# RECRUTEMENT

## Contrat Postdoctoral : Projet VIBBOIS

Vibrations des Bâtiments BOIS

L'École Supérieure du Bois (ESB) et le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) proposent un sujet de post-doctorat sur le thème de la **Modélisation numérique (Eléments Finis) du comportement dynamique des immeubles à structure en bois.** La ou le post-doctorant·e sera recruté·e en CDD d'un an par l'ESB. Le projet est financé par le CODIFAB.

## Projet de Recherche

L'ESB et le CSTB travaillent depuis plusieurs années sur l'étude du comportement dynamique des bâtiments de grande hauteur en bois, via une approche expérimentale sur des bâtiments (en construction et en exploitation). La richesse des données expérimentales collectées n'a jamais été exploitée en vue d'obtenir une base de données commune, comprenant différentes typologies de bâtiment, de principes constructifs, de méthodes d'analyse et de résultats partagés.

L'ESB et le CSTB souhaitent partager leur expérience dans le cadre d'un post-doctorat en co-encadrement, avec les objectifs suivants :

- Alimenter et uniformiser la base de données des amortissements mesurés *in-situ* pour différents systèmes constructifs et comprendre les paramètres impactant (notamment la vitesse du vent).
- Mieux comprendre le comportement dynamique des bâtiments bois suivant les systèmes constructifs mis en œuvre, ce par l'ajout d'une modélisation numérique (ex Figure 1) appliquée au projet EVIBois (cf. Annexes).
- Etudier l'accélération horizontale du bâtiment due au vent en phase de conception, en observant le lien entre les mesures *in-situ* et la méthode de calcul de l'accélération ressentie due au vent (selon Eurocode 1-4, Annexe B).

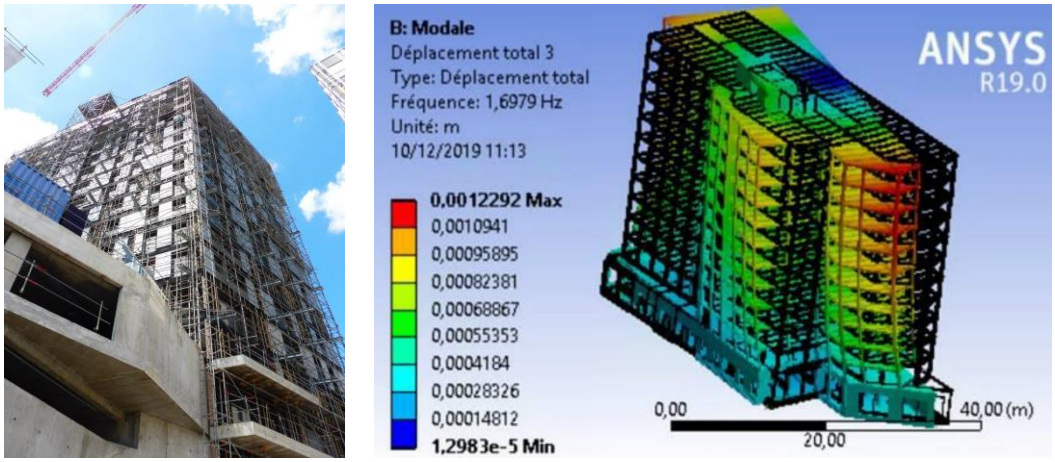


*Figure 1 : Bâtiment Treed It et déformée modale calculée par modélisation éléments finis (CSTB)*

L'apport pour la filière construction bois est de faciliter le travail des Bureaux d'Etudes Techniques lors de la conception des immeubles en bois. Cela en comprenant mieux les effets du vent sur les critères de confort, afin de rassurer les acquéreurs (maitrise d'ouvrage) et usagers de ces bâtiments, ainsi que les acteurs de la filière bois. Un comité de suivi scientifique incluant les encadrants du projet EVIBois (Laboratoires 3SR et ISTerre) sera mis en place.

Les livrables sont pensés comme un accompagnement méthodologique auprès des acteurs de la filière :

- Sur la partie expérimentale (données déjà existantes), il s'agit de fournir un rapport pour décrire les protocoles d'essais pouvant être mis en œuvre et les méthodes de post-traitement permettant leur analyse ;
- Sur la partie modélisation, il s'agit de présenter via un guide les "bonnes pratiques" appliquées à un système constructif, ici le bâtiment EVIBois. Des présentations sont prévues aux acteurs de la filière bois, notamment Commissions Techniques (ex. ADIVbois, plateforme EC5).
- Publication d'article(s) scientifique(s) dans des journaux à comité de relecture.

## Laboratoire d'Accueil

La ou le post-doctorant·e travaillera pour le laboratoire LIMBHA à l'ESB (Nantes, France). Il pourra être amené à se déplacer au CSTB (Nantes ou Champs/Marne), ainsi qu'au laboratoire 3SR de Grenoble. Remboursement sur notes de frais.

## Compétences

Les profils recherchés sont de types :

- Doctorat en génie civil orienté calcul de structure, préférablement mais pas nécessairement en structure bois.
- Doctorat en mécanique générale avec des travaux portant sur la dynamique.

Les compétences importantes :

- Mécanique dynamique.
- Modélisation aux éléments finis des structures de bâtiment ou génie civil.
- Esprit de synthèse et communication écrite (document technique).
- Autonomie dans le travail et capacité à travailler en équipe (localement et à distance).

## Contrat

Le poste est proposé sous contrat à durée déterminée d'un an avec l'ESB (contrat de travail de droit privé). La ou le post-doctorant·e sera supervisé·e par Francesca LANATA et Clément BOUDAUD (ESB, LIMBHA) et Olivier FLAMAND et Manuel MANTHEY (CSTB).
**Date de début souhaitée** : fin d'année 2024 **Salaire** : 36400 € brut + prime de précarité
**Avantages sociaux** : tickets restaurants, mobilité douce, retraite supplémentaire, prévoyance, complémentaire santé
**Temps de travail** : 212 jours, télétravail possible (40 jours)

## Informations

Pour plus d'informations sur les aspects scientifiques et techniques, vous pouvez contacter Clément BOUDAUD (clement.boudaud@esb-campus.fr).

Pour soumettre votre candidature (CV, lettre de motivation) par e-mail à Delphine FERI (direction@esb-campus.fr).

# Annexe technique

## Contexte

Les propriétés dynamiques des bâtiments en bois (fréquences, formes modales, amortissement) peuvent entrainer des niveaux d'accélération horizontale suffisants pour créer une sensation d'inconfort chez les usagers. Ces propriétés dynamiques ne sont, de plus, pas constantes, et un consensus se dégage dans la littérature scientifique sur un lien entre la vitesse du vent et le taux d'amortissement du bâtiment. Ce lien est en revanche mal caractérisé (linéaire ou non, avec effet de seuil ou pas, etc.).

Le CSTB étudie les vibrations des bâtiments de grande hauteur en bois depuis plusieurs années, notamment dans le cadre du projet européen DynaTTB (2019/2022). L'ESB fait de même dans le cadre de l'instrumentation de son bâtiment de formation (depuis 2012), des mesures in-situ pour ADIVbois (2019) et du projet EVIBois (2022/2024).

## Etudes récentes par le CSTB (Dyna TTB)

Lors du programme de recherche DynaTTB, le CSTB a pu étudier en particulier 2 bâtiments en France.

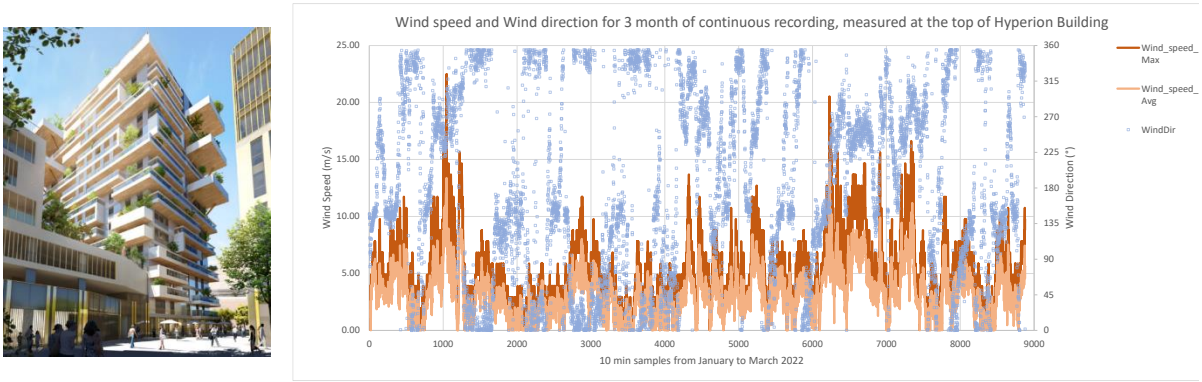


*Figure 2 : Tour Hyperion et exemple de mesures de vent*

La tour Hypérion (Figure 2), située à Bordeaux, 56 m de hauteur (R+17) a vocation à accueillir des logements. Cette première tour est constituée de planchers en CLT, reposant sur un noyau en béton armé, des poutres en lamellé-collé et des poteaux en acier. A noter que le "socle" du bâtiment (3 premiers niveaux) est essentiellement en béton armé. Les façades de la tour sont constituées d'éléments en ossatures bois. Deux campagnes expérimentales ont pu être menées. La première campagne, lors de la construction (balcons et cloisons intérieurs non mis en place), a pu être réalisée sous excitation forcée (avec l'excitateur inertiel pesant 550 kg placé sur le dernier plancher haut du bâtiment). La seconde campagne a été menée à la livraison de la tour (construction achevée et occupants présents) mais avec uniquement des mesures sous vent ambiant (pas d'excitation forcée). Des modèles numériques ont permis, en parallèle de l'analyse des essais, d'étudier les fréquences propres, les allures des déformées associées et leurs évolutions suivant l'ajout des éléments dits non structuraux (ajout de masse mais aussi parfois de rigidité à l'échelle de la tour). Ces évolutions sont relatives suivant les modes sollicitées (l'ajout de rigidité n'étant pas nécessairement uniforme dans toutes les directions). Ainsi les fréquences mesurées des 3 premiers modes évoluent de 0,95 Hz / 1,67 Hz / 1,88 Hz lors de la construction à 0,95 Hz / 1,49 Hz / 1,81 Hz sur le bâtiment livré. L'analyse des résultats expérimentaux a permis d'établir un amortissement structurel de l'ordre de 2%

mais avec des évolutions suivant les modes excités et suivant les amplitudes de l'action sollicitant la tour (vent et/ou excitation mécanique).

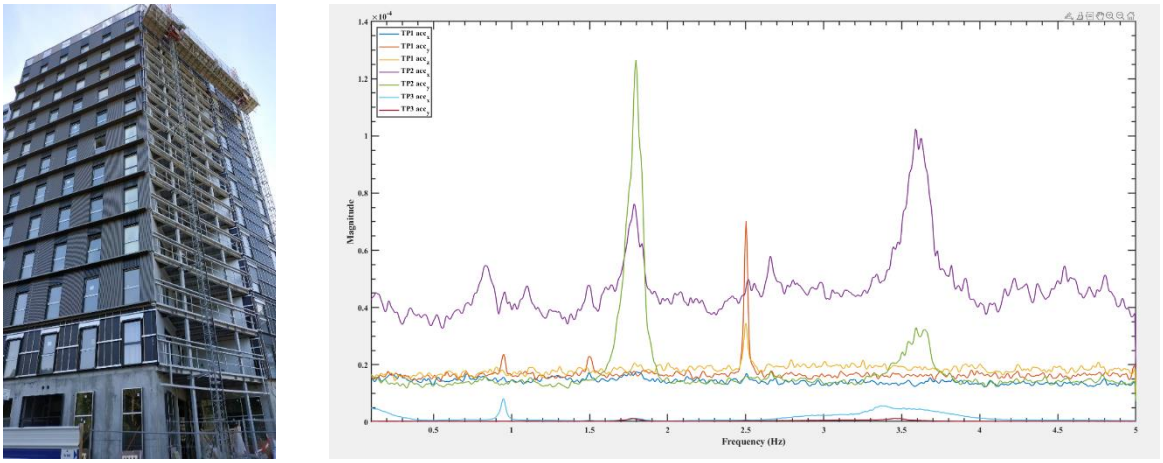


*Figure 3 : Tour Treed It et exemple d'analyse spectrales issues des mesures*

La tour Treed It (Figure 3), située à Champs-sur-Marne, 36 m de hauteur (R+11), a vocation de logement étudiant. Le premier niveau, entièrement en béton armé, forme un socle à une structure poteau-poutre en lamellé-collé se déployant autour d'un noyau en béton armé. Le système constructif des planchers est celui de planchers mixtes bois-béton. Ici aussi deux campagnes expérimentales ont pu être menées. Une première campagne a eu lieu à la fin de la mise en place des lots Gros-Œuvre, Charpente et Façades, tandis que la seconde a eu lieu une fois les chapes et les cloisons posées. Ici aussi la réponse dynamique de l'ouvrage a montré des évolutions suites à ces ajouts de masses, mais aussi de rigidités. Les modèles numériques ont permis une analyse complémentaire aux essais, notamment sur la question du rôle joué par les cloisons.

Ces deux fois deux campagnes d'essais sur ces bâtiments ont généré des bases de données conséquentes qui n'ont pas encore pu être exploitées à leur maximum, en particulier sur le sujet de la caractérisation de l'amortissement et de ses évolutions suivant l'amplitude des sollicitations et les modes propres excités. Une approche mutualisée avec les essais menées par l'ESB permettrait l'établissement d'une méthode robuste pour quantifier l'amortissement d'une part et d'autre part permettrait à la filière de disposer de valeurs d'amortissement pour un plus grand nombre de systèmes constructifs de bâtiments bois de belle hauteur.

## Etudes récentes par l'ESB (EVIBois, ADIVbois, bâtiment ESB)

**EVIBois** : La littérature fait surtout état de mesures vibratoires ponctuelles (prise à un instant t de la vie du bâtiment) sur des bâtiments en bois. Or le matériau est connu pour sa dépendance aux conditions environnementales et son comportement différé complexe. De plus, on sait que même pour des immeubles en béton, les propriétés dynamiques évoluent dans le temps. Ce projet vise donc à mesurer en continu la réponse sous vibrations ambiantes du Haut-Bois (Figure 4), un immeuble de logements sociaux R+8 situé à Grenoble. Avec des murs en CLT et des planchers en CLT et BLC ou IPN, il possède la particularité que la cage d'escalier béton est dynamiquement indépendante (joints de dilatation sismique) de la structure bois. 18 mois de données (vibratoires, mais aussi météorologiques) ont déjà été collectées et sont en cours d'analyses par le doctorant, co-encadré par l'ESB, le laboratoire

3SR et le laboratoire ISTerre (qui rejoindraient le comité de suivi du post-doctorant, qui lui-même serait amené à travailler avec le doctorant d'EVIBois).

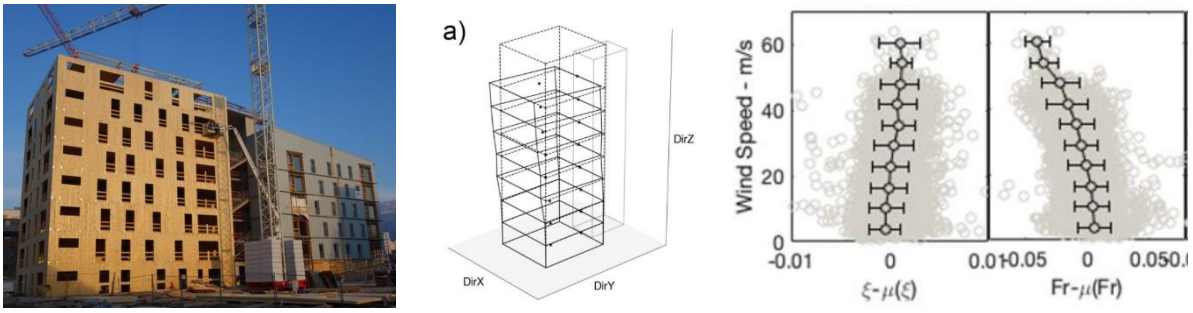


*Figure 4 : Bâtiment le Haut Bois, déformée modale et variation de l'amortissement et de la fréquence en fonction des vitesses de vent*

**Bâtiment ESB** : Un des bâtiments de l'ESB (Figure 5), sur lequel plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées, n'est pas haut (R+2), mais il est particulier du fait de son principe constructif (exosquelette) et de sa forme (porte-à-faux d'environ 10 m). C'est donc un cas d'étude spécifique à traiter concernant les relations entre le vent, les propriétés dynamiques et le confort des usagers.

*Figure 5 : Bâtiment ESB, accéléromètres et analyse vibratoire*

**ADIVbois** : En parallèle, l'ESB a effectué des mesures sur 3 bâtiments grande hauteur de R+7 à R+11 (Figure 6) dans le cadre d'ADIVbois (2019), pendant la construction et après la réalisation des finitions.

A l'issue de ces mesures, on observe que l'estimation de la fréquence se montre précise (CV de 0,46% pour 1 campagne de mesure), au contraire de celle de l'amortissement (CV de 10,9% pour 3 campagnes de mesures). La différence entre état en construction et état fini est de l'ordre de 5 à 10% pour les fréquences, mais cela reste à l'intérieur de l'intervalle de confiance pour l'amortissement. Une valeur d'amortissement autour de 1,5 à 1,7% est à considérer pour les niveaux de sollicitation observés. Un amortissement de 2% serait atteint par extrapolation pour des vitesses de vent autour de 15 m/s.

*Figure 6 : Bâtiments Sensation (Strasbourg), Pulse (Paris) et Bain douches Castagnary (Paris)*

## Une volonté de mutualisation pour aller plus loin

Ces différents projets ont généré des bases de données de mesures sur des bâtiments bois assez riches en termes de hauteur (de R+2 à R+18), de principe constructif (CLT, poteau/poutre bois ou mixte, plancher TCC ou non collaborant, noyau béton ou CLT…), de type de mesures de vibrations (ambiantes/forcées (en continue, shutdown ou swept-sine), ponctuelles/spatialisées, continues/discontinues dans le temps), de mesures environnementales (vitesse et direction du vent, voir température et humidité relative de l'air) et d'usages (logements, ERP, mixte…).

Les données de l'ESB ont essentiellement été traitées en vue d'obtenir les modes propres (fréquences, déformées modales et amortissement). Un traitement similaire a été mené sur les données CSTB, en complément duquel le lien avec la modélisation structurale des bâtiments a été étudié, en se concentrant sur la prédiction des fréquences propres et des déformées modales.

Dans la continuité, plusieurs types d'outils (codes ou logiciels du marché) et de méthodes d'analyses (FDD, EFDD, CFDD, RDT, par identification d'évènements (vitesse, direction du vent…)) de ces données ont été utilisés. D'une manière générale, les données du CSTB se distinguent par l'accent mis sur les mesures vibratoires en régime forcé et celles de vent, là où l'ESB s'est focalisée sur des mesures vibratoires ambiantes et des mesures environnementales plus larges, dont un cas de mesures en continu sur une période de 3 ans. Ces données, pour la plupart expérimentales, et les résultats qui en découlent, n'ont jamais été regroupés et traités comme un ensemble. C'est avant tout cette mutualisation qui est envisagée dans ce projet. L'objectif est d'enrichir les analyses déjà réalisées dans les projets susmentionnés, dont les perspectives mentionnent l'aspect limitant de n'avoir étudié qu'un nombre restreint de bâtiments au regard de la diversité de typologies existantes.

## Des apports techniques pour les bureaux d'études

En complément de ces mesures expérimentales et de l'analyse des données, le CSTB a étudié la modélisation aux éléments finis de ce type de structures pour la prédiction de leurs propriétés dynamiques. Un guide à destination des acteurs de la filière bois (notamment bureaux d'étude, entreprises) pourrait être traduit et adapté au contexte français. En effet, les

spécificités de chaque système constructif engendrent un traitement quasiment au cas par cas des pratiques de modélisation, limitant les tentatives de généralisation et rendant l'exercice très dépendant des bâtiments étudiés.

Dans le cadre de ce projet, la mise en commun des données permettrait de développer un modèle numérique du bâtiment le Haut-Bois, afin de compléter le guide sur un cas pour l'instant non représenté. En effet, ce bâtiment de logements sociaux en R+8 possède la particularité d'avoir un noyau béton dynamiquement indépendant de la structure bois (théoriquement du moins).