



Comité professionnel de Développement
des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois
120 avenue Ledru-Rollin
75011 Paris

ETUDES PREALABLES
AU LANCEMENT DU PROGRAMME PUCA A DIVBOIS
ETUDE VIRTUELLE DE 3 SYSTEMES CONSTRUCTIFS

Sommaire

1	Objet / Objectifs de l'étude	3
2	Données d'entrée et définition de l'immeuble type.....	3
2.1	Définition de l'immeuble type.....	4
2.2	Données architecturales.....	4
3	Typologie de structure	4
4	Hypothèses et critères de dimensionnement	5
4.1	Règlementation et normes	5
4.2	Matériau	5
4.3	Charges appliquées sur la structure	5
4.4	Autres Critères	6
4.4.1	Critères d'aptitude au service	6
5	Méthode d'étude / moyens	8
5.1	Modèle géométrique.....	8
5.2	Modèle de calcul de structure.....	8
6	Points à étudier	8
7	Livrables / attendus	12
8	Délais d'étude / Equipe.....	12
8.1	Délais d'études.....	12
8.2	Suivi de la prestation	12
8.3	Compétences / références de l'équipe	13
9	Présentation de l'offre	13
10	Modalités de réponses.....	14

1 Objet / Objectifs de l'étude

L'objet de la consultation concerne la réalisation de 3 études de cas d'immeuble type en bois massif BGH. Chacune des 3 études de cas envisage un système structurel / usages différent :

- Cas 1 : Hôtel + Bureaux avec une structure en poteaux/poutres lamellé collé,
- Cas 2 : Logements avec une structure en CLT (noyau + refends),
- Cas 3 : Bureaux avec une structure en exosquelette ou « colombages ».

L'objectif de ces études est avant tout de contribuer à la rédaction du guide de recommandations PUCA :

- Proposer une solution technique pour chaque étude de cas, argumenter techniquement sur la « hauteur maximale » atteignable et le degré possible de bois "apparent" pour le système constructif étudié,
- Identifier les points particuliers/critiques qui devront apparaître dans le guide de recommandations PUCA,
- Proposer une rédaction spécifique pour chaque point particulier/critique pour insertion dans le guide de recommandations PUCA.
- Identifier les études et/ou essais à mener dans la deuxième phase du travail de la commission technique. Ces études/essais doivent servir pour lever les points bloquant ainsi que d'identifier les évolutions réglementaires qui pourraient être nécessaires.

2 Données d'entrée et définition de l'immeuble type

Les données d'entrée de ces études de cas sont les suivantes :

- Travaux des différents ateliers constitués par la Commission technique ADIVBois,
- Résultats éventuellement disponibles de l'étude de parangonnage sachant que cette étude est lancée en parallèle des études de cas,
- Plans de définition de l'immeuble type servant de support à chacune des études.

2.1 Définition de l'immeuble type

L'immeuble type proposé est un immeuble de 49m de hauteur. La hauteur prévue entre les étages est de l'ordre de 3.00 m. Les dimensions des étages sont :

- De R+1 à R+7, étages avec une dimension totale de 22.0 m x 27.4 m avec une partie extérieure d'environ 2.5 m de large.
- Au-dessus de R+7, étages avec une dimension de 22.0 m x 27.4 m de partie intérieure avec des balcons qui varient en dimensions et position selon les étages.

Cet immeuble type servira de base pour les trois études de cas, sa hauteur totale pourra être différente selon le système structurel proposé. Pour chaque étude de cas, il sera nécessaire de proposer un système structural adéquat suivant la trame de l'immeuble proposé.

2.2 Données architecturales

Au-delà des caractéristiques géométriques de l'immeuble servant de base aux trois études de cas, définies en Annexe 1 au présent document, l'Annexe 2 présente les données et contraintes architecturales à prendre en compte.

3 Typologie de structure

Trois typologies de structure sont à considérer, chaque typologie correspondant à une étude de cas :

- a) Poteaux/poutres lamellés collés,
- b) CLT,
- c) Poutres Treillis (exosquelette ou « colombages »).

Pour chacune des 3 études, l'objet est de déterminer la hauteur maximale de l'ouvrage en structure et plancher 100% bois.

4 Hypothèses et critères de dimensionnement

4.1 Règlementation et normes

Les exigences réglementaires françaises en matière de structure, séisme, incendie, thermique, acoustique... seront respectées.

La réglementation en matière de sécurité incendie sera :

- Arrêté du 31 janvier 1986, révisé, pour l'immeuble de logement,
- Arrêté du 30 décembre 2011 pour les immeubles hôtels et bureaux,
- Arrêtés en vigueur en matière de réaction et résistance au feu.

Le dimensionnement des structures sera conforme aux :

- Eurocodes,
- Avis techniques matériaux.

Tout en priorisant l'utilisation des règles et normes françaises, il est possible d'envisager l'utilisation des normes étrangères si celles-ci permettent de combler un vide normatif. Une analyse de ces normes devra être effectuée (compatibilité avec les normes françaises, points en désaccord...).

4.2 Matériau

La structure du bâtiment doit être 100 % bois, sauf s'il est démontré, dans le cadre de la discussion sur la performance du système constructif étudié et de la « hauteur maximale » atteignable, qu'une variante avec une structure mixte est nécessaire.

4.3 Charges appliquées sur la structure

Les charges sont à définir suivant les Eurocodes correspondant aux destinations envisagées pour chacune des études :

1. Charges permanentes,
2. Charges d'exploitation,
3. Charges Climatiques et sismiques :
Les études sont menées sur la base d'une configuration théorique en région 3 (Vitesse de référence 28m/s²) pour le vent et en Zone 4 (moyenne) pour l'aléa sismique.
4. Type de Sol → Classe B.

L'impact d'hypothèses climatiques/sismiques/sol différentes peuvent être évaluées dans la discussion sur la hauteur maximale atteignable.

4.4 Autres Critères

L'ensemble des critères de dimensionnement devront être conformes au corpus Eurocodes et ses Annexes nationales.

Si toutefois les calculs et modélisations menées dans le cadre de l'étude de cas sortaient clairement du champ d'application d'une partie des Eurocodes, l'étude proposera une méthode alternative de calcul/dimensionnement respectant les principes de l'Eurocode concerné.

Il sera possible de proposer des dérogations dûment justifiées des critères détaillés ci-dessous, si les études de sensibilité qui seront menées le suggèrent.

Les critères suivants, spécifiques aux bâtiments en Bois de Grande Hauteur (BGH) seront appliqués :

4.4.1 Critères d'aptitude au service

Les critères ci-dessous de déformation et d'accélération des éléments de structure doivent être vérifiés, étant entendu que plusieurs critères peuvent s'appliquer à un même élément de structure.

4.4.1.1 Déformations des ouvrages

a. Conditions de déformations

Le dimensionnement des éléments structurels sera effectué de façon à ce que ces éléments assurent le bon comportement des murs, cloisons, revêtements et aménagements de toutes natures. Les structures seront calculées et vérifiées sur la base des normes citées au §4.1.

Les poutres et planchers supportant des cloisons ou revêtements fragiles (tels que façades, cloisons fragiles, zones carrelées, etc.), devront respecter le critère de flèche nuisible applicable aux structures défini et calculé suivant la méthode suivante (critère à adapter selon le type de façade cf point 6.11) :

3 - Limite de flèche associée à la flèche nuisible calculée selon la méthode conventionnelle ci-dessus

Cette limite, déduite de celle donnée au § 7.4.1 (5), est fixée en fonction de la seule distance entre nus de l'élément étudié, soit l :

Si $l \leq 7$ m : la limite est $l / 500$

Si $l > 7$ m : la limite est $1,4 \text{ cm} + (l - 7\text{m}) / 1000$

Il est précisé que la flèche nuisible est la flèche court terme et long terme se produisant après pose des éléments fragiles, sous les effets des charges permanentes complémentaires et des charges variables. Cette flèche sera déterminée en tenant compte des tassements différentiels d'appuis.

On précise que :

- Dans les zones de bureaux, les cloisons et revêtements sur les planchers du projet (cloisons des preneurs) sont réputés être « non fragiles » et ne nécessitent pas de limitation de la flèche nuisible ;
- Pour les poutres de rives qui supportent les façades, le critère de flèche nuisible s'applique.

b. Flèches verticales des éléments horizontaux

La flèche ELS quasi-permanente sera limitée pour tous les horizontaux du projet à L/250.

c. Déplacements horizontaux

Sous l'effet des chargements latéraux, le déplacement théorique par rapport à la verticale ne devra pas excéder le $1/300^{\text{ème}}$ de la hauteur du niveau considéré. Sous les effets du vent le déplacement différentiel entre deux poteaux consécutifs est limité à H/300.

d. Critères de vibration des poutres et planchers

Du fait de leurs grandes portées et de leur souplesse intrinsèque, tous les planchers à ossature bois du BGH devront faire l'objet d'études visant à démontrer un niveau de confort acceptable sous sollicitations dynamiques.

4.4.1.2 Prise en compte des effets du vent

(i) Calcul des déplacements

Pour le calcul des déplacements de la tour (calcul ELS), les efforts de vent à prendre en compte correspondent aux cas de charges statique + dynamique déterminés selon les règles Eurocodes. Un coefficient de pondération de 1 sera appliqué lorsque le vent est pris comme action variable de base. L'incidence de vent la plus défavorable vis-à-vis des déplacements sera retenue de manière systématique. On s'assurera du respect des critères suivants :

- Flèche horizontale totale (statique + dynamique) en tête de l'ensemble « ouvrage de couverture + socle + IGH » limitée au 500ème de la hauteur totale « ouvrage + socle + IGH » ;
- Flèche différentielle entre deux étages consécutifs, sous l'action du vent, limitée au 500ème de la hauteur entre étages pour éviter l'endommagement des façades.

Vis-à-vis du séisme il convient de respecter le chapitre §4.4.3.2 de l'Eurocode 8.

(ii) Calcul des accélérations

Le calcul des accélérations en tête de tour sera fait à l'état limite de service et on supposera que la tour est occupée pendant 50 % du temps. Un coefficient de pondération de 1 sera appliqué lorsque le vent est pris comme action variable de base.

Pour le calcul de fréquences propres du bâtiment vis-à-vis de ce calcul, on prendra en compte 20% de la masse relative aux charges d'exploitation en supplément des charges permanentes.

On s'assurera que l'événement "accélération en tête de tour supérieure à 20 milli - g, la tour étant occupée" a une période de retour supérieure à 10 ans.

5 Méthode d'étude / moyens

5.1 Modèle géométrique

Le modèle géométrique est à construire sur la base des documents tels que fournis en annexe pour chacune des études. Il sera restitué (cf. Livrables) sous un format ifc.

Dans ce modèle géométrique il faut bien différencier la nature (voiles, dalles, poutres...) et la qualité du bois des différents éléments.

5.2 Modèle de calcul de structure

L'établissement d'un modèle de calcul 3D est nécessaire pour le déroulement de ces études. Les logiciels reconnus utilisés devront permettre des études dynamiques et des calculs non linéaires.

6 Points à étudier

1. Dimensionnement du design :
 - a. Etablissement d'un bordereau des quantités,
2. Définition du complexe plancher et justification :
 - a. Détail des performances (acoustique, vis-à-vis du feu – voir point 10 ci-après),
 - b. Confort (vibration de plancher) : Préconisations pour la mesure in-situ de la réponse dynamique du plancher en termes de fréquence, masse modale, amortissement (capteurs –type et nombre-, points de mesure, phasage des mesures de la phase chantier à la livraison du bâtiment, présentation des résultats...),

3. Modélisation des assemblages :
 - a. Comment sont-ils modélisés ?
 - b. Impact de la raideur des assemblages sur le calcul de la structure (global/local). Réalisation d'une étude paramétrique (étude de sensibilité). Une méthode consistante devrait être utilisée pour calculer les valeurs de rigidité, de sorte qu'elles soient compatibles dans la modélisation et l'analyse numérique. Le modèle servant au calcul des efforts internes dans la structure doit prendre en compte les effets des déformations des assemblages.
 - c. Faisabilité de la connexion telle que modélisées.
 - d. Prise en compte du jeu des assemblages.

4. Etudes de sensibilité, discussion et proposition de définition de l'amortissement structural à prendre en compte pour le système étudié. Préconisations pour la mesure in-situ du comportement dynamique du bâtiment dans sa globalité (modes propres de vibration et amortissement).

Nota (source FPIInnovations) : Sur la base des données d'amortissement limitées mesurées jusqu'ici, il semble raisonnable d'utiliser 3 % pour l'amortissement visqueux critique pour la conception contre les effets du vent. En ce qui a trait à la conception sismique, il est recommandé que le coefficient d'amortissement visqueux équivalent à 5 % (pour les analyses linéaires).

5. Prise en compte du fluage et le retrait :
 - a. Des poteaux en utilisant une loi de fluage et un module différé ; Impact sur le design de ces méthodes ; Analyse de la durée du chargement,
 - b. Sur les systèmes de contreventement, notamment pour le dimensionnement et flambement des panneaux CLT,
 - c. Prise en compte de l'hygrométrie lors de la construction et impact sur le design.
6. Etude de l'influence de la prise en compte des propriétés de rigidité de matériaux, qui sont différents en fonction de la sollicitation.
7. Proposition de différentes modélisations du matériau bois.

8. Calculs relatifs à la sécurité incendie :
La conception de chaque bâtiment, y compris les éléments de second œuvre, devra soit être conforme aux exigences réglementaires "descriptives" contenues dans la réglementation concernée (voir § 4.1), soit démontrer qu'elle apporte un niveau de sécurité au moins égale à une solution totalement "réglementaire" (application de l'ingénierie de la sécurité incendie conformément à l'article 105 de l'arrêté du 31/1/1986 ou de la note d'information du 18/1/2015 du ministère de l'intérieur pour les IGH).

Des variantes seront proposées, si la réglementation le permet, prenant en compte :

- a. Eléments de structure encapsulés,
 - b. Eléments de structure apparents (non protégée).
9. Analyse vent : analyse statique et dynamique (confort et accélération en tête). Impact sur le design.
10. Analyse sismique :
- a. Dimensionnement en capacité,
 - b. Analyse élastique linéaire (méthode d'analyse par forces latérales et analyse modale utilisant les spectres de réponse) avec coefficient de comportement (valeur ?),
 - c. Flexibilité du diaphragme et son influence sur la réponse sismique.
11. L'analyse de l'interaction entre l'enveloppe et la structure :
- a. Du point de vue de l'incidence des mouvements structuraux sur la conception de l'enveloppe, selon la typologie de façade envisagée : mur rideau, à ossature bois ou non, grands panneaux préfabriqués en bois massifs ou à ossature bois. L'étude devra indiquer les typologies de façades les plus adaptées vis-à-vis du système structurel étudié.
 - b. Du point de vue de l'incidence des différents systèmes d'enveloppe envisagés sur les objectifs de raideurs de la structure support.
 - c. Du point de vue de l'éventuelle participation de l'enveloppe à la rigidité structurale et des recommandations afférentes.
 - d. Dans le cas d'éléments de façades structurels, définition des dimensions maximales des ouvertures, des règles de positionnement et des taux de vide admissibles dans les panneaux.
 - e. Détermination des valeurs de retrait, de compression, de fermeture des vides et de fluage de la structure et de leurs conséquences sur la conception des systèmes d'enveloppe, et des systèmes associés de fixation et de joints.

Dans le cadre de cette analyse, les systèmes de façade rapportés sur la structure, de type mur rideau vitré à ossature bois ou métal, et grands panneaux préfabriqués non structurels, en bois massif ou à ossature bois, seront étudiés dans les cas tests a (structure poteau/poutre), et c (exosquelette ou colombage).

Le cas test b (structure CLT) devra développer l'étude des panneaux de façade structurels en CLT.

12. Etude de la transmission de vibrations solidiennes circonscrit au cas du système structural étudié et proposition de traitement constructif.

13. Identification des paramètres structuraux à mesurer en phase de construction et en conditions de service (par exemple tassement vertical, déformations, forces/pressions, variations d'humidité, performances thermiques, performances acoustiques, comportement des assemblages...).

Chaque paramètre devra être détaillé avec les informations suivantes :

- Un rappel des objectifs ;
- La pertinence de mesurer ce paramètre ;
- Le type de capteurs adapté (éventuellement en fonction de différentes configurations d'installation) et les préconisations nécessaires ;
- Le système d'acquisition envisagé ;
- Les éventuels points de vigilance ;
- Les références bibliographiques utilisées ;
- La planification des campagnes de mesure et/ou la période d'observation préconisée.

14. Calage de la hauteur d'étage : En fonction de la typologie de l'immeuble, du système structural retenu et de la synthèse avec les CET proposer la bonne hauteur d'étage. Il est nécessaire de détailler les préconisations et mesures conservatoires concernant le passage des CET.

15. Référentiel performanciel des enveloppes : proposition d'un référentiel de validation des performances de l'enveloppe (AEV, thermique, comportement au feu, acoustique, pérennité...).

16. Balcons : en fonction de la typologie, étude d'une solution de balcon, traitant les aspects structurels, d'étanchéité, d'isolation, et de comportement vis-à-vis du feu.

7 Livrables / attendus

- Une proposition de sommaire du guide de recommandation PUCA pour la conception de BGH,
- Liste des points critiques/particuliers devant ressortir dans le guide de recommandations PUCA et leur insertion dans le sommaire,
- Proposition de texte (recommandations) à insérer dans le guide de recommandations PUCA,
- Recommandations pour études de phase 2,
- Plans,
- Modèle 3D géométrique format IFC et modèle 3D mécanique de calcul,
- Note d'hypothèse/méthodologique,
- Note sur les études de sensibilité.

Cette documentation pourra donner lieu à une publication en dehors du concours PUCA.

8 Délais d'étude / Equipe

8.1 Délais d'études

Le délai des études est fixé à 3 mois.

8.2 Suivi de la prestation

Chaque étude de cas sera réalisée par un Titulaire sous la supervision d'ADIVBOIS. Des points de rencontre intermédiaires sont prévus :

- T0 : 6 juin 2016 → Réunion d'enclenchement,
- T1 : 4 juillet 2016 → Note de méthodologie et d'hypothèses,
Une présentation d'une note en expliquant la modélisation prévue, ainsi que les différentes hypothèses choisies.
- T2 : 5 septembre 2016 → Présentation des résultats initiaux,
- T3 : 30 septembre 2016 → Présentation du dossier final.

Ces points de rencontre permettront :

- De vérifier la cohérence de l'avancement des trois études de cas,
- D'échanger entre les différentes équipes,
- D'ajuster éventuellement les critères décrits ci-dessus au §4,
- De faire apparaître, le cas échéant, des besoins d'études transversales,
- De se coordonner avec la Commission Architecture et les pilotes des ateliers techniques,
- D'intégrer les résultats disponibles concernant le parangonage.

8.3 Compétences / références de l'équipe

Le dossier de réponse à la présente consultation devra présenter l'équipe qui sera mobilisée pour réaliser l'étude et démontrer que toutes les compétences nécessaires sont bien réunies au sein de cette équipe. Il sera nécessaire de prévoir les compétences suivantes :

1. Structure/Bois/IGH/Séisme
2. Acoustique
3. Enveloppes
4. Incendie : un spécialiste de la réglementation "descriptive" (habitation ou IGH),
5. Réseaux/CET

9 Présentation de l'offre

Chaque équipe doit répondre aux trois études de cas avec trois propositions différentes. Le dossier de réponse doit contenir les éléments suivants :

- Equipe/référence,
- Méthodologie d'étude,
- Planning d'intervention,
- Liste de livrables,
- Proposition financière.

Chaque équipe ne sera lauréate que d'une étude de cas. Il est précisé que ces trois équipes ne sont pas concurrentes mais sont complémentaires vis-à-vis de l'objectif commun de rédaction du guide de recommandation PUCA pour la conception de BGH (immeubles en Bois de Grande Hauteur).

10 Modalités de réponses

Les offres sont à adresser à :

CODIFAB
120 avenue Ledru Rollin
75011, Paris

- en version papier : **seul le texte faisant foi au plus tard le vendredi 20 mai à 12h**
- en parallèle en version numérique à info@adivbois.org

Vous pouvez obtenir tout renseignement utile auprès de :
Audrey GRANET, Assistante ADIVbois
01.44.68.18.26
info@adivbois.org