse : immeuble tertiaire bas carbone

Dans le quartier en pleine mutation autour du métro Front Populaire à Saint Denis (93), le nouvel immeuble Pulse se présente comme le projet emblématique du développement du parc tertiaire d'Icade. Avec sa structure mixte bois-béton, il est à ce jour un des plus grands immeubles de bureaux labellisé BBCA.

Cet immeuble de bureaux et de services en R+7 de 28 695 m² s'articule au rez-de-chaussée autour d'un atrium central de 1 200 m² sous verrière constituant le cœur de l'édifice et qui dessert des services divers (commerces, restaurant, cafétéria, salle de fitness, conciergerie). Les 7 étages à usage de bureaux peuvent accueillir 385 personnes par étage sur des plateaux de 3 900 m² SUBL. Les plateaux de 18m de profondeur ont une hauteur de 2,90 dans les bureaux (en façade) et de 2,70 m en partie centrale. Ils ont été pensés afin d'offrir une grande flexibilité d'usage avec une trame de 1,35 mètre pour faciliter les choix de cloisonnement et les aménagements évolutifs. Des terrasses sont accessibles au 2^e et au 6^e étage ainsi qu'au dernier étage où est aménagé un potager urbain de 400 m².

La maîtrise d'ouvrage (Icade), engagée dans une politique d'amélioration du bilan environnemental de ses programmes, prend désormais en compte l'empreinte carbone dans sa globalité en y incluant l'énergie grise. Cet engagement vise à répondre aux exigences des labels BBCA (bâtiment bas carbone) ou encore le label expérimental E+C- (énergie positive et réduction carbone). Pour atteindre ces performances et répondre aux critères de sobriété énergétique en exploitation, Pulse a été réalisé en construction mixte bois/béton avec l'emploi de matériaux biosourcés pour le stockage du carbone et de matériaux issus de l'économie circulaire comme le réemploi de 20 000 m² de plancher technique.

Le choix des matériaux (bois, béton, aluminium) et leur localisation a été fait en fonction des vertus de chacun: pérennité, stabilité, résistance. Le bois, au-delà de ses vertus écologiques, procure aux espaces de bureaux un aspect doux et confortable.

Olivier Fassio, architecte chez BFV Architectes

Maître d'ouvrage : Icade

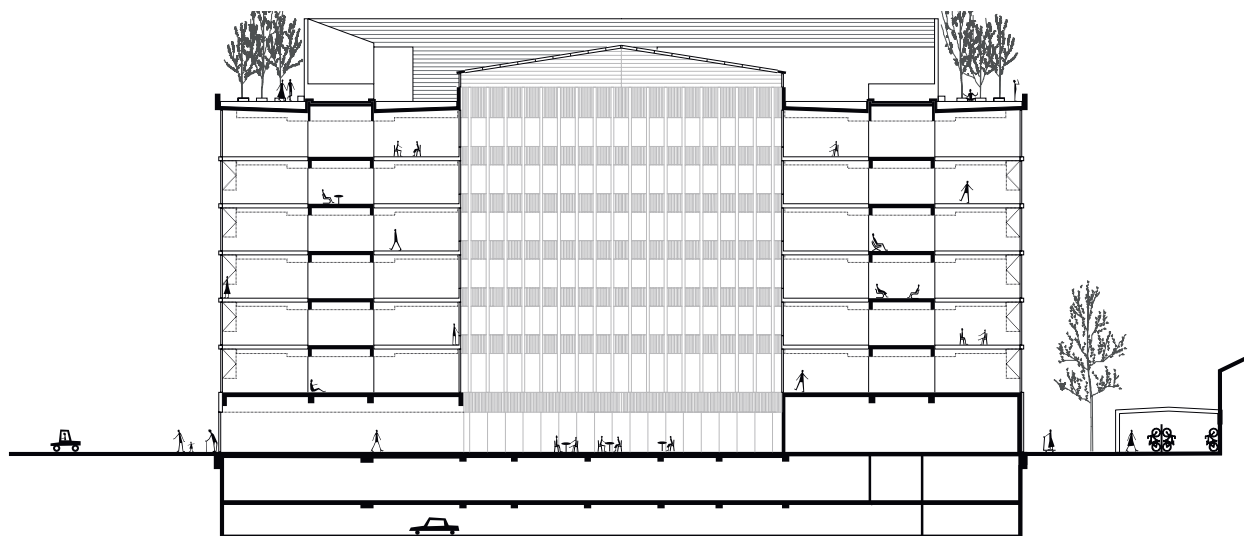
Architecte : Fassio et Viaud

Livraison : 2018

Surface : 28 000 m²

Certifications : E2C2 / BBCA / HQE niveau excellence / Bream niveau very good / OzmoZ

Le choix d'une structure bois permet de répondre à l'impératif de limitation de l'impact carbone du projet. Le béton, utilisé sur ce projet pour la réalisation du socle jusqu'au R+1 et des noyaux verticaux qui assurent le contreventement, a également fait l'objet d'une étude pour optimiser sa composition et limiter les seuils carbone en utilisant les laitiers de hauts fourneaux pour remplacer le clincker. Quant au bois, la structure est en poteau-poutres de bois lamellé et les planchers sont constitués de panneaux CLT. Les façades extérieures sont en aluminium tandis que les façades intérieures donnant sur l'atrium sont constituées d'un mur-manteau en bois lamellé. La verrière de l'atrium est formée d'une charpente en bois lamellé avec des chevrons et des pannes longitudinales.









Archi

« Avec son soubassement vitré et son attique, Pulse s'affirme comme un monolithe franc à la composition architecturale sobre. La géométrie des larges baies forme une mosaïque qui s'interrompt au-dessus du hall d'entrée et révèle de grands espaces végétalisés, ouverts entre la ville et l'atrium. La présence du bois à tous les étages colore les lieux de travail et de vie. Elle garantit une ambiance chaude, calme et sereine.

La structure bois de la façade est revêtue de lames d'aluminium qui font scintiller la lumière, comme un trésor dans son coffret. »

Jean-Marc Weill, architecte-ingénieur,
directeur associé C&E Construction & Environnement

Paroles

« Le choix des matériaux utilisés (bois, béton, aluminium) et leur localisation a été fait en fonction des vertus de chacun: pérennité, stabilité, résistance. Le choix du bois, au-delà de ses vertus écologiques, procure aux espaces de bureaux un aspect doux et confortable. Il contribue à réguler l'humidité et la qualité de l'air tout en offrant une odeur agréable. Il procure une couleur, une chaleur, un aspect naturel qui transforme la grande froideur des espaces tertiaires en des espaces accueillants et conviviaux propices au bien-être de ses occupants ».

Olivier Fassio, architecte,
BFV Architectes

Technique

Ce que le béton offre au bois

Le socle en béton permet fréquemment de répondre de manière adaptée aux contraintes du rez-de-chaussée des bâtiments, souvent plus hauts et plus ouverts que les étages courants (charges et élancement importants, zones d'accueil ou zones communes largement ouvertes, vitrines...). Ce socle béton est également la meilleure réponse aux situations d'étages inférieurs enterrés ou semi-enterrés. Par ailleurs, le noyau vertical béton présente de réels intérêts vis-à-vis de la structure bois:

- Un point d'appui rigide pour limiter les déformations sous l'action du vent ou d'une sollicitation sismique ;
- Une solution répondant de manière simple, économique et efficace aux exigences particulières (réglementation incendie et acoustique) des cages d'escalier et d'ascenseur intérieures;
- Une inertie thermique favorable au confort d'été

À RETENIR

- Phasage : Le phasage des travaux et les contraintes entre le lot gros œuvre bois et le gros œuvre béton doit être étudié avec soin, afin de permettre un déroulement harmonieux du chantier ;
- Planchers : Les planchers en CLT avec intégration des fluides ont permis un gain de 20 cm en épaisseur.
- Les tolérances d'exécution standard du gros œuvre bois et du gros œuvre béton pouvant différer de manière importante, il faut dès la conception :
 - Apporter en amont une attention particulière à leur interface ;
 - Bien spécifier les tolérances d'exécution attendues du gros œuvre béton ;
 - Prévoir les ouvrages complémentaires d'interface entre lots (OCIL) permettant le recollement des tolérances respectives.





Solaris – Photos : Jean-Paul Roda et Olivier-Pierre Lagadec

- . Dalle et voiles béton
- . Façades rapportées en ossature bois (FOB)

Solaris : résidentiel

R+9 béton + bois

L'immeuble Solaris, dont la forme est issue du gabarit imposé par l'urbanisme de la ZAC, a été imaginé par l'agence Roda Architectes et se présente comme un monolithe creusé pour y installer des balcons. Derrière sa façade rythmée par l'emploi d'aluminium et de bois, se cache une construction mixte d'une grande technicité avec une structure en béton sur laquelle repose un mur manteau en bois.

Implanté dans le quartier en pleine mutation de l'Écocité Presqu'île au Nord de Grenoble, l'immeuble Solaris abrite 38 logements sociaux locatifs sur une surface de plancher de 3 250 m². Cet immeuble de 10 niveaux, situé en zone de risque sismique 4, s'inscrit dans une démarche dynamique de développement de l'usage du bois dans la construction. En effet, le cahier de prescription environnementale du programme d'Écocité Grenoble pour ce nouveau quartier imposait l'emploi d'un maximum de matériaux biosourcés et donc de bois. L'engagement à tenir dans cet îlot était de 50 dm³ de bois par m² de surface SHON. Un objectif largement dépassé puisque le quota de bois atteint sur cet ouvrage les 65 dm³, conforté par la mise en œuvre de menuiseries extérieures en pin et de menuiseries intérieures en sapin.

Le système constructif retenu pour y parvenir repose sur la réalisation de voiles et dalles en béton pour assurer la structure porteuse de l'édifice, sur lequel est accroché une façade à ossature bois. Cette solution, outre sa légèreté, sa facilité de mise en œuvre et son caractère biosourcé, permettait également d'atteindre les objectifs de performance thermique RT2012 -30% imposés par la ZAC. Ce système supprimant les ponts thermiques entre la façade et la dalle.

Le mur manteau a été préfabriqué en atelier, préalablement équipé des menuiseries, de l'isolant et des vêtements. La façade est habillée d'un bardage en alucobond gris-doré de grande dimension sur un calepinage horizontal avec un seul joint sur la hauteur de l'étage. Les parties en creux ou en encorbellement sont en mélèze de classe 3. Cette façade est agrafée au droit des nez de dalle ce qui a permis d'absorber les jeux de tolérance et les erreurs dimensionnelles du béton qui, sur ce chantier, représentent 6 cm de faux aplomb sur 10 étages.

Atteindre une performance thermique du type RT2012 -30 % est favorable à l'usage du bois en structure de murs de façade avec une efficacité économique remarquable. Cela est dû pour partie à la préfabrication.

Jean-Paul Roda, architecte, Roda Architectures

Maitre d'ouvrage : ACTIS

Architecte : RODA

Livraison : 2017

Surface : 3 250 m²

Coût de construction : 1470 €HT/m² SHAB

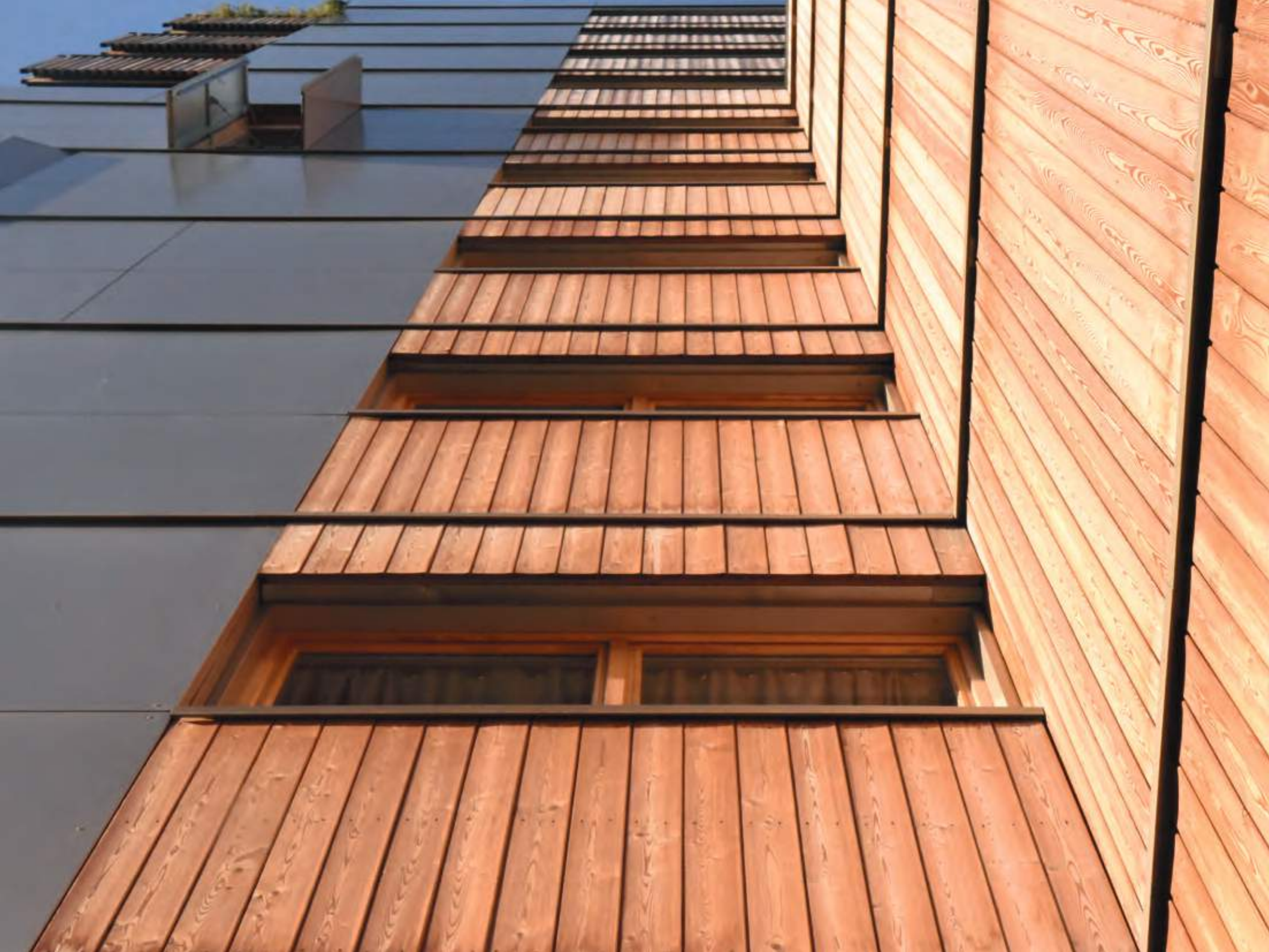
BE Bois : Gaujard Technologie (Avignon)

Entreprise bois : S.D.C.C. (Varces)

Les balcons, imbriqués de manière aléatoire dans la façade, ont été conçus en volumes 3D d'une seule pièce en atelier (cf. Bloc Notes). Le choix de la mixité bois/béton a ici été motivé par une réduction des coûts par rapport à une construction 100% bois et une gestion des ponts thermiques plus performante par rapport à une construction 100% béton.







Archi

La peau

La peau de la façade ossature bois de ce bâtiment se distingue par sa préfabrication poussée. Elle vient habiller un corps en béton dont refends dalles et colonne des circulations verticales permet de réaliser le contreventement en zone sismique. L'enveloppe alterne le lisse et le rugueux, le mat et le satiné, le fixe et le mobile et permet en outre d'atteindre une réelle performance, visant RT -30%, grâce à une isolation intégrée dans la structure de la façade.

Paroles

« Le choix de la mixité est un parti pris d'architecte issue de mon expertise depuis plus de vingt ans dans la construction bois et de l'envie d'explorer tout le potentiel créatif de ce système. Un des avantages indéniables est l'adaptabilité du mur bois à recevoir tout type de vêtture en étant sur un positionnement économique bien plus compétitif qu'un mur béton avec la même vêtture et cela dans le respect d'une performance thermique égale. Ce qui veut dire qu'atteindre une performance thermique du type RT2012 -30 % est favorable à l'usage du bois en structure de murs de façade avec une efficience économique remarquable. Cela est dû pour partie à la préfabrication, l'attractivité économique est très rassurante et ouvre le champ des possibles de cette combinaison bois-béton car sa relative complexité n'engendre pas de surcouts notables dans la mise en œuvre du système constructif ».

Jean-Paul Roda, architecte,
Roda Architectures

Technique

De l'avantage de la préfabrication de l'enveloppe

La préfabrication poussée des éléments de façade intègre les menuiseries, le revêtement extérieur et embarque l'ensemble de l'isolation et des traitements d'étanchéité à l'eau et à l'air en partie couverte. Elle circonscrit à un lot unique l'ensemble du traitement de l'enveloppe et concentre sur les seuls joints entre panneaux le traitement sur chantier des points singuliers.

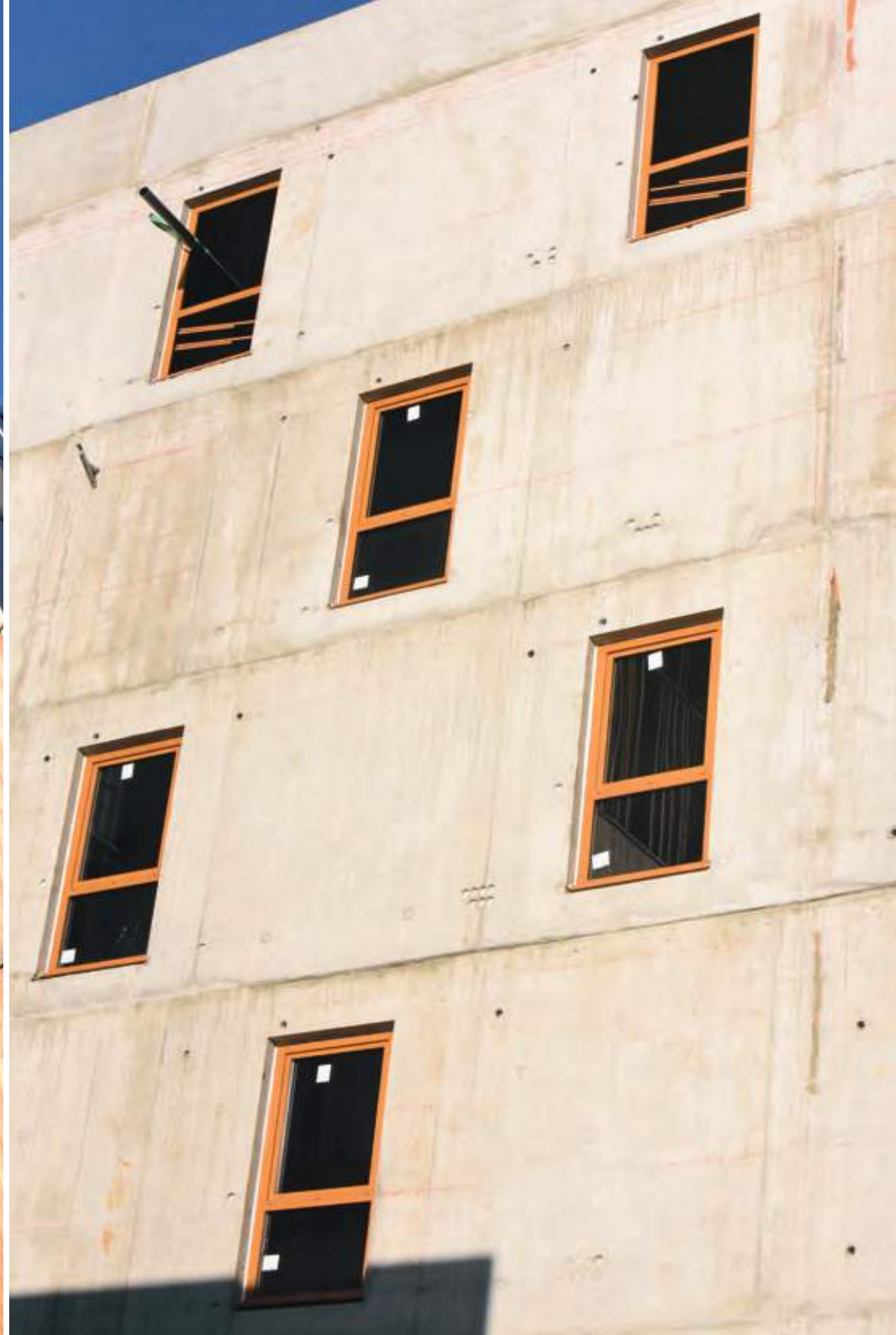
La conception, conforme au *Guide d'Application de l'IT 249*, répond aux exigences réglementaires en termes de propagation du feu en façade.

À RETENIR

- Prototypage et préfabrication : le balcon réclame une conception globale qui tienne compte, notamment, de la fixation à la structure, des détails d'étanchéité (seuil), des garde-corps, du revêtement de sol, de l'évacuation... Ici, la réponse a été fournie par une préfabrication complète. Livrés d'une seule pièce, ils ont été clipsés sur la façade. Un prototype complet (prévu au marché) a permis de gagner beaucoup de temps et de limiter les risques.

- À noter :

Les balcons bois étanchés sont un point de vigilance sur ce type d'ouvrage. Il s'agit de concilier pérennité (ventilation du bois exposé en extérieur) et accessibilité, tout en assurant la sécurité au feu.





- . Bâtiments existants en béton
- . Toiture métallique étanchée
- . Surélévation des structures verticales avec potelets béton en façade, potelets bois au droit des refends + poutre bois lamellé
- . Modules tridimensionnels en ossature bois + bois lamellé
- . Modules de toiture en charpente bois industrielle

Maitre d'ouvrage : Vilogia

Architecte : Atelier Virtuel

Livraison : 2017

Réhabilitation de 300 logements et surélévation avec 33 « maisons »

Coût des travaux : 9,6 M € HT

Beauregard : surélévation de barres résidentielles

Pour ces surélévations modulaires en bois sur une structure en béton, la mixité est appréhendée comme une juxtaposition de matériaux et par extension, de deux époques avec une réécriture contemporaine de ce grand ensemble des années 1950. Le choix du bois, lui, a été motivé par la légèreté, la rapidité de mise en œuvre et par son caractère esthétique.

A Poissy, cet ensemble de barres d'immeubles en béton, conçu par, l'architecte Gustave Stoskopf (grand prix de Rome) a été érigé en 1957 pour répondre aux besoins de logements des ouvriers des usines Simca. 60 ans plus tard, le maître d'ouvrage Vilogia, a lancé une rénovation de trois bâtiments correspondant à 216 logements, avec une requête un peu particulière : construire des logements sur le toit. Une demande qui s'inscrivait dans une volonté de requalification des bâtiments et de densification du territoire.

L'agence Virtuel architecture, lauréate du concours, a proposé de poser 33 maisons de bois en modules 3D, sur trois des barres en R+4 (Blanche de Castille, Foucault et Ronsard). « Notre parti pris était de réhabiliter les logements avec une écriture simple et une ITE, puis de proposer en amont de petites maisons en bandes qui rappellent le pavillonnaire alentours », explique Béatrice Vivien, architecte en charge du projet avec Laurent Pillaud.

Les arguments qui ont motivé le choix du bois sont essentiellement sa légèreté, et sa rapidité de mise en œuvre. « L'installation des modules a duré 6 mois. Les modules 3D préfabriqués et les toitures, amenés directement sur chantier, comportaient la structure en bois lamellé-collé et les façades en bardage bois, les cloisons intérieures, les menuiseries extérieures, les revêtements de sols et muraux ainsi que les installations techniques », détaille Béatrice Vivien. En tout et pour tout, une demi-journée suffisait à poser une maison dont les modules et la toiture étaient acheminés par grue sur leur support.

Mais avant de pouvoir y poser les modules, le support a fait l'objet d'une attention toute particulière. Puisque le cahier des charges consistait à venir poser ces modules sur les toits. Cependant, il s'est avéré que la toiture existante était en fait constituée d'un bac

L'idée était de limiter les surcharges et de respecter le bâti existant, sans fioritures. Il s'agissait aussi de proposer une image résolument différente avec ces maisons bois en porte-à-faux sur des barres de béton. Plus que de la mixité, cette rénovation est une juxtaposition.

Béatrice Vivien, architecte Atelier Virtuel

acier avec étanchéité et isolation sur des poutrelles métalliques en treillis et d'acrotères en parpaings. les acrotères étant trop fragiles, Il a fallu retrouver les structure des façades béton en dessous. Des poteaux bois sur les refends et des poteaux en béton sur façade ont été installés pour permettre la descente des charges par les voiles porteurs en béton. Les poteaux bois reprennent une poutre bois et les poteaux béton sont posées sur les façades existantes en béton par souci d'homogénéité des matériaux.

Ensuite une poutre bois lamellé 220X480 mm posé sur les poteaux bois 250x250 tous les 3,50 m a été posée et sert de support aux modules. Viennent ensuite le plénum technique puis les terrasses et enfin, les modules.

Ces juxtapositions osées, de maisons de bois sur du béton, diffusent dès lors la chaleur du matériau et une écriture plus contemporaine, tout en se étant respectueuses du bâti d'origine. En effet, les maisons affichent des coloris clairs pour ne pas jurer avec les façades blanches des barres. De plus, elles s'inscrivent en porte-à-faux, soit en dehors du volume initial. La mixité s'invitent aussi sur les façades. « Nous avons installé des balcons bois préfabriqués pour les logements existants. Ils sont montés en colonne, soit 4 terrasses superposées de 6m², de manière à unifier le tout avec les toits », détaille Béatrice Vivien. Autoportants, ils ont été fondés sur les poteaux descendant jusqu'en bas de l'immeuble puis ont été mis en applique sur le mur béton.







Archi

Enjeu de la rénovation

La rénovation d'une barre est un enjeu économique d'ampleur pour les bailleurs et les locataires. En réalisant une extension légère par surélévation, on utilise les infrastructures existantes (plantations, espaces verts, parkings...) et on apporte une nouvelle offre de logements différents aux habitants du quartier. De plus, les logements existants sont non seulement améliorés thermiquement (ce type d'intervention allant le plus souvent, comme ici, de pair avec une rénovation thermique globale) mais aussi fonctionnellement, par de nouveaux balcons et ascenseurs, dont les frais sont mieux partagés pour diminuer les charges.

Soulignons également les porte-à-faux des logements, qui s'équilibrent visuellement avec les extensions des colonnes des balcons.

À RETENIR

- Point de vigilance : L'accessibilité doit être un point d'attention pour la maintenance dans le plenum
- Feu : Il est important de prendre en compte le risque éventuel de feu dans le plenum (en cas de passages électriques) et de prendre les dispositions visant à éviter une propagation d'une maison à l'autre
- Sismique : En zone sismique, il est nécessaire de tenir compte de l'impact de la surélévation sur la structure existante.

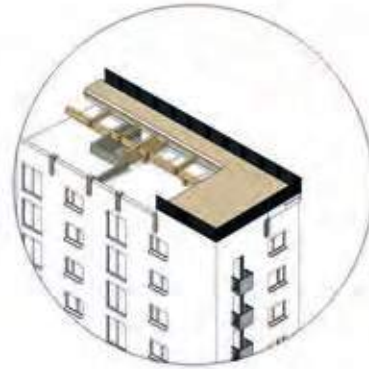
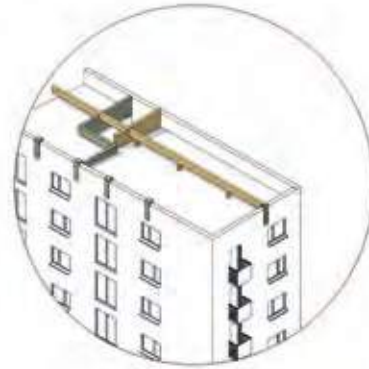
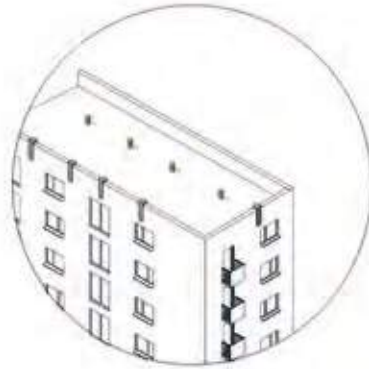
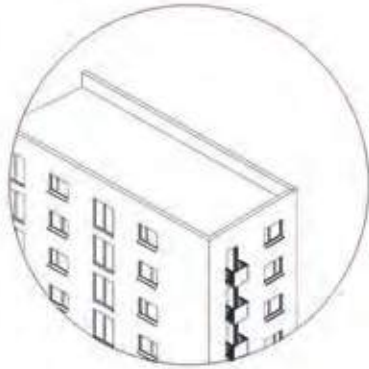
Technique

Structure rapportée et structure existante

L'encastrement des poteaux bois dans l'acrotère maçonné est la première réponse apportée sur ce projet à la question « Comment créer les appuis de la structure rapportée sur une structure existante ? ». La seconde réponse repose sur l'ajout de potelets et poutres en bois lamellé au dessus des murs de refend.

Pour assurer le contreventement, l'ancrage sur les potelets béton et la structure en bois lamellé sont suffisants. L'appui sur l'acrotère opposé est par ailleurs une option simple et sans difficulté particulière.

Il est par ailleurs important de souligner que l'espace, créé entre les modules rapportés et la toiture existante, sert de plenum technique. Aussi, un compartimentage de ce plenum est nécessaire pour éviter la propagation d'un incendie dans un logement inférieur à l'ensemble des logements rapportés.



ApPRoche TechHniQue Des solu- tionS eN miXITé

Par Frank Kupferlé, Ingénieur/ C4Ci

01

Tirer le meilleur profit des caractéristiques de chaque matériau

01.1

Le bon matériau au bon endroit

Chacun des matériaux de construction couramment utilisés pour la structure dispose de points forts et de particularités sur lesquels une approche mixte peut s'appuyer pour en tirer le meilleur profit dans une réponse à une problématique donnée.

Les tableaux ci-dessous et ci-contre décrivent les principales contributions des matériaux usuels à une structure mixte. L'indication de certaines propriétés des produits couramment utilisés a pour seul objet de d'illustrer ces contributions par le biais d'ordre de grandeurs.

Thématique	Béton armé dans la mixité	Acier dans la mixité	Matériaux bois dans la mixité
Contribution mécanique	Rigidité des structures en béton armé	Rigidité élevée (rapport rigidité / quantité de matière)	Rapport poids/performance
	Résistance à la compression	Résistances élevées dans tous les domaines : optimisation des hauteurs de section	Résistance à la compression/traction
	Peu sensible au flambement et déversement	Composant adapté aux palées de contreventement des structures	Moyennement sensible au flambement et déversement
Variation dimensionnelle	Peu sensible à la variation d'humidité	Peu sensible à la variation d'humidité	Peu sensible à la dilatation thermique
Thermique	Parois à isolation superposée		Parois à isolation superposée ou intégrée
	Apport d'inertie thermique (confort d'été)		Matériau relativement isolant
Acoustique	Apport de masse = bruit aérien / isolement acoustique		Complexes de type masse-ressort-masse = bruits solidien / transmission des bruits d'impacts
Incendie	Matériau incombustible	Matériau incombustible	Moyennement inflammable
	Résistance au feu intrinsèquement élevée	Résistance au feu nécessitant fréquemment une protection rapportée	Résistance au feu prédictible Vitesse de carbonisation connue
Sismique	Apport de rigidité	Apport de résistance	Apports de ductilité
Assemblage	Liaison interne par le biais des armatures	Matériau d'assemblage par excellence	Multitude de solutions d'assemblages
	Facilité de liaisons encastées, intrinsèquement protégées du feu	Facilité de liaisons encastées	Facilité d'assemblages « cachés » naturellement protégés du feu

Propriété	Béton courant	Acier courant	Matériaux bois courant
Module d'Elasticité	$E = 30 - 35 \text{ GPa}$	$E = 210 \text{ GPa}$	$E = 11 - 14 \text{ GPa}$
Flexion		$235 - 275 \text{ MPa}$	$24 - 44 \text{ MPa}$
Traction	$1,5 - 2,5 \text{ GPa}$	$235 - 275 \text{ MPa}$	$14 - 35,0 \text{ MPa}$
Compression	$20 - 35 \text{ GPa}$	$235 - 275 \text{ MPa}$	$21 - 35 \text{ MPa}$
Masse volumique	$2\,500 \text{ kg/m}^3$	$7\,850 \text{ kg/m}^3$	$400 - 580 \text{ kg/m}^3$
Conductivité thermique	$\lambda = 0,80 - 1,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$\lambda = 36 - 54 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$	$\lambda = 0,13 - 0,15 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Données pour les classes mécaniques les plus courantes de chaque matériau. Pour le béton, les résistances sont données sans armatures. Pour les matériaux à base de bois les propriétés indiquées portent sur le bois massif, le lamellé-collé, le CLT et le lamibois (LVL).

01.2

Diversité des matériaux à base de bois pour une diversité de solutions

Il existe une grande diversité de matériaux à base de bois pouvant contribuer à la réalisation de structure mixtes en

s'appuyant sur leurs apports respectifs, que ce soit sous forme d'éléments de type poteau ou poutre, ou bien de structures bi- ou tri-dimensionnelles, ou encore d'éléments de paroi massifs ou à structure rythmée. Outre leurs apports techniques, ces matériaux offrent également une diversité d'aspect et d'essences de bois qui alimente le champ des possibles d'un point de vue esthétique et architectural.

01.3

Le bois : un matériau naturel aux performances maîtrisées qui ne cesse d'innover

La variété des matériaux à base de bois et des systèmes constructifs les utilisant illustre à quel point l'innovation et l'industrialisation ont permis de s'accommoder des défauts inhérents à ce matériau de construction naturel et renouvelable pour tirer profit de ses qualités et offrir des solutions constructives à performance maîtrisée.

Les matériaux à base de bois les plus courants sont pleinement intégrés dans la normalisation européenne et les référentiels techniques et assurantiels (NF DTUs, Recommandations Professionnelles, Eurocodes, ...) et satisfont aux exigences du marquage CE selon la norme harmonisée correspondante, conformément au Règlement Produits de Construction (UE) n°305/2011(RPC).

Les produits innovants plus récents sont titulaires d'évaluations techniques reconnues (Evaluation Technique Européenne, Avis Technique, Document Technique d'Application, ...).

Matériau ou système constructif	Référentiel ¹⁾	Applications privilégiées
Bois massif ¹⁾	NF EN 14081	Composant de base de la construction bois, aussi bien comme montant d'ossature que comme solive, panne ou chevron
Bois massif abouté ¹⁾	NF EN 15497	
Lamellé-collé ¹⁾	NF EN 14080	Produit standard ou fabriqué sur mesure, aux multiples usages, permettant la réalisation de structures porteuses principales de toutes sortes, notamment de type poteau-poutre ou portiques, avec une grande liberté de sections, de longueurs, de formes et d'assemblages
Lamibois (LVL) ¹⁾	NF EN 14374	Bois d'ingénierie, pouvant être à plis parallèles ou perpendiculaires, disponible à la fois sous forme de panneau grand format ou de section rectangulaire (poutre, montant, poteau), mettant ses propriétés mécaniques supérieures au service de la réalisation de structures porteuses principales de toutes sortes
Poutre en I à base de bois	Avis Technique ou DTA CPT ²⁾ ou ETE (ETAG 011)	Produit optimisant au maximum l'usage de la matière première et le poids de la structure, alliant des membrures en bois ou LVL à une âme en panneau à base de bois (assemblage collé) ou métallique (assemblage mécanique), optimisé pour des usages de type solive, panne, chevron ou montant de mur à forte performance thermique (passif, BEPOS)
Charpente industrielle	NF EN 14250 NF DTU 31.3	Charpente légère, technique et optimisée : les fermettes obtenues par assemblage des pièces de bois par connecteurs métalliques sont contreventées pour former une structure particulièrement performante et économique au vu du volume de matière mis en jeu
Ossature bois	NF DTU 31.2 prNF DTU 31.4	Système constructif de mur alliant une ossature (montants et traverses) en bois, un panneau de contreventement à base de bois, et une isolation intégrée dans l'épaisseur du mur : proposant ainsi gain de poids et de surface habitable à résistance thermique égale, ce système habituellement porteur est également particulièrement adapté à la façade rapportée autoportante
Panneau bois lamellé croisé (CLT)	NF EN 16351 ou ETE CPT ³⁾	Système constructif complet (mur, plancher, toiture) à base de panneaux massifs grand format (planches croisées collées), performant dans tous les domaines, particulièrement adapté aux ouvrages exigeants d'un point de vue structural et à la construction bois de bâtiments multi-étages
Panneaux à base de bois ¹⁾ (OSB, LVL, Panneaux de particules, Contreplaqué)	NF EN 13986 NF EN 300 NF EN 312 NF EN 636 NF EN 14279	Composants de base des structures bois à ossature (murs, planchers à solivage, charpentes, ...), jouant notamment le rôle de panneau de contreventement ou de support de plancher, d'isolant, de couverture ou d'étanchéité, pouvant également être utilisé localement dans des solutions de renfort ou de protection au feu
Panneaux nervurés	Avis Technique ou ETE	Eléments de grande dimension usuellement à table de compression en CLT ou LVL et à nervures en lamellé-collé ou LVL, pour la réalisation d'ouvrages de plancher ou de mur

1) Le NF DTU 31.1 pour les ouvrages de charpente et le NF DTU 31.2 pour la construction à ossature bois, couvrent tous deux de multiples matériaux à base de bois

2) Cahier des Prescriptions Techniques « Planchers et toitures en poutres en I à base de bois » (Cahier du CSTB 3768 – janvier 2016)

3) Cahier des Prescriptions Techniques « Panneaux structuraux massifs bois » (Cahier du CSTB 3802 parties 1 et 2 – octobre 2019)

112 L'alliance du savoir-faire des fabricants et d'une production industrielle, assure la constance des performances des matériaux à base de bois et la maîtrise de la qualité (notamment des tolérances dimensionnelles) et permet d'aller toujours plus loin dans les solutions apportées aux structures mixtes, notamment vis-à-vis de la préfabrication.

Au-delà des exigences du marquage CE, nombre de produits à base de bois font l'objet de certifications volontaires matérialisant la démarche résolument proactive de l'industrie pour proposer des produits de qualité supérieure.

La recherche de solutions mixtes utilisant le bois peut en outre s'appuyer sur une ingénierie spécialisée chevronnée et en plein essor, utilisant tous les outils modernes à sa disposition, mais aussi sur les nombreux travaux de recherche aussi bien en Europe que dans le reste du monde.

La révision en cours de l'Eurocode 5 (bois) capitalise sur les technologies et savoirs scientifiques développés ces vingt dernières années, et la version future de cette norme (à l'horizon 2022) incorporera nombre d'avancées technologiques permettant aux produits et solutions bois innovants de donner leur pleine mesure, et notamment les ouvrages en CLT ou encore les solutions de renforcement.

En outre, la publication prochaine d'une *Technical Specification* (prénorme européenne) traitant spécifiquement des structures mixtes bois-béton et développée en parallèle de la révision de l'Eurocode 5, préfigurera une future partie ad hoc de cet Eurocode.

02

Stabilité globale, contreventement et sollicitation sismique

La mixité ne pose pas d'obstacle particulier à la conception de l'ouvrage vis-à-vis de sa stabilité globale, de son contreventement ou encore de son comportement sous sollicitation sismique. Au contraire, la mixité offre une grande variété de solutions, auxquelles les systèmes constructifs bois contribuent.

Le contreventement de l'ouvrage s'appuie sur les principes généraux suivants :

- On conçoit les parois principales de sorte qu'elles comportent des surfaces rigides dans leur plan, qui couvrent tout ou partie de la paroi concernée :
 - Pour les parois horizontales ou assimilées : les diaphragmes de plancher et/ou de toiture
 - Pour les parois verticales : les voiles ou palées de contreventement
- Les diaphragmes horizontaux s'appuient sur les contreventements verticaux qui les supportent, et vice versa, de haut en bas de l'ouvrage, jusqu'à l'ancrage aux fondations
- Ces parois étant rigides dans leur plan, elles ne se déforment pas ou peu sous effort de vent ou sismique et renvoient les efforts au niveau des assemblages les liant entre eux, en pied d'ouvrage aux ancrages dans les fondations

Ces principes s'appliquent à chacune des technologies de construction. Il en est de même pour un ouvrage en mixité.

02 . 1

Solutions de contreventement des parois à base de bois

Le contreventement des parois verticales ou horizontales à base de bois peut être envisagé de diverses manières, selon le matériau ou système utilisé :

Diaphragme sur ossature

- Cas des murs à ossature bois ou des planchers à solivage
- Le diaphragme est réalisé par couturage de chaque panneau à base de bois aux montants (ou solives) qui le supportent et aux lisses haute et basse (ou ceintures de rive), et la rigidité est donnée par l'ensemble du complexe.

Diagonales de contreventement

- Cas de charpentes traditionnelles ou industrielles, de systèmes de type poteau-poutre, ou encore de portiques
- Le contreventement est usuellement réalisé par l'adjonction de diagonales de contreventement (bois ou métal) ou par la réalisation d'une poutre au vent (bande de panneaux à base de bois couturés aux chevrons), qui s'appuient sur des points durs (voir schéma 1 ci-contre)
- Dans le cas d'une charpente industrielle un réseau de pièces

de contreventement et d'anti-dévers est conçu par le fabricant et permet d'assurer à la fois le contreventement et la stabilité de la toiture qui forme un ensemble rigide.

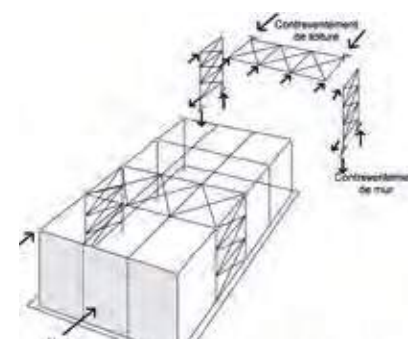
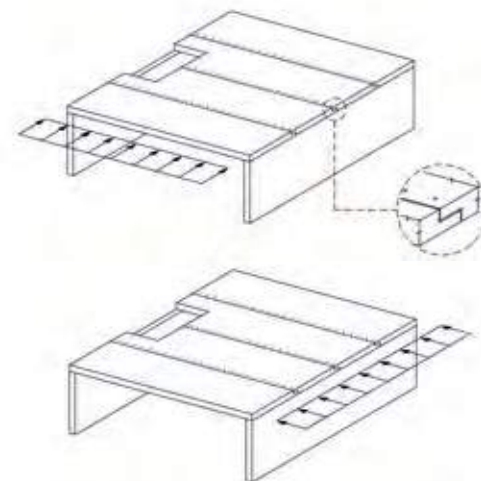


Schéma 1

Panneau massif intrinsèquement rigide

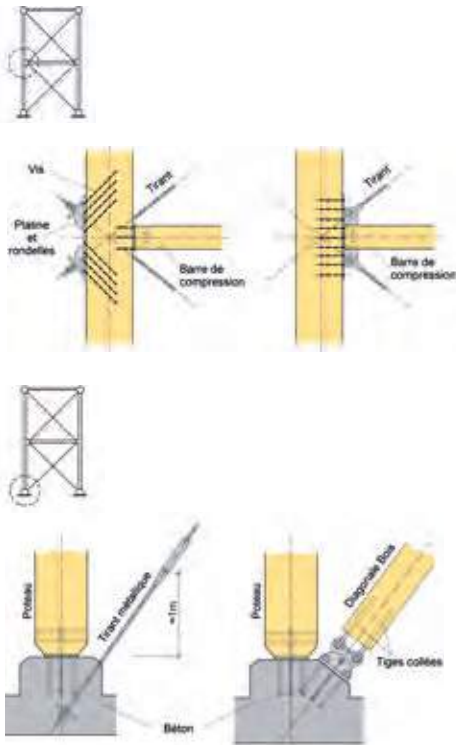
- Cas d'un panneau massif (mur, plancher ou toiture) de type CLT
- Le panneau est lui-même rigide, et les panneaux sont couturés longitudinalement entre eux et aux ceintures de rive



02 . 2

Ancrages

Dans tous les cas, l'ancrage des appuis des diagonales ou diaphragmes sur les voiles de contreventement ou points durs qui les supportent doit être conçu pour reprendre les efforts transmis par la paroi considérée comme rigide.



Palée de contreventement en mixité bois-métal-béton : exemples de détails en pied et en partie courante

Dans le cas des contreventements verticaux (murs, palées de contreventement), l'effort de contreventement conduit à la fois à cisailer l'interface entre le mur et les diaphragmes horizontaux, mais aussi à un effort de basculement du fait de la rigidité du voile. Les ancrages des systèmes constructifs bois étant par essence ponctuels, ceci se traduit par des efforts de cisaillement et d'arrachement sur les ancrages. Il est préférable de concevoir des ancrages prévus pour reprendre uniquement l'effort de cisaillement et d'autres, différents, dont le rôle est de reprendre uniquement l'effort d'arrachement induit par le basculement.

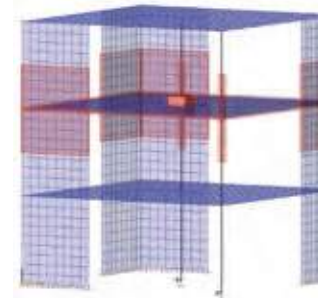
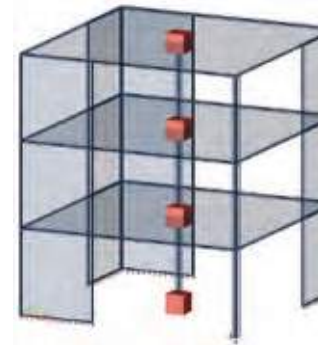
02 . 3

Sollicitation sismique et ductilité

L'effort qui agit sur la structure en cas de séisme est fonction de la masse mise en mouvement par l'accélération du sol et de la distance de cette masse par rapport au niveau du sol. On modélise habituellement cet effort par un pendule où chacun des étages d'un bâtiment est représenté par une masse située à une hauteur représentative de l'étage.

Il en résulte que plus une structure est légère, plus les efforts induits par une sollicitation sismique sont faibles.

L'effort qui agit sur la structure en cas de séisme est également fonction de la manière dont le bâtiment répond à cette sollicitation, et notamment de la capacité de la structure à dissiper une partie de l'effort à chaque oscillation, augmentant ainsi l'amortissement de ces derniers.



© SCIA Engineer

Cette capacité de dissipation est matérialisée par la ductilité de la structure :

- Une structure faiblement ductile dispose d'une capacité de dissipation faible. La structure est en général très rigide et répond à la sollicitation principalement de

manière élastique. L'effort appliqué n'est donc pas particulièrement atténué, les déformations sont faibles, et par conséquent les efforts aux jonctions sur les liaisons et ancrages très importants.

- Une structure à ductilité moyenne ou élevée dispose d'une capacité de dissipation plus importante. La structure est en général globalement moins rigide et répond à la sollicitation de manière élasto-plastique : à chaque oscillation, la structure entre partiellement dans le domaine plastique et l'énergie nécessaire à cette portion de phase plastique est ainsi dissipée sous forme de déformation inélastique. L'effort appliqué est donc atténué à chaque oscillation, les déformations sont plus importantes, et par conséquent les efforts sur les liaisons et les ancrages progressivement moins importants.

Dans la vérification de la structure sous sollicitation sismique selon l'Eurocode 8, la ductilité est prise en compte par un coefficient de comportement q , qui est un diviseur de l'effort appliqué et qui dépend de la classe de ductilité de l'ouvrage. L'Eurocode 8 distingue trois classes de ductilité :

- DCL : ductilité faible, structure faiblement dissipative – coefficient de comportement usuellement $\leq 1,5$
- DCM : ductilité moyenne, structure dissipative – coefficient de comportement usuellement entre 2,0 et 3,0
- DCH : ductilité élevée, structure dissipative – coefficient de comportement usuellement entre 3,0 et 5,0

114 Pour chaque classe de ductilité, en fonction de nombreux paramètres (matériaux, régularité du bâtiment, ...), l'Eurocode 8 et son Annexe Nationale définissent les coefficients de comportement pour divers types de structure béton, acier, bois ou mixtes. Les exigences vis-à-vis de l'ouvrage, de la structure et des matériaux permettant de satisfaire à une classe de ductilité donnée augmentent avec la ductilité et le coefficient de comportement.

Une structure dissipative (et donc une ductilité moyenne à élevée) est à privilégier pour la réponse à une sollicitation sismique. Aussi bien le béton, que l'acier et le bois disposent de réponses techniques éprouvées et maîtrisées permettant d'atteindre un niveau de ductilité satisfaisant.

02 . 4

Approche globale de l'ouvrage et de la mixité

Un principe important : la classe de ductilité de l'ouvrage est définie pour l'ouvrage dans sa globalité et non individuellement pour chaque partie d'ouvrage.

- Il convient donc, que l'approche soit mono-technologie ou en mixité, de définir la classe de ductilité globale de l'ouvrage en fonction de la classe de ductilité la plus faible des diverses parties d'ouvrages formant la structure. De même, il convient de choisir et d'appliquer une méthode et un modèle de dimensionnement unique afin d'assurer la cohérence.

- dans la pratique, avec la prise en compte des critères de régularité et de

ductilité des diverses parties d'ouvrage, il est fréquent que le coefficient de comportement soit limité à 1,5 ou 2,0

Par ailleurs, la recherche d'un certain niveau de ductilité impliquant également des déformations plus importantes sous sollicitations sismiques, une attention particulière doit être apportée :

- à l'influence des déplacements inter-étages sur les éléments de second œuvre tels que les façades ;
- aux éventuels joints de dilatation du bâtiment afin d'éviter un entrechoc, les deux parties de l'ouvrage de part et d'autre du joint de dilatation pouvant osciller en opposition de phase et donc se rapprocher dans le cas défavorable.

Enfin, les approches en mixité utilisant des solutions bois pouvant conduire par exemple à des façades à ossature bois autoportantes sur une structure poteau-poutre-dalle béton, le comportement des éléments non structuraux (ENS) sous sollicitation sismique doit également être vérifié. On pourra à cet effet se référer au *Guide de dimensionnement des éléments non structuraux du cadre bâti pour bâtiment à risque normal* (dit « Guide ENS PS ») ou encore aux *Recommandations Professionnelles RAGE Façades ossature bois non porteuses*.

02 . 5

Apport de la mixité

Une approche de la conception de l'ouvrage en mixité permet de combiner les apports des divers matériaux et

technologies, p.ex. la légèreté d'une structure bois réduisant la masse mise en mouvement sous sollicitation



© B&K Structures, Engenuiti



© AIA Life Designers – AIA Ingénierie

sismique avec la rigidité apportée par un voile de contreventement ou un noyau béton ou l'esthétisme d'une palée de contreventement métallique.

03

Allier esthétique et optimisation de matière pour porter loin

Le franchissement de portées importantes et/ou la reprise de charges importantes est un enjeu fréquemment présent dans la conception de l'ouvrage. Le poids propre de la structure elle-même est alors un élément important. En outre l'exigence de portée structurale est fréquemment combinée aux autres objectifs de performance de l'ouvrage (incendie, acoustique, thermique, ...).

03 . 1

Enjeux

→ Alléger la structure et/ou limiter une retombée ou une épaisseur globale, tout en répondant à l'exigence de charges et portées

→ Révéler la structure et/ou jouer sur l'aspect des matériaux

→ Porter loin tout en répondant aux autres objectifs de performance de l'ouvrage (incendie, acoustique, thermique, ...)



© Wingårdh Arkitektkontor AB, Göteborg

Une approche de conception en mixité avec le bois peut permettre de répondre à ces problématiques combinant exigence élevée en termes de charges à reprendre ou de portée à franchir, optimisation de la matière et esthétique de l'ouvrage.

03 . 2

Poutre sous tendue ou treillis mixte



Crédit : Atelier WOLFF ; Caillaud ; Fargeot

L'alliance de la légèreté du bois avec les performances de résistance de l'acier dans une structure triangulée permet de tirer profit des apports respectifs de chaque matériau positionné dans un rôle fortement pertinent, tout en allégeant fortement la structure et en permettant une grande liberté esthétique.

03 . 3

Intégration de porteurs métalliques dans structure poteaux-poutres bois

Les performances mécaniques de l'acier permettent d'insérer des porteurs de hauteur (retombée) faible là où d'autres



© Atelier WOA - Nexity

matériaux comme par exemple ceux à base de bois nécessiteraient ponctuellement une section plus importante, permettant ainsi d'éviter des ruptures du plan du plafond.

03 . 4

Assemblages bois-métal

La construction métallique et la construction bois ont notamment en commun des solutions courantes d'assemblages par boulons (ou équivalent), facilitant la gestion de leur interface. Les structures bois sont coutumières de l'utilisation d'assemblage bois-métal, qui peuvent devenir partie intégrante de la signature architecturale de la structure.



© Fargeot LC - Arbonis

03 . 5

Plancher mixte bois-béton

La table de compression en béton apporte sa rigidité et sa résistance à la compression. Les nervures (ou plancher massif) en bois apportent leur résistance à la traction et à la flexion. La connexion des deux éléments apporte l'inertie mécanique qui permet la reprise des charges sur une portée importante. L'hybridation permet de limiter l'épaisseur de la dalle béton aux 6 à 12 cm suffisants pour apporter la performance au feu et contribuer efficacement à l'isolement acoustique. Le système mixte permet d'atteindre un niveau de chargement et de portée que chaque élément pris individuellement avec les mêmes sections ne pourrait atteindre.



© Leclercq et Associés - ICM Structure (AIA Ingénierie)



© Leclercq et Associés - ICM Structure (AIA Ingénierie)

04

Combiner en superposant ou juxtaposant

L'ajout d'une structure complémentaire (extension du bâtiment) à un bâtiment (existant ou neuf), la modification de son usage initial, ou tout simplement les conditions spécifiques au site de la construction posent parfois des problématiques spécifiques au concepteur.

04 . 1

Enjeux

- Contraintes liées à la structure inférieure existante ou à la portance du sol, qui ne permettent pas forcément de prendre en compte l'ajout ou la modification (charges supplémentaires, organisation spatiale de la structure, ...)
- Contraintes liées à l'accessibilité du chantier (accès, durée, encombrement)

116 Une approche de conception en mixité avec le bois peut permettre de répondre à ces problématiques tout en se conformant aux autres objectifs de performance de l'ouvrage (incendie, acoustique, thermique, ...).

04 . 2

Exemple de surélévation

La superposition d'une surélévation en structure bois, combinant ossature bois, poteau-poutre lamellé-collé, charpente support d'étanchéité et mur séparatif coupe-feu 2hrs en CLT a permis de rendre possible la rénovation/surélévation de la Maison Pour Tous de Saint Leu La Forêt (95). Les sondages géotechniques et l'étude de la structure béton existante de cette ancienne usine d'embouteillage d'eau de source, déjà modifiée une première fois par ajout d'un plancher intermédiaire collaborant mixte acier-béton, ont montré une réserve de capacité qui mettait en péril la faisabilité même de ce projet.

04 . 3

Exemple d'extension

Les possibilités de préfabrication et/ou de manoportabilité de la structure et de l'ossature bois permettent de solutionner des problématiques d'accessibilité par exemple à l'arrière d'une maison existante. Le poids propre peu important de la structure bois autorise en outre des travaux de fondations peu extensifs, voire l'utilisation de pieux métalliques vissés ou battus.



© Abbadie

04 . 4

Exemple de balcons/ coursives rapportés

Les possibilités en mixité bois et/ou métal offrent une variété de solutions et d'esthétiques possibles pour l'apport de balcons ou coursives extérieures, pouvant s'adapter aisément aux diverses contraintes du site ou du bâtiment.



© R2K architectes



05

Tirer profit de la mixité pour rénover ou réhabiliter

Les projets de rénovation, de réhabilitation ou de transformation sont fréquemment des projets complexes aux contraintes multiples, notamment en termes de capacité de la structure existante et d'accessibilité aux moyens de manutentions-lourds. L'indispensable mise à niveau réglementaire et normative apporte son lot complémentaire d'exigences. Ceci est notamment particulièrement présent dans le cas de transformation de combles en logements ou de réhabilitation lourde en conservant les murs et/ou la toiture p.ex. de bâtiments classés.

05 . 1

Enjeux

→ Exigences réglementaires (feu, acoustique) pour la nouvelle structure (séparatifs de logements, ...)

→ Contraintes liées à la capacité de la structure existante et de ses fondations de supporter les modifications lourdes (charges supplémentaires, organisation spatiale de la structure, ...)

→ Contraintes liées à l'accessibilité du chantier aux moyens de manutention lourds et aux engins de chantier

→ Réutilisation de poutres bois existantes d'un comble transformé

La flexibilité, la manoportabilité, la facilité de coupe à façon sur site des solutions bois offrent une grande variété de réponses à ces contraintes, qui plus est en filière sèche. L'alliance du bois au béton et à l'acier permet en outre de solutionner plus aisément les exigences complémentaires liées à l'ouvrage.

05 . 2

Transformation de combles réutilisant les poutres existantes

Un plancher mixte bois-béton permet de répondre plus aisément aux exigences réglementaires en termes de résistance au feu et d'isolement acoustique lors de la création d'un séparatif entre logements, tout en réutilisant les poutres existantes de la charpente des combles.

Un diagnostic préalable des poutres existantes est nécessaire, afin de définir ce que peuvent être leurs propriétés mécaniques attendues. L'ensemble de la structure peut être assemblé à l'aide



© Rotho Blaas

d'éléments manportables et taillés à façon sur site. Seul le pompage du béton nécessite un équipement spécifique.

05 . 3

Réhabilitation lourde avec façade classée



© Nailweb

La structure existante (façade classée) ne pouvant reprendre les charges de la nouvelle structure, une sous-structure porteuse bois indépendante, appuyée sur les fondations existantes (ou nouvellement créées), et finalement masquée par le doublage intérieur permet une solution élégante et techniquement fiable.

L'insertion de poutres métalliques permet de solutionner certains franchissements importants alors que le volume (hauteur disponible) est fortement contraint (p.ex. linteaux, porteurs intermédiaires devant être reportés sur les murs existants, ...).

06

Performance thermique

06 . 1

Enjeux

→ La satisfaction aux exigences de la Réglementation Thermique nécessite de concevoir des parois répondant à la fois à une exigence de limitation des déperditions de chaleurs (confort d'hiver) par le biais de parois à résistance thermique adaptée, d'un certain niveau d'étanchéité à l'air et de gestion des ponts thermiques linéiques et ponctuels pour limiter les déperditions additionnelles, et de prise en compte du confort d'été.

Dans ce domaine également, la mixité avec des solutions bois permet de répondre de manière adaptée et optimisée.

06 . 2

Apports de la mixité avec des solutions bois

Parois porteuses en panneaux massifs bois

Les parois à base de panneaux structuraux massifs bois (CLT, panneau cloué) s'apparentent dans leur conception aux parois en béton armé, et leur performance thermique est avant tout liée à la

performance de l'isolation thermique intérieure (ITI) ou extérieure (ITE). Dans les deux cas, la paroi porteuse dispose d'un certain degré d'étanchéité à l'air intrinsèque liée à sa massivité, limitant le traitement de l'étanchéité à l'air à la bonne gestion des points singuliers.

Le béton pourra amener son inertie thermique aux problématiques de confort d'été. Le bois pourra amener sa faible conductivité thermique pour améliorer la contribution de la paroi porteuse et ainsi soit améliorer la performance de la paroi à épaisseur (mur et isolant) égale, soit réduire l'épaisseur globale de la paroi et de l'isolation (gain possible de surface utile dans le cas des murs) à performance thermique équivalente, soit contribuer par combinaison des deux apports.

Parois porteuses à ossature bois

Les parois à ossature bois permettent l'insertion d'une isolation dans leur épaisseur (plénum) : on parle alors d'isolation répartie. Cette configuration permet à une paroi porteuse d'atteindre une résistance thermique élevée à épaisseur égale par rapport à une paroi porteuse massive non isolée. Un complément d'isolation intérieur (par exemple par isolation d'un vide technique entre la structure et le parement intérieur) ou extérieur est possible, permettant d'atteindre une résistance thermique élevée à épaisseur totale équivalente.

Dans une ossature bois fortement isolée, les pièces de bois forment en quelque sorte un pont thermique linéique. La conductivité thermique raisonnablement proche de celle de l'isolant (facteur 3 à

4 habituellement) permet de limiter cet impact, qui peut également être minimisé par l'ajout d'ITI et/ou d'ITE (p.ex. mur manteau), ou encore l'utilisation de poutres en I à base de bois dont la forme réduit fortement cet impact.

En outre, les possibilités et la qualité de la préfabrication de parois complètes fermées intérieur/extérieur, ainsi que l'intégration possible des menuiseries, permet la gestion intégrée de l'étanchéité à l'air et à l'eau, limitant le traitement de l'étanchéité à l'air à l'échelle de l'ouvrage à la bonne gestion des points singuliers. L'ensemble de ces possibilités s'appuie sur une expérience éprouvée de la construction thermiquement performante, et notamment de la construction passive.

Façade ossature bois non porteuse

Les systèmes à ossature bois offrent par ailleurs une solution de façade non porteuse particulièrement adaptée à une approche en mixité aussi bien en construction neuve qu'en réhabilitation.

La préfabrication poussée de ces éléments de façade pouvant intégrer les menuiseries et le revêtement extérieurs, embarquant l'ensemble de l'isolation et des traitements d'étanchéité à l'air et à l'eau en partie courante, jusqu'au support du parement intérieur, permet de circonscrire à un lot unique ou presque l'ensemble du traitement de l'enveloppe. Ces éléments préfabriqués s'appuient alors sur une structure principale poteau-poutre-dalle pouvant être en béton, métallique ou mixte, et qui permet de répondre aux exigences de performance de l'ouvrage en termes de structure et au niveau des cloisonnements intérieurs (séparatifs verticaux et horizontaux).

06 . 2

Au-delà du calcul thermique réglementaire : la notion de confort perçu

Le comportement hygrothermique naturel du matériau bois et des parois à base de bois apporte en outre un confort à l'usage non quantifié dans le calcul réglementaire, mais bien réel. Cette particularité peut encore être amplifiée par une conception de paroi perspirante dans laquelle l'équilibre hygrothermique et la gestion du transfert de vapeur d'eau sont traités sans film pare-vapeur, par un différentiel de perméabilité à la vapeur d'eau précis et maîtrisé (nécessitant une étude et une conception spécifique) entre la peau extérieure et la peau intérieure de l'ossature.

de la transmission des bruits d'impacts. Ces exigences se déclinent selon le type de local, et selon que le bruit provienne d'un local voisin ou de l'extérieur.

La particularité de ces exigences réside dans l'objectif de performance mesurée in situ, une fois l'ouvrage réalisé, ce qui donne une importance particulière au traitement des interfaces entre parois. En effet si les performances acoustiques des parois en partie courante sont habituellement connues, l'influence des transmissions latérales dépend de nombreux facteurs (type de parois, liaisons entre parois, ...) et n'est en général pas évaluée (voire évaluable) expérimentalement a priori.

La réponse à l'exigence réglementaire passe donc à la fois par le choix des parois mais aussi par une attention particulière au niveau de la conception des liaisons. Et ceci est vrai quelle que soit la technologie retenue pour la construction. Ceci nécessite fréquemment la réalisation d'une modélisation acoustique, sauf à pouvoir utiliser des solutions éprouvées de longue date.

→ Par ailleurs, les planchers à base de bois doivent satisfaire au critère vibratoire de l'Eurocode 5, afin de répondre à une exigence minimale de confort vibratoire dit confort à la marche.

07 . 2

Principes

Parois massives

De manière générale, les éléments massifs monolithiques avec une certaine masse

sont performants en termes d'isolement acoustique (bruit aérien), mais plus sensibles aux bruits d'impact (solide). La réponse aux exigences vis-à-vis des transmissions des bruits d'impact passe alors fréquemment par l'ajout de parements acoustiques désolidarisés (p.ex. plafond suspendu) ou absorbants (p.ex. revêtement de sol souple ou sur couche de désolidarisation). En outre les liaisons d'un plancher massif sur un mur massif peuvent générer des niveaux de transmissions latérales importants auquel le parement du plancher par exemple ne peut contribuer seul, pouvant nécessiter un traitement du parement du mur.

D'un point de vue du comportement vibratoire, les planchers massifs ayant par essence une masse relativement élevée, ils sont avant tout sensibles au risque de résonance, leur fréquence propre étant relativement basse et s'approchant ainsi de la fréquence de la marche. L'amélioration de leur comportement passe principalement par l'augmentation de leur masse et/ou de leur rigidité.

Parois à ossature

À l'opposé, les éléments à ossature, habituellement fermés de part et d'autre par un parement rapporté pouvant être désolidarisé, et dont le plénum peut en outre être isolé, sont performants en termes de transmission des bruits d'impacts (selon le principe dit de «masse-ressort-masse», l'ossature jouant le rôle de ressort et les parements celui des masses), mais peuvent manquer de masse pour être performants vis-à-vis du bruit aérien (effet tambour). La réponse aux exigences vis-à-vis de l'isolement acoustique passe alors fréquemment

par l'ajout de couches supplémentaires, idéalement désolidarisées, et de masse plus importante (p.ex. chape désolidarisée).

D'un point de vue du comportement vibratoire, les planchers à ossature étant par nature relativement légers, ils sont principalement sensibles aux vibrations hors plans et à la vitesse de propagation de l'onde de choc. L'augmentation de leur masse abaisse leur fréquence propre mais augmente l'amortissement et s'accompagne en général d'une augmentation nécessaire de leur rigidité. L'amélioration de leur comportement passe par la combinaison d'une augmentation de masse et de rigidité (p.ex. resserrage d'entraxe des solives), une augmentation de la rigidité du panneau de plancher, ou encore l'ajout d'élément de rigidification transversaux de type entretoises.

07 . 3

Apports de la mixité avec des solutions bois

La combinaison de masse rapportées (p.ex. béton, chape), d'augmentation de rigidité (p.ex. poutres métalliques porteuses des solives) et de parois bois peut permettre de répondre à la fois aux exigences de la réglementation acoustique et du critère vibratoire.

- Il existe de nombreuses solutions de parois qui ont été évaluées et validées pour leur comportement acoustique : on pourra à cet effet se reporter au *Catalogue Construction Bois* : www.catalogue-construction-bois.fr

07

Acoustique et confort vibratoire

07 . 1

Enjeux

→ La satisfaction aux exigences de la Réglementation Acoustique nécessite de concevoir des parois et leurs liaisons qui répondent à la fois à une exigence d'isolement acoustique (vis-à-vis des bruits aériens) et à une exigence de limitation

• Le comportement vibratoire des planchers à base de bois a fait l'objet de nombreux travaux de recherche pour développer des méthodes de conception éprouvées permettant de prendre en compte ce phénomène aussi bien pour des planchers massifs, que légers ou mixtes bois-béton.

07 . 4

Points de vigilance

Dans le domaine acoustique il convient d'apporter une attention particulière à la conception en amont, quelle que soit la technologie utilisée, et notamment d'observer les points de vigilance suivants :

- Prise en compte des transmissions latérales avec une attention particulière portée aux détails des jonctions entre parois
- Pour les bruits d'impact, l'affaiblissement ΔL des revêtements de sols est usuellement évalué sur support béton (sensible au bruit d'impact) : on ne peut donc pas prendre en compte directement ces valeurs qui seront probablement inférieures sur support bois

08

Sécurité vis-à-vis du risque d'incendie

08 . 1

Enjeux

→ Répondre aux exigences réglementaires visant à la sécurité des personnes en cas d'incendie qui s'articulent autour de trois thématiques :

- Réaction au feu : « est-ce que ça brûle et si oui comment ? » inflammabilité des matériaux et possible dégagement de fumées et/ou émission de gouttelettes
> Concerne principalement les revêtements intérieurs visibles (mais aussi la propagation du feu en façade)
- Résistance au feu : « combien de temps la structure peut-elle résister au feu ? ». On distingue la stabilité (tenue de la structure), la notion d'écran (étanchéité, limitation de la traversée de la paroi par le feu) et la notion d'isolation (protection des personnes du côté de la paroi opposé au feu).
> Concerne toutes les parois porteuses (verticales ou horizontales)
- Propagation du feu en façade : « quel est le risque qu'un feu passe d'un local à un autre par la façade ? » Ceci fait intervenir à la fois la résistance au feu de la paroi porteuse, la réaction au feu des matériaux composant la paroi, le positionnement

des menuiseries extérieures, les éventuels balcons ou casquettes, et la composition du revêtement de façade
> Concerne les murs extérieurs et façades

Les matériaux à base de bois sont certes combustibles et moyennement inflammables, leur comportement en situation d'incendie est connu, prédictible, et les solutions bois apportent à un projet en mixité des réponses appropriées aux diverses exigences.

08 . 2

Réaction au feu

Les matériaux à base de bois sont pour la plupart classés en Euroclasse D-s2,d0, ce qui peut se décrire par « moyennement inflammable, émission de fumée limitée, pas de gouttes », et correspond en général à l'ancien classement M3 ou M4 non gouttant.

Ce classement pouvant être limitatif dans les cas où l'on souhaite laisser le bois apparent (p.ex. dans les circulations), diverses solutions d'ignifugation ont été développées.

08 . 3

Résistance au feu

Le classement d'une paroi porteuse s'exprime dans la classification européenne en minutes (15, 30, 60, 90, 120) et non en heures comme dans la réglementation française, sans que cela

ne pose de problème de transcription. En outre, le classement distingue les notions de stabilité (durée de résistance mécanique) matérialisées par la lettre « R », d'étanchéité (durée de la fonction écran) matérialisée par la lettre « E », et d'isolation (durée de protection des personnes) matérialisée par la lettre « I ». La correspondance entre les dénominations historiques de la réglementation française et le classement européen (applicable d'un point de vue réglementaire) peut s'écrire comme suit, dans un exemple de résistance de 30 minutes :

- . R 30 correspond à SF 1/2hr (stable au feu)
- . (R)E 30 correspond à PF 1/2hr (pare-feu)
- . (R)EI 30 correspond à CF 1/2hr (coupe-feu)

Le comportement du bois, des matériaux à base de bois et des assemblages structuraux est connu et prédictible (voir plus loin).

Une structure bois se dimensionne au feu de manière fiable et peut aisément atteindre des durées de résistance de 30 et 60 minutes. Des protections par écran sont également possibles. Il existe des solutions permettant d'atteindre toutes les durées exigées par la réglementation, y compris au-delà de 60 minutes.

On pourra notamment se référer à l'Eurocode 5 partie 1-2 (feu) et à son Annexe Nationale française qui présente dans sa version 2019 de nombreuses solutions d'écran pour les parois à ossature. Les parois massives disposent d'appréciation de laboratoire agréé auxquelles il convient de se référer.

08 . 4

Propagation du feu en façade

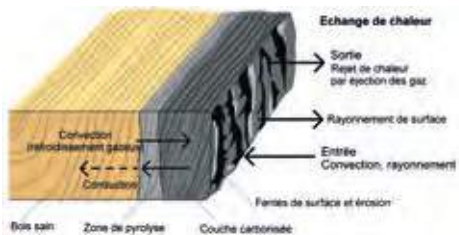
Ce domaine a fait (et continue de faire) l'objet de travaux importants pour fournir des solutions fiables, adaptées et conformes à la réglementation pour permettre le développement des façades (porteuses ou non) à base de bois. Il convient notamment de se référer au *Guide d'application de l'IT 249 « Bois construction et propagation du feu par les façades »*.

08 . 5

Comportement connu et prédictible du bois en situation d'incendie

En situation d'incendie, les caractéristiques mécaniques d'une pièce de bois sont maintenues pour un temps déterminé.

Sous l'influence du feu, une carbonisation se produit à la surface du bois. Le charbon de bois ainsi formé limite la pénétration de l'oxygène dans les couches inférieures et atténue fortement l'élévation en température.

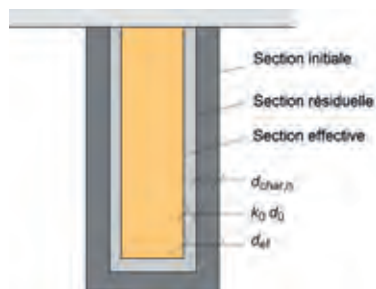


En conséquence, à l'exception d'une fine couche de quelques millimètres directement au contact de la zone carbonisée, la température centrale de la pièce de bois reste inférieure à 50°C, les propriétés mécaniques des matériaux à base de bois n'étant pas significativement réduites en-dessous de 110°C à 115°C. Il existe donc à tout instant une section résiduelle de bois qui conserve intégralement ses propriétés mécaniques.

La résistance au feu des ouvrages en bois est donc prédictible et maîtrisée en phase de conception, par un dimensionnement selon l'Eurocode 5 partie « feu » (NF EN 1995-1-2 et son Annexe Nationale), sur la base d'une vitesse de carbonisation se situant entre 0,6 et 0,8 mm/min pour la majorité des matériaux à base de bois.

Il est donc aisé pour le concepteur de vérifier si les sections satisfaisant aux vérifications en situation normale sont susceptibles de satisfaire à la durée de résistance au feu requise pour la typologie d'ouvrage visée, et dans le cas contraire, de prévoir la surépaisseur ou la protection adéquate pour y satisfaire.

Il est d'ailleurs fréquent que les sections d'une structure bois issues du dimensionnement en situation



normale (à froid) avec une réserve de capacité raisonnable soient suffisantes pour atteindre un degré de résistance au feu de 30 minutes sans surépaisseur ou protection.

Bien évidemment, la structure doit être vérifiée en tout point selon les conditions exactes du projet.

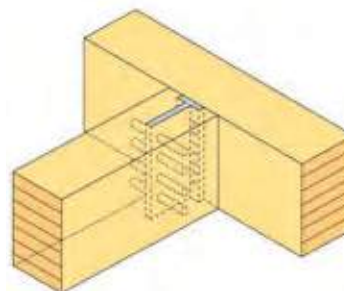
08 . 6

Protection des assemblages

De la même manière, le comportement en situation des assemblages bois-bois, bois-métal et par extension bois-béton par l'intermédiaire de ferrures métalliques est connu, maîtrisé et prédictible dès la phase de conception. La partie métallique étant fortement conductrice de la chaleur, elle peut rapidement être l'élément critique de l'assemblage en situation d'incendie.

Assemblages par connecteurs métalliques en âme et/ou masqués par le bois

La partie métallique de l'assemblage est insérée dans un élément bois (plaque en âme) et protégée par les éléments qu'elle assemble.



Le bois protège ces parties métalliques de la montée en température, à l'exception de la chaleur transmise par les organes d'assemblage, qu'il convient de protéger par des pastilles de protection en bois. Cette solution est souvent esthétiquement et économiquement très adaptée.

Assemblage par ferrure exposée au feu (plaques latérales)



On vérifie tout d'abord si l'assemblage peut satisfaire à l'exigence de résistance en situation d'incendie (voir p.ex. le *Guide de dimensionnement des assemblages de structure bois par ferrures métalliques* édité par le CODIFAB). Si tel n'est pas le cas, l'assemblage devra être protégé par des pièces en bois, des plaques de plâtre, ou tout autre matériau protecteur (p.ex. silicate de calcium comme dans l'illustration). Ces protections sont également dimensionnées dès la phase de conception selon l'Eurocode 5.

09

L'interface principale : les assemblages

09 . 1

Enjeux

Dans un ouvrage en mixité avec le bois, l'interface principale entre les différents matériaux est un assemblage structural, dont les enjeux principaux sont :

→ Assurer le transfert des efforts d'un matériau à un autre, donc d'une partie d'ouvrage à une autre

→ Être dimensionné de manière à satisfaire à sa fonction précise dans le contreventement global et/ou la conception parasismique (p.ex. avec un certain niveau de sur-résistance ou de ductilité)

→ La prise en compte dès la phase conception de son comportement vis-à-vis du risque incendie

→ La gestion de l'interface en termes de durabilité des matériaux, mais aussi le cas échéant d'étanchéité à l'air et/ou à l'eau ou de traversée éventuellement des parements intérieurs ou extérieurs.

09 . 2

La bonne nouvelle

L'ensemble des solutions et systèmes constructifs de structure bois s'appuient de longue date sur une expérience éprouvée et une maîtrise du dimensionnement des ancrages et assemblages bois-bois et bois-métal.

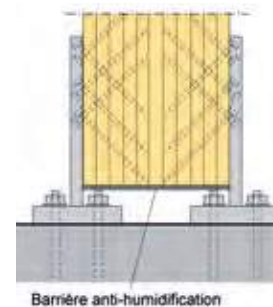
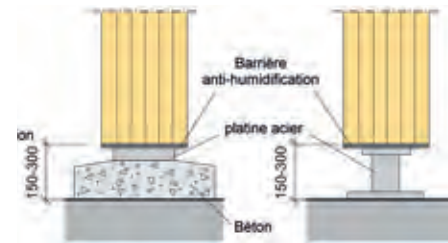
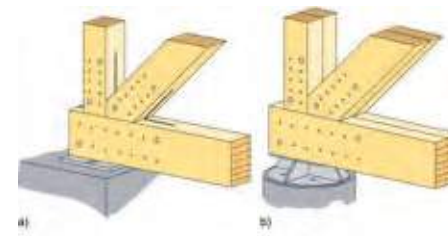
L'assemblage en structure bois est une structure mixte par essence. À l'exception des assemblages de charpente traditionnels (tenon-mortaise, queue d'aronde, embrèvement, cheville) réservés habituellement à des ouvrages de faible importance structurale, les assemblages structuraux bois-bois font systématiquement intervenir des organes de fixation métalliques et fréquemment des éléments métalliques (plaques, connecteurs tridimensionnels, ferrures mécano-soudées, ...).

L'assemblage bois-métal est donc un assemblage extrêmement courant, flexible et performant, bien maîtrisé et pouvant répondre aux enjeux (notamment vis-à-vis du risque d'incendie) tout en permettant des solutions esthétiques. L'interface bois-béton est sauf cas très particulier réalisée par l'intermission d'une ferrure métallique : l'assemblage bois-métal est courant, l'assemblage métal-béton est courant, par conséquent l'assemblage bois-béton ne pose pas de difficulté particulière. Il suffit simplement de prévoir des barrières anti-humidification (polyane, bande anti-capillarité, ...) pour éviter le contact direct du bois sur le béton, ou dans certaines configurations potentiellement piégeantes pour l'humidité (ou la condensation) dans certains assemblages bois-métal.

En outre, la construction bois s'appuie sur une expérience avérée dans la gestion de l'étanchéité à l'air et à l'eau et des interfaces de revêtements, aisément transposable aux interfaces avec les autres matériaux.

09 . 3

Exemples de solutions d'ancrages en pied



09 . 4

Points de vigilance

Les ancrages jouent un rôle structural prépondérant dans le contreventement de l'ouvrage et (le cas échéant) dans son comportement sous sollicitation sismique. Ils requièrent donc une attention particulière dès la phase de conception. Ceci inclut la gestion en amont des inserts dans le béton (platinas de pré-scèlement, ferrailage localisé, ...) tout en tenant compte des tolérances de mise en œuvre correspondantes.

Les tolérances d'exécution standard du gros-œuvre bois et du gros-œuvre béton pouvant différer de manière importante, il faut dès la conception :

- apporter en amont une attention particulière à leur interface ;
- bien spécifier les tolérances d'exécution attendues du gros-œuvre béton ;
- prévoir les ouvrages complémentaires d'interface entre lots (OCIL) permettant le recollement des tolérances respectives.

10

Conduite d'un projet en mixité

10 . 1

Enjeux

Qui dit mixité, dit en général plusieurs lots et entreprises, plusieurs domaines de compétence, plusieurs études et bureaux d'études, et une nécessité de coordination accrue, avec des acteurs ayant possiblement une culture et des habitudes et réflexes différents.

La réussite d'un projet en mixité nécessite que ces différences culturelles soient prises en compte et même anticipées, aussi bien par le maître d'œuvre que par l'ensemble des acteurs.

Ceci sous-entend que certaines solutions usuelles pour un corps de métier ne sont pas forcément transposables un pour un à un projet en mixité, et que chacun doit contribuer à la réussite du projet en acceptant de remettre en perspective les éléments techniques et organisationnels sous-jacents à ses habitudes de travail et en échangeant de manière proactive avec les autres acteurs.

10 . 2

Points de vigilance

Loin d'être une recette pour la réussite d'un projet en mixité qu'il suffirait de suivre pas à pas, les points de vigilance décrits ci-dessous n'en sont pas moins des éléments clés de la réussite d'un tel projet.

- Il est primordial de prendre en compte la mixité au plus tôt dans la conception de l'ouvrage et de la réponse au programme, et d'impliquer le plus tôt possible les acteurs des diverses technologies envisagées pour créer l'émulation collective qui permettra le succès du projet.
- Il est recommandable que les études soient pilotées par le matériau le plus représenté, voire de créer un macro-lot, qui créera de fait une synergie positive et un niveau d'échange entre acteurs plus élevé.
- Le projet ne peut que bénéficier d'avoir bâti une équipe projet en amont qui soit complémentaire de par ses compétences, et que le projet en mixité soit aussi reconnu en tant que tel et matérialisé par la mixité de l'équipe projet.
- Il convient de choisir et d'appliquer une méthode et un modèle de dimensionnement global unique à l'ouvrage afin d'assurer la cohérence de la conception pour l'ensemble des lots et technologies. En zone sismique, il convient de définir la classe de ductilité globale de l'ouvrage en fonction de la classe de ductilité la plus faible des diverses parties d'ouvrages formant la structure.
- Il est recommandable de prendre en compte très en amont et dès la conception de l'infrastructure les ouvrages bois et métal et leurs sujétions respectives.
- Il est important de confronter très tôt les tolérances de fabrication et de mise en œuvre des divers corps de métier et technologies. Les tolérances d'exécution standard du gros-œuvre bois et du gros-œuvre béton pouvant différer de manière importante, il faut dès la conception :
 - apporter en amont une attention particulière à leur interface ;
 - bien spécifier les tolérances d'exécution attendues du gros-œuvre béton ;
 - prévoir les ouvrages complémentaires d'interface entre lots (OCIL) éventuellement nécessaire (on pourra se référer à la norme XP P16-202) et permettant le recollement des tolérances respectives et de définir avec précision les modalités d'interfaçage.
- Une attention particulière doit être portée à la gestion des plannings des différents corps de métiers, et à l'interaction entre les diverses entreprises de structure. Les durées de réalisation, possibilités de préfabrication, éventuels temps de séchage ou d'attente diffèrent fortement entre les technologies et doivent être anticipés.
- Cette gestion adaptée du planning doit également comporter une réflexion sur la gestion de l'humidité en phase chantier en relation avec celui-ci. De nombreux produits à base de bois sont issus de process permettant la fabrication de produits secs, à tolérance précise, qu'il convient de ne

pas exposer de manière prolongée sans protection adaptée aux intempéries.

- Un projet en mixité avec le bois peut également impliquer d'avoir une réflexion en amont et une action en cours de construction sur la gestion du risque d'incendie en phase chantier, notamment lorsque le second-œuvre commence à intervenir sur chantier. Il est ainsi recommandable d'élaborer un plan de prévention, qui ne sera autre qu'un guide des bonnes pratiques accompagné d'éléments pour la sensibilisation de tous les acteurs du chantier (gestion des déchets, travaux utilisant des sources de combustion à proximité d'éléments bois, ...)
- Un projet en mixité avec le bois peut également impliquer d'avoir une réflexion en amont et une sensibilisation des acteurs du second œuvre sur les éventuelles interactions qu'ils peuvent avoir avec l'ouvrage bois (gestion des percements ou découpes non prévus, attention portée aux éventuelles membranes pare-vapeur, ...) : le bois n'est ni du béton, ni de l'acier. C'est différent, donc on ne peut pas procéder comme on le fait habituellement sans se poser la question des conséquences inattendues.

De manière générale, il est important que chaque acteur porte un regard à 360° en fonction de l'ensemble des exigences et habitudes et que le dialogue se noue pour anticiper les incompréhensions et les problématiques en découlant.

La mIXité, DEmaiN

Claire Leloy,
Véronique Klimine,
Frank Kupferlé

La piste est ambitieuse. Et traversée de multiples aspects, en lien avec l'ouvrage bâti : performances, stabilité, mise en œuvre, pérennité, économie, confort.

La piste est aussi porteuse de voies de progrès, en lien avec notre société, ses défis et ses injonctions. Alors, les enjeux d'économie de matières, de réemploi, de durabilité, de bien-être de l'utilisateur, de réversibilité... peuvent trouver un terrain de réflexion et de solution avec la mixité.

Vous l'aurez compris, ce recueil sur la mixité est un premier pas dans un vaste domaine. Ce premier pas est l'occasion de se poser les questions d'un mieux construire et du «bon matériau au bon endroit». Il permet aussi et surtout de s'interroger sur les possibles de chaque technique et de pousser plus loin encore l'efficacité de l'ensemble.

Cet ouvrage collectif offre enfin l'occasion de remettre la structure en valeur, de la replacer –colonne vertébrale, nerfs, muscle, épiderme de l'ouvrage – au cœur du bâtiment et de lui redonner son sens, de la rendre à la fois plus sûre, utile et visible. Plus lisible.

L'innovation que nous avons commencé à percevoir avec le mélange des systèmes et solutions ouvre un champ plus large sur la complémentarité. Pour l'efficacité des chantiers nous commençons à ainsi entrevoir la mixité des parties d'ouvrage, érigées sur site, et des entités intégralement réalisées en atelier hors site (avec les modules 3D, voire 4D). En réhabilitation, des adjonctions légères viennent d'ores et déjà se pluger sur des bâtiments anciens. Pour favoriser la conception de bâtiments entièrement modulables, les trames structurales et

techniques vont intégrer des éléments finis interchangeables (cloisons enrichies de fonctions, unités fonctionnelles 3D). Cette interchangeabilité dessine les prémises d'une avancée considérable pour le devenir du bâtiment, avec une offre qui porte aussi l'attention sur les besoins du client.

Au cœur des ouvrages, les systèmes d'assemblages pourraient bien nous mener vers de nouvelles solutions. Pour cela, un enrichissement technologique des possibilités en termes de connexions et d'assemblages permettant le plug and play dans le bâtiment, comme il a été traité dans d'autres filières – l'industrie automobile en premier lieu - pourrait offrir des solutions simplifiées et réversibles où la «connexion» deviendrait «simple branchement». Une approche qui devient possible avec le BIM, facilitant le dialogue entre les matériaux, les systèmes mais aussi les compétences. Cette opportunité qui nous est faite propose à la mixité un lieu de métissage entre les matériaux, entre les métiers et les usages.

Le travail qui nous attend dans les années à venir repose dès lors sur la recherche d'équilibre, d'harmonie et d'esthétique. Nous parlons ici de rationalisation, d'optimisation de combinaison des matériaux. Sur ce terrain, l'histoire nous offre des siècles de retour d'expérience. Nous parlons aussi de raison, avec la nécessité d'utiliser mieux les performances de chaque solution, de sorte à mieux répondre à l'ensemble des défis qui s'impose aujourd'hui au bâtiment, au quartier, à la ville. Il s'agit de structures et de technique, mais de bien plus encore.

La mixité va de pair avec une utilisation raisonnée des ressources, en réponse à l'urgence environnementale et à l'appauvrissement des sols ; cette raison environnementale n'est pas si éloignée de la raison économique, vers des réponses rationnelles, réalisables, reproductibles voir biomimétiques. Cet équilibre est bien entendu aussi celui des formes, des volumes, des sens, qui dialoguent avec un environnement direct et présagent de la vie qui s'y déroulera, et y évoluera. Ce travail collectif a ausculté la dialectique qui s'opère lorsqu'il s'agit de mêler les matériaux, les métiers, les hommes et les femmes qui regardent vers l'avenir. Le dialogue ne fait que commencer. Il faut le poursuivre. L'étape suivante se déroulera avec chacun de nous, pour imaginer plus loin la mixité de demain.

Aller plus loin...

Mixité

- **Mémoire** de fin d'études, Jennifer REIN
- **Recommandations professionnelles RAGE** – Chapes et dalles sur plancher bois – Neuf / Rénovation (voir aussi le Calepin de chantier sur le même thème)
Disponible sur programmepacte.fr/catalogue
- **Recommandations Professionnelles RAGE** – Façades Ossature Bois non porteuses - Neuf
Disponible sur programmepacte.fr/catalogue
- **Recommandations Professionnelles RAGE** – Planchers mixtes bois béton – Mise en œuvre et isolation – Neuf/Rénovation
Disponible sur programmepacte.fr/catalogue
- **Mise en œuvre / Calepins de chantier** – Planchers mixtes bois/béton.
Disponible sur programmepacte.fr/planchers-mixtes-bois-beton-calepin-de-chantier
- **Façades à ossature bois** – Dossier thématique par CNDB.
Disponibles sur www.cndb.org/boite-a-outils-documentation/facadesbois/
- **Colloque Mixité** – Conférence
Disponible sur www.cndb.org/boite-a-outils-documentation/conferences/

Assemblages

- **Guide pratique** – Dimensionnement des assemblages par ferrures métalliques conformément aux Eurocodes.
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois
- **Guide pratique** – Dimensionnement simplifié des assemblages par tiges à froid conformément aux Eurocodes.
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois
- **Guide pratique** – Dimensionnement au feu des assemblages courants de structures bois par tiges conformément aux Eurocodes.
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois
- **Etude technico-économique** – Assemblages innovants pour structures bois
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois

Systèmes structuraux bois

- **Manuel du Bois Lamellé**, Volume 2 (Conception – Approche Technique)
Disponible sur glulam.org/handbook/
- **Catalogue Bois construction** – Catalogue des solutions constructives
Consultable sur : <https://catalogue-construction-bois.fr/>
- **Guide RAGE** – Panneaux massifs bois contrecollés
Disponible sur programmepacte.fr/catalogue

Points d'attention

- **Ambiances sensibles** - Bois lamellé et ambiances agressives
Disponible sur glulam.org
- **Balcons et coursives bois** - BA-BOIS Balcons et Coursives (CNDB)
Disponible sur cndb.org/boite-a-outils-documentation/
- **Sécurité incendie** - Guide d'application de l'IT 249 : bois construction et propagation au feu en façade
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois ou sur BATIPEDIA
- **Sécurité incendie** - Guide pratique – Règles de la sécurité incendie à l'usage du charpentier constructeur bois
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois
- **Performance thermique** - Guide de conception EFFINOV'BOIS
« Systèmes constructifs bois pour la réhabilitation des enveloppes »
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois
- **Performance acoustique** - Étude ACOUBOIS : performance acoustique des constructions à ossature bois
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois
- Note de positionnement sur la classe de service des charpentes en bois lamellé collé des halles de piscine
Disponible sur codifab.fr/actions-collectives/bois

Béton... Métal... Bois... Biosourcés...

**L'étape suivante se déroulera avec chacun de vous,
pour imaginer plus loin la mixité de demain.**

Cet ouvrage a été réalisé à l'initiative de l'Union des Industriels et Constructeurs Bois (UICB) en partenariat avec l'Union des Métiers du Bois (FFB), avec le soutien du CODIFAB.

Il est le fruit d'un travail collectif, mené par une équipe pluridisciplinaire et a été rédigé par Véronique KLIMINE, Frank KUPFERLÉ et Claire LELOY, avec le concours d'un grand nombre d'acteurs (maîtres d'ouvrages, architectes, bureaux d'étude...) que nous remercions ici pour leur aide, leur implication et leur volonté de transmettre leur expérience.

Agence LEMAY, architecture et design ; Anaïs TOUSSAINT, Icade ; Béatrice VIVIEN, architecte Atelier Virtuel ; Charles-Henri MATHIS, consultant ; Christine LE NOUY, SCMF ; Clément QUINEAU, UICB ; David BRUCHON, Icade ; David CRASNIER, Groupe Briand ; Delphine RENARDET, journaliste ; Dominique MILLEREUX ; Eric PUZENAT, Ateliers 2/3/4/ ; Florence BANNIER, CTICM ; Frédéric ROSSI, Esteara ; Grégoire ZÜNDEL, Atelier Zundel Cristea ; Grégory DE CARVALHO, INNOVIA ; Hervé ABBADIE, photographe ; Isabelle DE POLO DOMANGE, consultante ; Jacques BOUILLOT, Eiffage ; Jacques FERRIER, Jacques FERRIER Architecture ; Jean-Marc WEILL, C&E Construction & Environnement ; Jean-Paul RODA, RODA architectures ; Jean-Pierre PORCHER, photographe ; Julien BRISEBOURG, Bouygues Immobilier ; Julien LAMOULIE, FCBA ; Loïc ROBIN, Metsa Wood ; Marc-Henri MAXIT, Atelier WOA ; Michel PERRIN, consultant ; Olivier FASSIO, BFV Architectes ; Olivier HAUSS, Sedime ; Pascal BONAUD, CTICM ; Pascale POIRIER, agence Fabienne BULLE Architecte et Associés ; Paul KOZLOWSKI, photographe ; Rémy THEPAUT, Bouygues Construction ; Renaud BLONDEAU-PATISSIER, Woodeum ; Rodolphe MAUFRONT, UMB-FFB ; Romain CANLER, UICB ; Steven WARE, Art&Build ; Sylvain ROCHET, Teckicea ; Victor MIGET, journaliste

Et aussi...

Vilogia, Nexity, la Région Ile de France, AZC, l'Eurométropole de Strasbourg, la Ville de Paris, le Syndicat Intercommunal du Pays d'Alby, Village Nature Paris, l'AIMCC, groupe Buellens, Quartus, Pierre et Vacances-Center Parcs & Euro Disney S.C.A, Actis....

Financé par :



À l'initiative de :



Béton... Métal... Bois... Biosourcés...
L'étape suivante se déroulera avec chacun de vous,
pour imaginer plus loin la mixité de demain.

Financé par :



À l'initiative de :

