

Constructions à ossature bois : Étude et optimisation du contreventement par diaphragme : développement d'outils de calcul et validation par éléments finis

Ing. T. FISCHER
Dr Ir P. BOERAEVE
GRAMME - Liège

Cet article, lié à un TFE, traite de la problématique actuelle inhérente à la construction bois : l'important décalage entre d'une part, l'absence de normes et de connaissances suffisantes sur le comportement des constructions bois et d'autre part, la demande de projets de plus en plus ambitieux, suite au nouvel engouement envers ce matériau. Si l'on se concentre sur le modèle constructif dit « à ossature bois », l'un des fers de lance des bâtisseurs actuels est la résistance au contreventement. La structure porteuse, extrêmement légère, ainsi que le comportement des « diaphragmes de contreventement », trop peu connus, posent régulièrement problème aux bureaux d'étude. Les sujets abordés dans cet article sont multiples. D'abord un bref état d'art assied les bases en matière de contreventement des ossatures bois. Ensuite, la seconde partie est abordée dans l'optique de développer un outil qui permette de vérifier et d'optimiser une structure à ossature bois. Cette partie présente donc le développement et l'optimisation de méthodes alternatives à l'EC5 permettant une vérification efficace et fiable d'une ossature tant aux ELU qu'aux ELS. Finalement, un volet portant sur les critiques et l'analyse par éléments finis du comportement de parois types a permis une évaluation objective des outils développés.

Mots-clés : Bois, Ossature bois, contreventement, diaphragme, outil de calcul, vent, raideur, rigidité, Eurocode 5

This article aims to present a final thesis about some current difficulties in wood construction: the important lag between the lack of standards and sufficient knowledge of the behaviour of wood building and increasingly ambitious projects with the rebirth of wood. If we focus on the « wooden frame buildings », one of the key points is currently the bracing resistance. The very light structure of wood buildings together with the poor knowledge of the behavior of shearing walls can often be a problem for engineering design offices. The proposed work in this thesis aims at several objectives: On the one hand, to take stock of the current progress made in wooden frame bracing. On the other hand, based on this first part, to develop the most advanced and complete calculation tool which systematically checks and allows to optimize a definite structure. The significant loopholes of the Eurocode 5 concerning shearing wall have justified the research, the development and the optimisation of more elaborated methods to allow an effective and reliable verification (in the ELS and ELU cases). Finally, a specific chapter dedicated to critics and to the analysis of the behaviour of typical walls by finite elements has made it possible to objectively evaluate the developed tools.

Keywords : Wood, Timber, wooden frame, shear, brace, bracing wall, shearing wall, calculation tool, wind, stiffness, rigidity, Eurocode 5

1. Introduction

L'objectif de cet article est de présenter de manière succincte les recherches réalisées en matière de contreventement au sein des bureaux « *Ney&Partners Wow* » dans le cadre d'un travail de fin d'étude.

1.1. Contexte

De nos jours, le bois tend petit à petit à revenir parmi les principaux matériaux de construction. Bien qu'oublié durant de nombreuses années, ce dernier possède d'indéniables qualités lui permettant de prendre encore davantage de parts de marché à l'avenir. Cependant, le manque de connaissances et de normalisations pose actuellement problème dès que des ouvrages de complexité supérieure sont envisagés. Le contreventement des ossatures bois en est un exemple très concret.

Ce document s'articulera en trois parties principales :

La première consistera en l'explication du fonctionnement d'un bâtiment dit « à ossature bois » face aux sollicitations horizontales.

Ensuite, une seconde partie portera sur l'explication de l'outil de calcul de vérification au contreventement développé dans le cadre de mon stage et basé sur des théories qui permettent de compléter certains manquements actuels de l'EC5.

Finalement, le dernier volet proposera un ensemble d'analyses du comportement de parois à ossature bois selon divers modèles (tests réels du CSTC, modélisations par éléments finis sur SCIA ou encore utilisation de l'outil personnel développé).

2. Les constructions « à ossature bois » face au vent

De nos jours, la construction en ossature bois se présente comme une alternative attirante, tant sur le plan technique qu'économique, écologique et énergétique. Cependant, cette dernière ne possède pas que des avantages...

2.1. Historiquement...

Ce principe constructif lie deux techniques anciennes :

- * Les colombages « de bois courts » : Cette technique se construit sur base d'une trame de bois relativement massifs, sur un seul étage. Le plancher servant ensuite de plate-forme pour l'étage suivant.
- * Le système « balloon frame » : Ce modèle emploie des pièces de faibles sections avec des montants très rapprochés mais de trames plus hautes qu'un seul étage.

Ces deux principes ont permis d'aboutir au modèle contemporain appelé « ossature plate-forme » ou « ossature bois » qui doit son développement à l'arrivée sur le marché d'une série de matériaux dérivés du bois dont les panneaux. Ces derniers jouent un rôle prépondérant dans le système de fonctionnement d'une ossature bois, tant au niveau des parois verticales qu'horizontales. La création des organes d'assemblage de type vis, clous et agrafes a également contribué à l'expansion de ce modèle constructif.

2.2. Principe de fonctionnement de l'ossature bois

Tel que visible sur la Figure 1, le constructeur réalise des parois composées d'un ensemble de pièces de faibles sections et de hauteur équivalente à un étage du bâtiment. Ces montants sont espacés de 40 à 60 cm et sont reliés entre eux au moyen d'une lisse basse et d'une lisse haute. Cet ensemble est recouvert à l'intérieur et/ou à l'extérieur d'un voile structural de contreventement pour former des « caissons » dans lesquels un isolant peut être avantageusement placé. Les assemblages de la structure sont généralement réalisés par clous. Chaque niveau de la construction est donc autonome et indépendant (contrairement à la technique du balloon frame). Le premier est monté sur la fondation (dalle de béton ou bois). Une fois toutes les parois d'un niveau posées, la lisse de chaînage « enchaîne l'ensemble » et constitue le support pour le plancher (tel que dans la technique du colombage « de bois courts »). Ce plancher peut ensuite recevoir l'étage suivant et ce, jusqu'à la charpente.

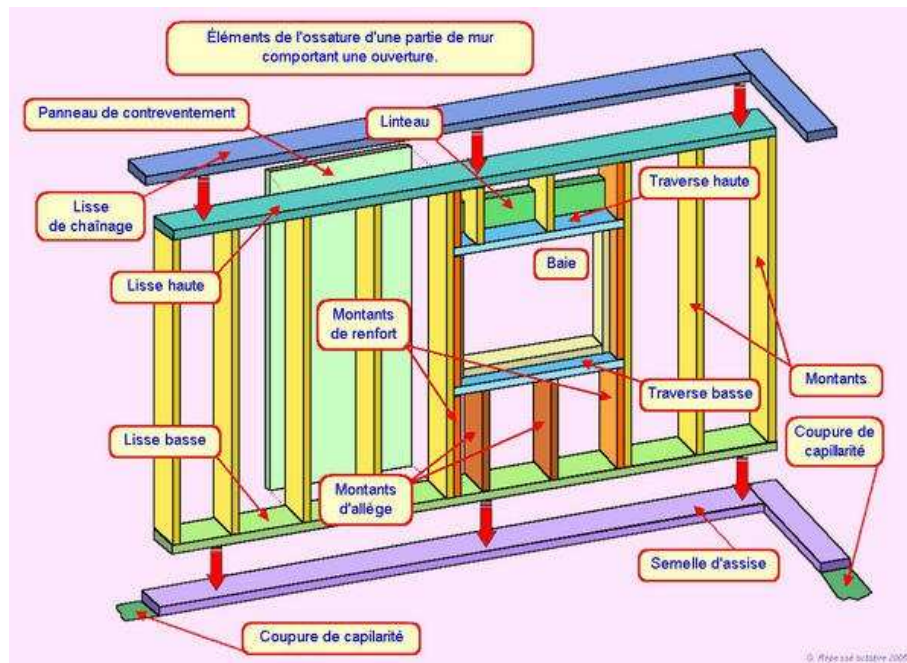


Figure 1: Représentation d'une ossature (source : www.atlanbois.com)

Grâce à l'indépendance des étages, cette méthode offre une grande flexibilité architecturale. Néanmoins, ce mode constructif ne présente pas que des avantages. Un des points critiques se situe au niveau de grandes trémies sur une structure. En effet, ces ouvertures posent rapidement des problèmes de stabilité suite à l'insuffisance d'éléments de contreventement dans les parois considérées.

2.3. Comment assurer le contreventement ?

Lorsqu'un bâtiment est soumis à des efforts horizontaux, l'ossature seule est incapable d'assurer efficacement la stabilité. Rapidement, des dommages esthétiques voire structurels peuvent apparaître face aux fortes sollicitations. Cette situation est présentée sur la Figure 2 où l'ensemble de la construction est non contreventé et considéré comme rotulé. La solution proposée en ossature bois consiste en l'utilisation de panneaux travaillant en cisaillement dans leur plan (Figure 3). Ceux-ci sont dimensionnés et fixés de manière adéquate afin de fournir à la paroi une rigidité suffisante dans son plan. Ceci lui permet alors de résister aux charges horizontales qui la sollicitent.

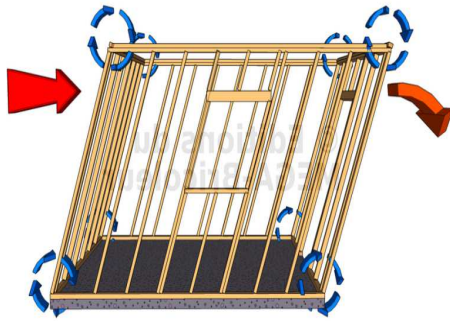


Figure 2: Structure non contreventée
(source : www.megabricoleur.com)

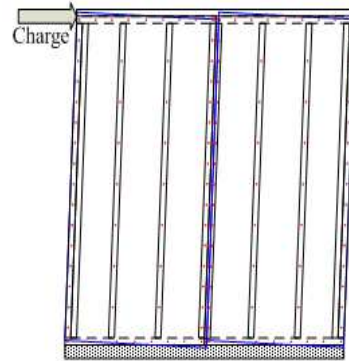


Figure 3: structure contreventée
(source : these.ulaval.ca)

2.4. Quelles déformations peuvent-être envisagées ?

Afin de comprendre concrètement les problématiques des raideurs et les modes de déformation existant sur une paroi, analysons la figure suivante :

- * Le mode de déformation (a) est celui sur lequel nous avons principalement travaillé. Il s'agit de la déformation provenant de l'imperfection de la connexion (clou/agrafe/vis) entre panneaux et ossature. Cette dernière est caractérisée par une rigidité non infinie (notée K) qui impliquera les déformées les plus significatives dans les parois.

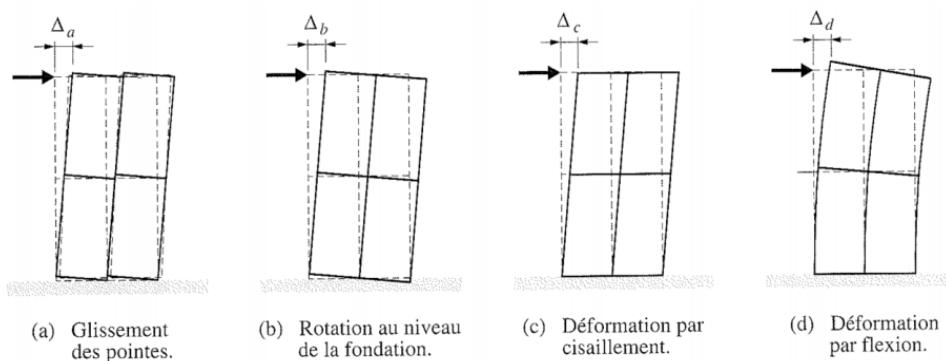


Figure 4: Mode de déformation des parois rigides [5]

- * Le mode de déformation (b) dépend de l'ancrage en pied de mur permettant de résister aux efforts de soulèvement. Ce mode peut, en outre, être accentué par la compression perpendiculaire des éléments horizontaux de l'ossature (essentiellement la lisse).
- * Le troisième mode de déplacement correspond à la déformation par cisaillement du panneau et des montants. Cette déformation existe mais reste négligeable.
- * Le dernier type de déformation traduit la déformation des montants et du panneau suite à la flexion de ces derniers. Sur base de plusieurs analyses, on peut affirmer que celle-ci est négligeable dans des bâtiments de faible hauteur et minime par rapport aux autres dans le cas de bâtiments multi étagés.

En conclusion, seuls les modes de déformation (a) et (b) relatifs aux assemblages sont significatifs lors du calcul d'une structure. Cet aspect nous laisse donc penser que ces derniers sont les éléments clés lors de l'estimation de la déformation d'un bâtiment.

3. Développement d'un outil de calcul au contreventement.

3.1. Les solutions actuelles : l'Eurocode 5

Les solutions en matière de vérification au contreventement sont les méthodes A et B proposées par l'EC5. L'objectif n'étant évidemment pas de nous attarder sur ces dernières, seules les caractéristiques principales sont mentionnées dans cet article.

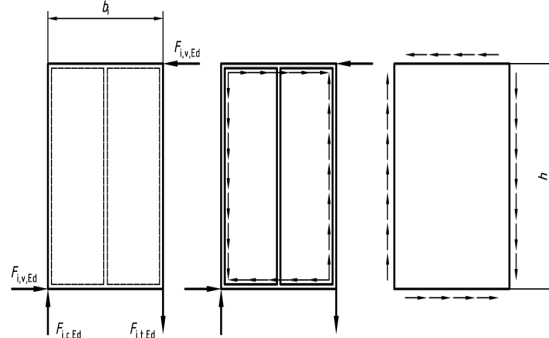


Figure 5: Répartition des efforts selon EC5 (Source : Eurocode 5)

La méthode A est une méthode de vérification de la résistance au contreventement basée sur une répartition uniforme des contraintes (Figure 5) dont l'élément clé est la résistance de cisaillement de la liaison panneau-ossature ($F_{f,Rd}$). Ce dernier est déterminé par le mode de défaillance le plus sollicitant de l'assemblage. Les autres composantes de la formules correspondent à des données géométriques (b : largeur du panneau ; s : distance entre fixations ; h : hauteur de panneau).

$$F_{v,Rd,S,m,p} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_{S,m,p} \cdot c_{s,m,p}}{s} \quad c_{s,m,p} = \begin{cases} 1 & \text{pour } b_{S,m,p} \geq b_0 \\ \frac{b_{S,m,p}}{b_0} & \text{pour } b_{S,m,p} < b_0 \end{cases}$$

$$b_0 = h_{S,m,p} / 2$$

La distinction entre les méthodes A et B réside dans le calcul de la résistance d'un panneau ($F_{v,Rd}$). Une fois de plus, l'ensemble de la vérification découle de la capacité latérale (ou portance locale) de l'assemblage panneau-ossature. Néanmoins, la méthode B se distingue de la précédente par l'introduction de quatre paramètres qui viennent se multiplier à la résistance de calcul en cisaillement de l'assemblage $F_{f,Rd}$.

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i,q} k_s k_n$$

- * k_d =coefficient de dimension de la paroi
- * $k_{i,q}$ =coefficient lié au chargement de la paroi
- * k_s =coefficient lié à l'espacement entre organe de connexion
- * k_n =coefficient lié à la composition du mur (plusieurs voiles travaillant éventuels)

De ce fait, la résistance de l'assemblage et la géométrie ne sont plus les seuls éléments déterminants. Les paramètres intègrent les dimensions du panneau, le chargement vertical de la paroi, l'espacement entre les connecteurs ainsi que l'agencement de la paroi.

3.2. Critiques des méthodes officielles.

Afin de comprendre les démarches qui nous ont poussés à aller plus loin que l'Eurocode dans le cadre de ce travail, signalons les principales critiques que nous pourrions porter aux méthodes actuelles de l'EC 5 :

- * Les méthodes A et B ne permettent qu'une vérification en termes de résistance (ELU) mais ne permettent pas d'évaluer les déformées d'un ouvrage (ELS).
- * Aucune prescription n'est donnée à propos de la répartition des efforts globaux (de vent sur un pignon par exemple) en efforts ponctuels sur les différentes parois aptes à travailler au contreventement (
- * Figure 6).

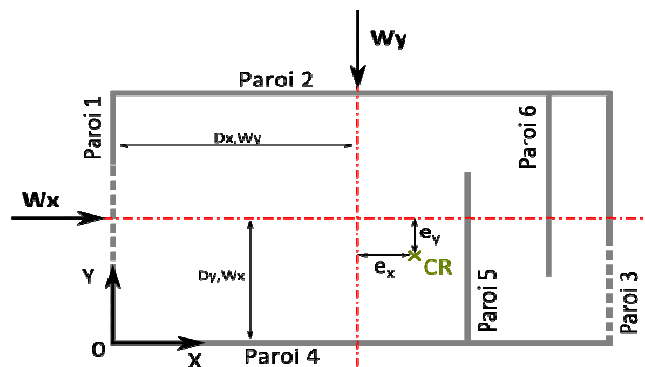


Figure 6 : Vue en plan d'un bâtiment avec 6 parois utiles au contreventement (Source : CrittBois)

- * La méthode B, bien qu'à priori plus élaborée de par l'intégration de divers paramètres supplémentaires, est vivement critiquée. En effet, ses paramètres ont tendance à prendre des valeurs aberrantes dès que l'on sort de situations standards. (Par exemple : Le paramètre propre au cas de charge sur la paroi peut faire varier la résistance au contreventement de l'ensemble avec un facteur X4 selon le type de chargement appliqué !). Selon le CSTC, cette méthode, d'inspiration anglo-saxonne, aurait subi certaines erreurs lors de la transcription des paramètres dans notre système d'unité mais aucune correction n'est connue à ce jour.

3.3. Proposition d'amélioration : méthode des raideurs

En vue de développer un outil de calcul complet, utile et efficace tant à l'ELS qu'à l'ELU, d'autres solutions que celles proposées par l'EC5 ont été cherchées.

Parmi l'ensemble des démarches, c'est « la méthode des raideurs », initialement étudiée au sein du CRITT Bois d'Epinal, qui a été retenue. Cette dernière a été modifiée et implémentée dans un outil de calcul adapté aux besoins des bureaux Ney&Partners Wow.

Les paragraphes qui suivent n'ont pas pour objectif de présenter en détails l'outil développé ni même l'ensemble de la méthode (ces informations sont disponibles dans le travail de fin d'étude dont les références sont disponibles en fin d'article). Seuls les éléments clés de la méthode sont proposés ci-dessous.

Équation de base et notion de raideur :

Comme son nom l'indique, cette méthode a pour objectif d'assimiler le fonctionnement d'une paroi de contreventement à celui d'un ressort d'une raideur donnée.

La formule suivante en est donc l'équation de base : $F=k*\Delta s$

Où **F** traduit l'effort de vent qui s'applique en tête de paroi.

k correspond à la raideur de la totalité de la paroi considérée.

Δs traduit le déplacement en tête de paroi.

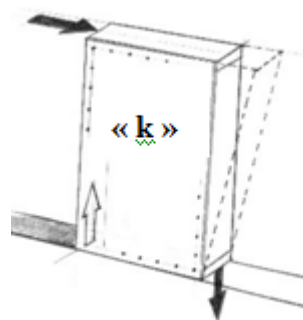


Figure 7 : Raideur

De ce fait, la spécificité de cette méthode réside en la détermination de la raideur « k » de la paroi. Pour l'obtenir, une formule fonction de divers paramètres permet de partir de la raideur élémentaire d'une connexion panneau/ossature (dépendante à la fois du choix de panneau, de l'ossature et du connecteur) pour aboutir à la raideur de l'ensemble d'une paroi.

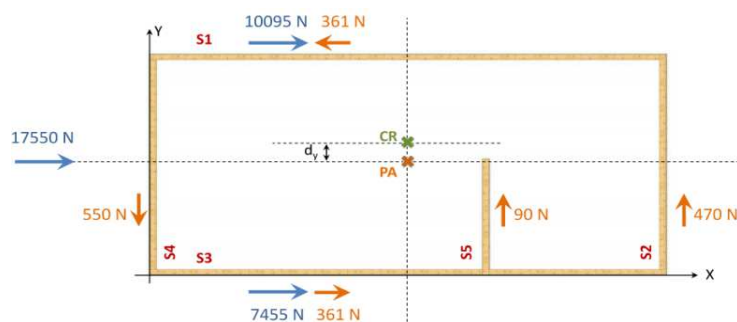
Hypothèse de base :

Notons, en outre, que cette méthode intéressante sur de nombreux points, ne fonctionne que si l'hypothèse de base stipulant que les diaphragmes horizontaux sont infiniment rigides, est respectée.

Les solutions apportées par cette méthode :

Cette approche permet de solutionner plusieurs manquements soulevés dans les paragraphes précédents :

- * Ce mode de calcul a permis d'intégrer au sein de l'outil la notion de déformée. En effet, une fois l'effort et la raideur connus, il est possible de déterminer des déplacements à partir de l'équation de base et donc d'envisager la vérification ELS.
- * En outre, le fait de connaître les raideurs respectives de l'ensemble des parois d'un étage va permettre de répartir de manière rationnelle un effort global en effort ponctuel sur chaque paroi. Cette répartition se fera au prorata des raideurs (en bleu sur la figure 8).
- * Finalement, le calcul des raideurs permettra, moyennant quelques approximations relativement fiables, de déterminer le centre de raideur d'un étage global (noté « CR » sur la figure 8). Ainsi, pour peu que le point d'application des résultantes de vent ne coïncide pas avec ce dernier, des efforts de torsion vont également pouvoir être évalués au sein du bâtiment (en orange sur la figure 8).



*Figure 8 : Répartition d'un effort de vent sur un ensemble de paroi
(Source : CrittBois)*

4. Analyse des performances des parois ossature bois et validation de l'outil développé

En vue d'évaluer objectivement les performances de l'outil développé, différentes sources de comparaison ont été utilisées afin de juger de la fiabilité des résultats.

4.1. Les différentes sources d'analyses

L'outil de calcul développé selon la méthode des raideurs :

La première source provient évidemment de l'outil développé. Ce dernier est comparé à d'autres modèles afin d'observer la fiabilité de celui-ci. Il intègre conjointement la méthode A de l'Eurocode en termes de calcul de résistance et la théorie des raideurs pour les vérifications de déformée, de torsion et pour la répartition des efforts.

Les tests réels du CSTC :

Dans le cadre d'une étude sur le contreventement menée il y a quelques années, le CSTC a réalisé une série de tests en laboratoire sur des parois mises en œuvre selon diverses configurations.

Ces tests visaient à mettre en avant :

- * l'influence de l'agencement des panneaux de contreventement (placés verticalement ou horizontalement).
- * l'influence du collage du champ des panneaux afin de les faire travailler en « voile monolithe travaillant ».
- * l'influence des éléments de couturage lorsque des jonctions entre panneaux ont lieu (moins important dans notre étude).

Ces tests étaient réalisés au moyen d'un vérin hydraulique qui applique une force donnée en tête de paroi (flèche en haut à gauche sur la figure 9). Un capteur de soulèvement (C) et deux capteurs permettant de déterminer le déplacement différentiel (A et B) étaient mis en œuvre.

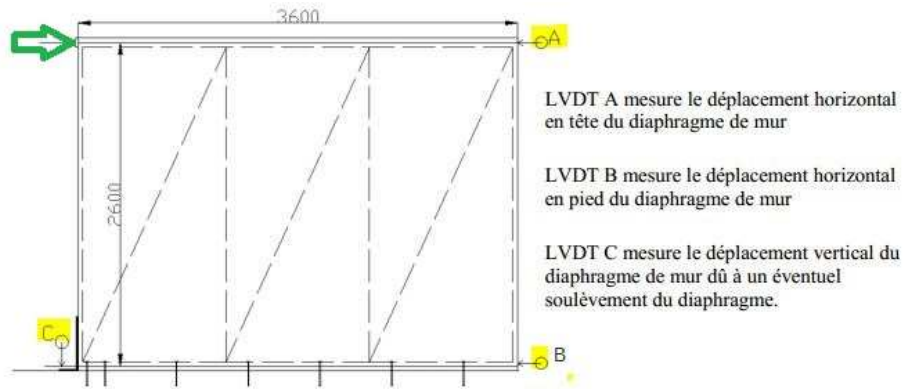


Figure 9 : Paroi type testée au CSTC [2]

Pour chaque configuration, plusieurs essais destructifs ont été effectués afin de tirer notamment les limites de résistance (plastification des connecteurs) ainsi que les courbes « force-déplacement » (figure 10).

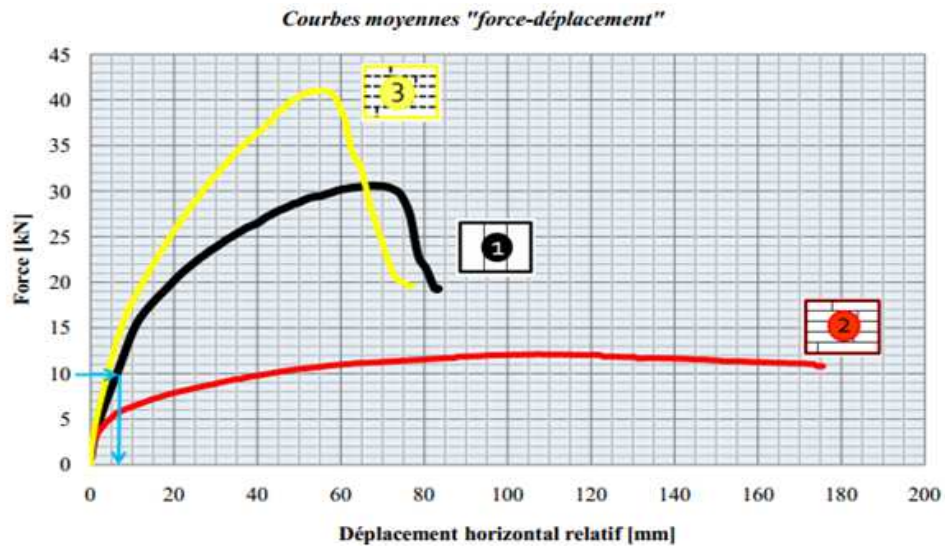
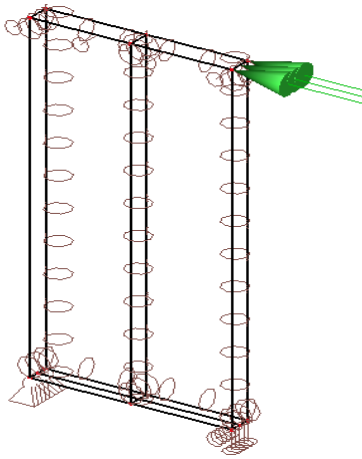


Figure 10 : Diagramme proposé par le CSTC [2]

Ce sont ces dernières courbes qui nous intéressent tout spécialement car elles permettent d'évaluer, pour une force constante donnée, les déformées mesurées en tête de paroi (en bleu sur le graphe).

Les tests du CSTC étant antérieurs à ce travail, nous avons cherché à reproduire certaines des configurations de ces tests avec nos autres solutions (l'outil développé et les études logicielles présentées ci-dessous).

Les études aux éléments finis sur SCIA



Des modèles aux éléments finis ont été réalisés sur le logiciel SCIA ENGINEER.

Ces derniers sont composés d'une ossature de base dont les liaisons sont rotulées (entre lisses et montants) sur laquelle vient se fixer une plaque de contreventement.

Afin d'être le plus juste possible, une liaison semi-rigide au droit des connexions entre panneaux de contreventement et ossature est intégrée.

Les appuis sont configurés de manière à correspondre aux hypothèses de l'EC5 (et de l'outil de calcul développé). Ceci autorise dès lors les comparaisons sur bases d'hypothèses identiques. La sollicitation (verte) est appliquée au droit de la lisse supérieure.

*Figure 11 : Modélisation
scia*

Les configurations modélisées

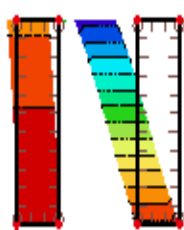


Figure 12 :
Paroi élancée

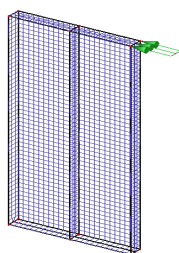


Figure 13 :
Paroi
standard

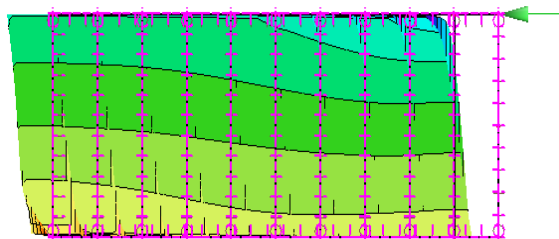


Figure 14 : Paroi longue et trapue

- * Figure 12 : Les parois très élancées permettent d'estimer la limite à laquelle un panneau de contreventement devient trop étroit pour être efficace au contreventement. Sur ce point, l'EC5 définit un panneau apte à travailler au contreventement lorsque sa largeur est supérieure au quart de sa hauteur ($l > h/4$).
- * Figure 13 : Les parois standards ont permis d'observer le comportement des panneaux de largeurs commerciales (1,2 à 1,8m). Ces parois permettent également d'observer des configurations analogues à celles testées au CSTC.
- * Figure 14 : Les parois longues et trapues permettent d'envisager le comportement des voiles monolithes dont la rigidité augmente fortement avec la longueur de ces derniers. Il est possible de les créer sur chantier lorsque les panneaux sont collés entre eux (sur le champ ou leur rainure/languette) au moyen de colles structurales.

Les études sur logiciel MD Bat :

MDBat est un logiciel de calcul pour maisons à ossature bois intégrant, entre autre, le contreventement. Les configurations testées au CSTC et sur SCIA ont dès lors été également analysées par ce logiciel.

4.2. Les observations

Différentes observations ont été réalisées dans le cadre de ce travail de fin d'étude. Elles portent sur les points suivants :

- * L'évaluation des déformées à l'ELS.
- * L'évaluation de la résistance à l'ELU.
- * L'observation du comportement en pied de paroi au droit de l'ancrage lisse-fondation.
- * Le comportement de paroi multi-panneaux ou voile monolithe : comparaison des performances.

Les principaux manquements de l'EC5 se situent au niveau des déformées. C'est ce point qui sera principalement détaillé dans les paragraphes qui suivent. Les autres points sont expliqués dans la version complète du travail de fin d'étude (voir référence).

L'ensemble des tests et observations réalisés selon les diverses sources d'analyse ont permis d'aboutir à un graphe récapitulatif présentant les déformées (en ordonnée) en fonction du rapport b/h (en abscisse). Ces analyses ont été faites à charge constante (10kN) et en considérant un ancrage parfait en pied de paroi.

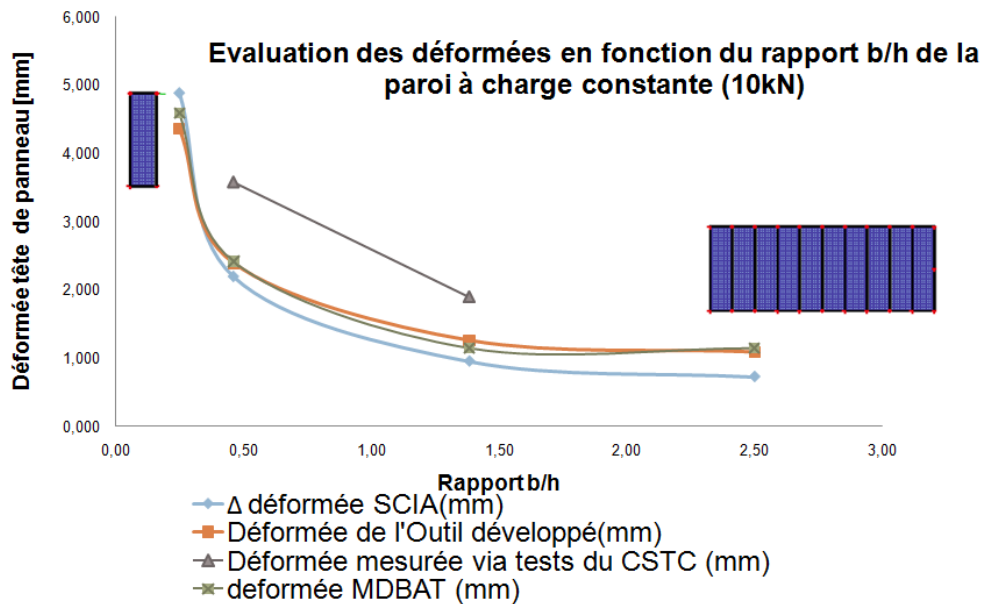


Figure 15 : Évaluation des déformées

Les principales observations que nous pouvons faire sur ce type de graphique sont les suivantes :

D'une part, on constate que les résultats des tests en laboratoire du CSTC sont nettement plus pessimistes que l'ensemble des autres outils. Cette problématique a été longuement analysée mais une précaution doit être prise quant à la concordance des modèles CSTC/SCIA/outil de calcul. En effet, les tests du CSTC ayant été faits antérieurement à ce travail, il n'a pas été possible d'y assister et de vérifier que l'ensemble des hypothèses étaient équivalentes.

En outre, l'ordre de grandeur des déplacements étant relativement faible (1 à 5 mm), des imprécisions même minimales pour une paroi de 2,6m de haut, peuvent entraîner des erreurs majeures en termes de déformée.

A ces faits s'ajoute la relativement bonne cohérence entre les trois autres sources d'analyse. Cela nous pousse donc à avoir une certaine prudence vis-à-vis de ces tests.

D'autre part, nous pouvons constater le comportement sécuritaire de notre outil vis-à-vis du modèle aux éléments finis lorsque les parois sont de plus en plus trapues. Ce fait provient de la formule de calcul de la rigidité utilisée dans la méthode des raideurs qui est développée pour des panneaux de largeur commerciale. Dès lors, les voiles monolithes sortent un peu de ce modèle et possèdent une rigidité supérieure. Une amélioration de la formule de raideur pourrait être envisagée sur ce point.

Finalement, il est possible d'observer un comportement qui se rapproche de l'asymptote verticale lorsque les parois sont trop élancées. Cela confirme donc la nécessité d'avoir une limite de largeur pour l'utilisation des panneaux de contreventement. S'ils sont trop étroits, leur comportement ne permet plus de transférer efficacement les efforts horizontaux en verticaux, ce qui augmente considérablement les déformées et ne permet plus de vérifier les conditions d'ELS.

5. Conclusions

Afin d'évaluer objectivement les différents aspects de ce travail de fin d'étude, il peut être intéressant de dresser le bilan de l'état actuel des recherches et principalement de l'outil développé.

Les points importants sont les suivants :

- * Bien qu'ils soient encore perfectibles selon les besoins, divers outils de calculs ont bel et bien été développés. Leur implémentation est terminée et ceux-ci sont disponibles pour utilisation. L'outil sur le contreventement a déjà été utilisé dans plusieurs projets concrets, ce qui a permis de voir que les heures de travail investies sont valorisées.
- * Afin d'améliorer le dernier outil réalisé, une démarche d'analyse approfondie du comportement des parois dans diverses configurations a permis, en parallèle, de lever certaines questions mais aussi d'en ajouter une multitude d'autres.
- * Grâce à ces multiples comparaisons, nous avons pu analyser plusieurs points importants du comportement des voiles de contreventement tels que l'observation des efforts d'ancrage, du fonctionnement de parois esseulées ou accolées ou encore les limites pour des parois élancées ou de longueur importante. Nous avons en outre, pu analyser les résistances et suggérer des améliorations de méthodes sur base de tests effectivement vérifiés.

Néanmoins, comme dans tout domaine où les recherches et les développements sont toujours en cours, plusieurs points restent sans réponse à l'heure de clôturer ce travail. Ceci confirme bel et bien ce qui m'avait été annoncé à l'aube de mes recherches au sein du bureau: le développement et l'approfondissement des connaissances en matière de contreventement est un réel fer de lance pour bon nombre de projets à ossature bois et le domaine est loin d'être totalement exploré...

6. Remerciements

Nous adressons des remerciements tout particuliers à Messieurs Ir. Alexandre ROSSIGNON, Ing. Benoît HARGOT et Ing. Pierre-Antoine

CORDY, responsables du bureau Ney&Partners Wow de Namur, dont les compétences en matière de bois ne sont plus à prouver.

Toute notre gratitude s'adresse également aux personnes qui nous ont octroyé de leur temps et de leur savoir pour le développement de ce projet. Je pense notamment au CSTC (Madame Audrey Skowron), au CTIB (Monsieur Kurt De Proft) ainsi qu'au CRITTBois, centre de recherche et d'innovation dans le domaine du bois, situé à Epinal (Monsieur Baptiste Moron).

Il va de soi que bon nombre de personnes sont impliquées dans la réussite de ce projet. Nous adressons donc à toutes ces personnes un merci infini.

7. Référence

Cet article s'articule autour du travail de fin d'étude de référence suivante :

FISCHER T., *Constructions à ossature bois : Etude et optimisation du contreventement par diaphragme : développement d'outils de calcul et validation par éléments finis*, HELMo Gramme, Liège, 2014.

Contact : fischer.tom@hotmail.be

8. Sources

- [1] COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION, *EN1995-1-1 : Eurocode 5 : Conception des structures en bois*, 2004.
- [2] CSTC, CTIB, *Évaluation des performances des constructions à ossature bois multiétagée : rapport final*, 2009.
- [3] DEHARD J. *Cours de calcul des structures*, Editeur responsable : Publi-Etudiant GRAMME, Liège, 2008.
- [4] MORON B., *Conception & Evaluation des bâtiments bois sous sollicitations horizontales*, ENSTIB, Epinal, 20-03-2014.

- [5] NATTERER J., et SANDOZ J-L., *Construction en bois : Matériaux, technologie et dimensionnement*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2011.
- [6] PARMENTIER B. et SKOWRON A., *Constructions à ossature en bois 1^{ère} partie : contreventement des murs porteurs*, Les dossiers du CSTC 2011/3.2, 2011.
- [7] UCL, *Le bois dans la construction : Module 1 à 5, 6^{ème} édition*, Louvain, 2010-2011.