



ETUDE

**CARACTERISATION
DE LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES
DE STRUCTURES EN BOIS**

PARTIE 1

ASSEMBLAGE PAR VIS

AVERTISSEMENT

Cette publication vise à mettre à disposition des acteurs de la construction les résultats d'études menées dans le cadre des travaux de la Commission Technique d'ADIVbois.

ADIVbois ne saurait être tenu pour responsable des omissions, inexactitudes ou erreurs que pourrait contenir cette publication et qui résulteraient de la retranscription de ces études, réalisées sous la responsabilité de leurs auteurs respectifs, et auxquelles le lecteur est invité à se référer directement.

ADIVbois souligne également que les éléments et recommandations retranscrites dans le présent ouvrage présentent un caractère informatif et ne sauraient en aucun cas se substituer, même pour partie, aux études techniques et juridiques, tant au stade de la conception que de l'exécution, qui incombent à chaque acteur de la construction dans le cadre des projets auxquels il pourra être amené à participer.

Droits d'auteur - copyright ©

L'ensemble de ce document relève de la législation française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction sont réservés, y compris pour les documents téléchargeables et les représentations iconographiques et photographiques.

La reproduction de tout ou partie de ce document, y compris sur un support électronique quel qu'il soit est formellement interdite sauf autorisation expresse d'ADIVbois, du Codifab et des réalisateurs de l'étude.

PRÉAMBULE

Depuis 2016, l'Association pour le Développement des Immeubles à Vivre Bois porte un projet innovant reposant sur des immeubles bois de moyenne et grande hauteur, qui se distinguent par des solutions structurelles bois et des aménagements intérieurs faisant appel au bois.

Ce projet innovant va de pair avec un important travail collectif (études, benchmark, prototypages) visant à accompagner la réalisation d'immeubles démonstrateurs.

La Commission Technique d'ADIVbois a lancé, depuis 2016, un nombre conséquent de travaux dans le cadre d'ateliers thématiques (structure, incendie, acoustique, enveloppe, environnement...) et d'études afin d'accompagner la conception et la réalisation des Immeubles à Vivre Bois. L'objectif de ces travaux est de favoriser la levée de freins technico-réglementaires et d'être partagés avec la collectivité.

Le présent document s'inscrit dans cette démarche.

L'étude présentée vise à caractériser et à établir des moyens d'évaluation de la raideur des assemblages de forte capacité

Elle a été menée par l'association du CRITTbois et du LERMAB.

CARACTERISATION DE LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES DE STRUCTURES EN BOIS

L'association ADIVbois travaille depuis plusieurs années pour accompagner l'émergence de Bâtiments en Bois de Grand Hauteur (BBGH) en France.

Les études de cas, menées en 2017, ont permis d'identifier plusieurs points fondamentaux à prendre en compte dans la démarche de conception d'un BBGH, et l'évaluation fine de la raideur des assemblages au sein des structures en bois est un point critique qui méritait l'attention de l'atelier structures.

En effet, l'augmentation de la hauteur des immeubles bois, et le recours à des assemblages permettant le transfert d'efforts de plus en plus importants au sein des structures, font que les immeubles deviennent plus sensibles au comportement de ces dits assemblages.

Lors de la construction des immeubles de moyenne et grande hauteur, la raideur de la structure est un paramètre clé pour la bonne modélisation et la justification du projet. La prise en compte des raideurs élastiques dans les connexions entre éléments en bois est indispensable pour rendre compte du comportement global de la structure. Pour cela, l'ingénieur se doit de disposer de la valeur de la raideur des assemblages la plus précise possible.

La problématique de la raideur des assemblages est en outre une thématique bien particulière, car il n'y a pas de moyen pour l'ingénieur calculateur de « se placer du côté de la sécurité » pour mener sa conception :

- Si la raideur est sous-estimée, les déplacements sont alors certes surestimés, mais les efforts au sein des organes d'assemblages peuvent être plus importants que prévus et potentiellement entraîner des ruptures non maîtrisées dans les nœuds d'assemblages
- Si la raideur est surestimée, les efforts dans les assemblages peuvent certes être inférieurs aux actions prévues, mais les déplacements calculés sont alors sous-estimés, ce qui peut entraîner des inconforts ou pire une impropriété à l'usage.

Actuellement, l'Eurocode 5 propose une méthode de calcul de la raideur de ces assemblages très approximative, peu adaptée aux configurations possibles des immeubles de grande hauteur (avec un nombre d'organes important), transmettant éventuellement des moments ou encore faisant appel à des montages moins répandus (CLT, vissage à 30° ou 45°). Ces outils ne permettent pas d'assurer le calcul avec précision et rend difficile la maîtrise du comportement de ces structures bois de grande hauteur.

En conséquence, l'atelier structure a considéré nécessaire de mener des essais d'assemblages bois pour définir une méthodologie permettant de cibler une valeur de raideur la plus proche de la réalité possible, en fonction de différents paramètres tel que la nature des organes d'assemblages, la nature des pièces bois assemblées ou encore la disposition du montage dans son ensemble.

Un plan d'expérimentation a été définie, en visant à la fois à caractériser les comportements réels des assemblages, mais aussi à s'assurer de la reproductibilité des phénomènes par modélisation et extrapolation. L'objectif est bien d'outiller les calculateurs et ingénieurs de nouvelles formulations permettant de rendre compte au mieux des raideurs des assemblages pour différentes configurations que l'on retrouve dans les structures des bâtiments bois de grande hauteur.

Ainsi, les essais suivants ont été menés :

- Essais de comportement locaux pour alimentation de la modélisation : essais d'arrachement de vis, de portance locale et de flexion de broche ;
- Essais de comportements d'assemblages pour validation et extrapolation : essais sur assemblage par vis, alternés ou non, essais sur assemblages par broches de 12 mm et de 16 mm, essais sur assemblages par contact direct

Pour les essais de comportements d'assemblages, les sollicitations ont en outre été poussées jusqu'à la rupture afin d'enrichir également les bases de données de recherche sur la performance des assemblages renforcés (vis de frettage perpendiculaires).

Dans le cadre de l'action de recherche, les notes de calcul précises ont été élaborées afin de confronter les résultats mesurés avec les valeurs obtenues par le calcul en application de l'Eurocode 5 partie 1-1 (tant en termes de résistance que de raideur). Une analyse a également été menée afin d'évaluer et de préciser les incidences d'une variation des tolérances admissibles sur la fabrication des assemblages bois-métal (notamment sur le jeu au sein des plaques métalliques).

Enfin, de nouvelles formulations analytiques ont été proposées afin d'obtenir les valeurs de glissement, exprimées en kN/mm et calculées en fonction de quelques paramètres clefs définissant les assemblages :

- Le nombre d'organes par file (en unité)
- Le nombre de files d'organes (en unité – nombre pair)
- L'épaisseur de bois (en mm)
- L'épaisseur du ou des plats métalliques (en mm)
- Le diamètre des organes (en mm)
- La pince entre organes dans le sens du fil (en mm)

Les limites d'applications de cette étude doivent cependant être bien comprises :

- Les raideurs sont formulées avec l'hypothèse d'une absence de jeu dans les pièces en bois et d'un jeu de 0,6 mm au diamètre entre la tige et le plat métallique
- Les bois employés relèvent de la classe GL28h (bien que commandés en GL24h, les bois utilisés se sont révélés être plus proches dans leurs caractéristiques – densité et module d'élasticité – d'un bois classe GL28h)

Les résultats de ces essais et les analyses qui en sont tirées ne sont pas à considérer à ce stade comme normatifs, mais permettent :

- Aux concepteurs de structures en bois d'affiner leurs analyses structurelles
- Aux développeurs de logiciels de calculs de proposer de nouvelles approches sur l'évaluation des assemblages
- Au groupe de travail en charge de l'Eurocode 5 d'enrichir le corpus normatif de ces nouvelles connaissances, tant sur les raideurs d'assemblages que sur la rupture d'assemblages bois renforcés (ce travail a été soumis au WG5 en charge de la révision et mise à jour du texte) ;
- De tirer quelques grands enseignements ou de confirmer des pratiques actuelles :
 - o la mobilisation de l'effet de corde dans les organes d'assemblages n'est réelle que sur des assemblages présentant un contact parfait ;
 - o les vis disposées à 90° du plan de cisaillement conduisent à des raideurs faibles. Les configurations à vis inclinées permettent un gain substantiel de rigidité ;
 - o les vis inclinées subissent une perte de raideur très faible sous sollicitations alternées ;
 - o la raideur des assemblages augmente généralement en fonction du rapport « t/d » (t = épaisseur du bois ; d = diamètre de l'organe) ;
 - o Assemblage en contact direct : comportement relativement similaire entre bois-bois, bois-acier et bois-mortier

SOMMAIRE PARTIE 1 : ASSEMBLAGE PAR VIS

1. **BIBLIO-1** : Rapport bibliographique des assemblages par vis
2. **NOTE-1** : Note de calcul des assemblages par vis
3. **PRO-1.1** : Protocole d'essais d'arrachement de vis
4. **PRO-1.2** : Protocole d'essais des assemblages par vis
5. **PRO-1.3** : Protocole d'essais alternés d'assemblages par vis
6. **RAP-1.1** : Rapport d'essais des assemblages de panneau CLT par vis
7. **RAP-1.2** : Rapport d'essais des assemblages des CLT par vis

1. BIBLIO-1

Rapport bibliographique des assemblages par vis



Laboratoire d'Etudes et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 4370 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

BIBLIO-1 : Rapport bibliographique des assemblages par vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

Ecole Nationale Supérieure
des Technologies et Industries du Bois
27, rue Philippe SEGUIN
CS60036
88026 EPINAL

Tél : 03-74-76-91-11
Fax : 03-72-74-96-38
e-mail : jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - INTRODUCTION DU PROJET	3
2. - SYSTEME DE CONSTRUCTION PAR CLT	7
2.1. PRODUIT	7
2.2. CONSTRUCTION	8
2.3. DIAPHRAGME	9
3. - ASSEMBLAGE PAR ORGANES METALLIQUES	10
3.1.1. <i>Vissage réalisé directement entre deux panneaux</i>	11
3.1.2. <i>Vissage avec pièce rapportée de type languette</i>	13
3.1.2.1. Matériau	13
3.1.2.2. Typologie	14
4. - TYPES D'ORGANES DE FIXATION DU TYPE TIGES	16
4.1. POINTES	16
4.2. VIS	17
5. - CARACTERISTIQUES DES ASSEMBLAGES PAR VIS	19
5.1. COMPORTEMENT D'ASSEMBLAGE A UN ORGANE	19
5.1.1. <i>Fonctionnement mécanique</i>	19
5.1.2. <i>Définition des déplacements</i>	21
5.1.3. <i>Détermination de la raideur complète de l'assemblage</i>	22
5.1.3.1. Définition de la raideur axiale	22
5.1.3.2. Définition de la raideur latérale	23
5.1.3.3. Raideur d'une vis perpendiculaire au plan de cisaillement	24
5.1.3.4. Raideur d'une vis à un angle : cas généralisé	27
5.1.4. <i>Détermination de la capacité résistante de cisaillement</i>	30
5.1.4.1. Définition de la capacité résistance axiale	30
5.1.4.2. Définition de la capacité résistante latérale	31
5.1.4.3. Capacité résistante d'une vis perpendiculaire au plan de cisaillement	32
5.1.4.4. Capacité résistante d'une vis inclinée : cas généralisé	32
5.2. COMPORTEMENT A DEUX ORGANES INCLINES	35
5.2.1. <i>Principe de reprise d'efforts mécaniques</i>	35
5.2.1.1. Vis disposées croisées dans le même plan (2D)	35
5.2.1.2. Vis disposées croisées dans des plans différents (3D)	36
5.2.2. <i>Détermination de la raideur totale d'assemblage</i>	39
5.2.2.1. 2D	39
5.2.2.2. 3D	41
5.2.3. <i>Détermination de la capacité résistante</i>	43
5.2.3.1. 2D	43
5.2.3.2. 3D	45
5.3. PHENOMENOLOGIE LOCALE	46
5.3.1. <i>Portance locale</i>	46
5.3.2. <i>Résistance à l'arrachement</i>	47
5.3.3. <i>Résistance à la traversée de la tête</i>	48
5.3.4. <i>Moment plastique</i>	50
5.3.5. <i>Capacité résistante à la traction</i>	51
6. - CONCLUSIONS	52
7. - BIBLIOGRAPHIE :	53

1. – INTRODUCTION DU PROJET

Le bois est un matériau naturel, l'un des premiers à être utilisé comme matériau de construction pour différents usages. Au fil des siècles, le matériau bois s'est vu remplacé par d'autres matériaux comme le béton armé et l'acier pour la construction de bâtiment. Aujourd'hui, ces deux matériaux demeurent ses principaux concurrents.

Au fil des années et après de nombreuses années de recherches, des produits dits « d'ingénierie » ont vu le jour comme le panneau de fibres à haute densité, le panneau de particules, le panneau de contreplaqué, le bois lamellé-collé dit « BLC », et plus récemment le bois lamellé-croisé dit « CLT ». Ces produits permettent d'obtenir une homogénéisation des propriétés mécaniques à partir de la matière première les constituants. Depuis, la part du bois dans la construction n'a cessé de croître. En 2012, 2197 entreprises recensées par « l'Enquête nationale de la construction bois » [1] ont permis de faire 3,1% du chiffre d'affaire national du bâtiment, représentant 4 milliards d'euros. Ce chiffre est réalisé en considérant plusieurs systèmes constructifs, dont la part relative est représentée en Figure I-1.

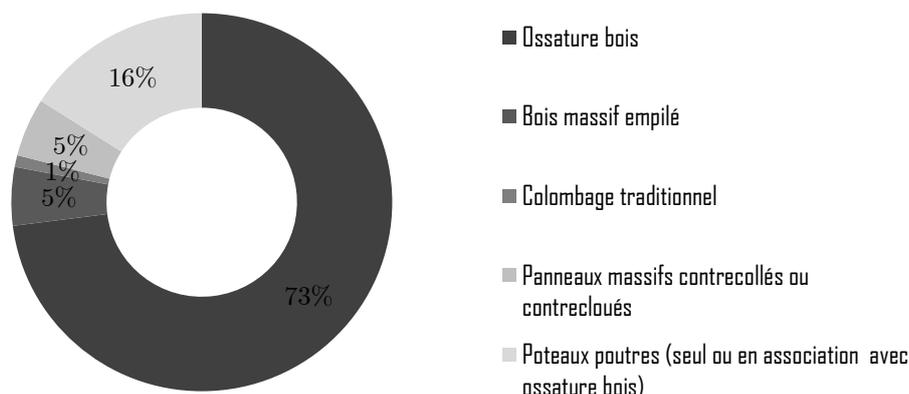


Figure I-1 : Part des différents systèmes constructifs dans le marché non-résidentiel

Par l'utilisation du bois comme élément structurel, les architectes cherchent à développer des structures fines, élancées et légères afin d'obtenir de grands espaces ainsi qu'un certain esthétisme [3]. Aujourd'hui, la nécessité de construire durablement n'est plus à justifier, ceci constitue la vision de l'avenir tout en préservant les terres agricoles. La conception de ces futures constructions doit être pensée pour qu'elle soit évolutive et modulaire tout en essayant de permettre la réutilisation des produits de déconstruction en fin de vie. L'ensemble des enjeux économique, sociale et environnementale laissent donc entrevoir un fort potentiel de développement des systèmes constructifs en bois.

Après avoir fait ce constat, il a émergé une volonté de la profession des constructeurs bois et autres de passer un nouveau cap : construire des Bâtiments en Bois de Grande Hauteur appelés « BBGH ». Cette volonté de construire des bâtiments doit cependant s'accompagner d'études spécifiques afin de répondre aux nouvelles problématiques que soulève ce genre d'ouvrage. Un certain nombre a été relevé dans le vade-mecum publié par l'association « ADIV'BOIS ».

Pour rappel, les trois systèmes constructifs envisagés par ces constructions sont rappelés sur les figures ci- dessous :

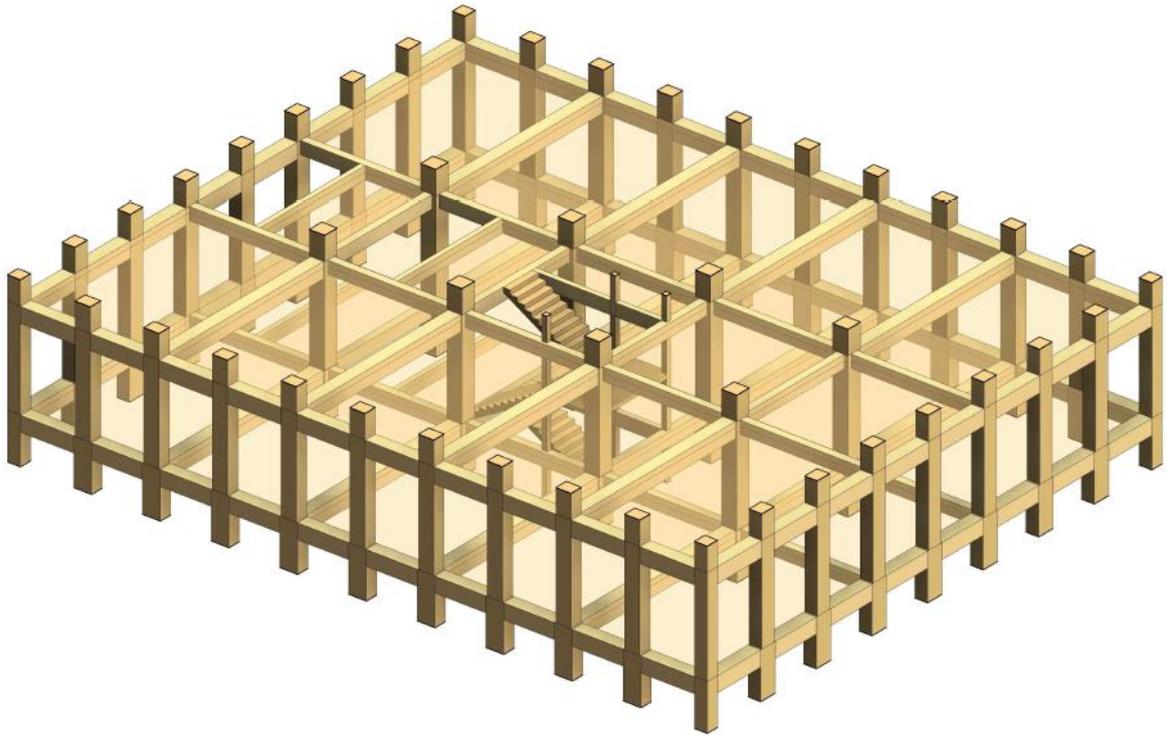


Figure 1-2 : Principe constructif du système poteau poutre [1]

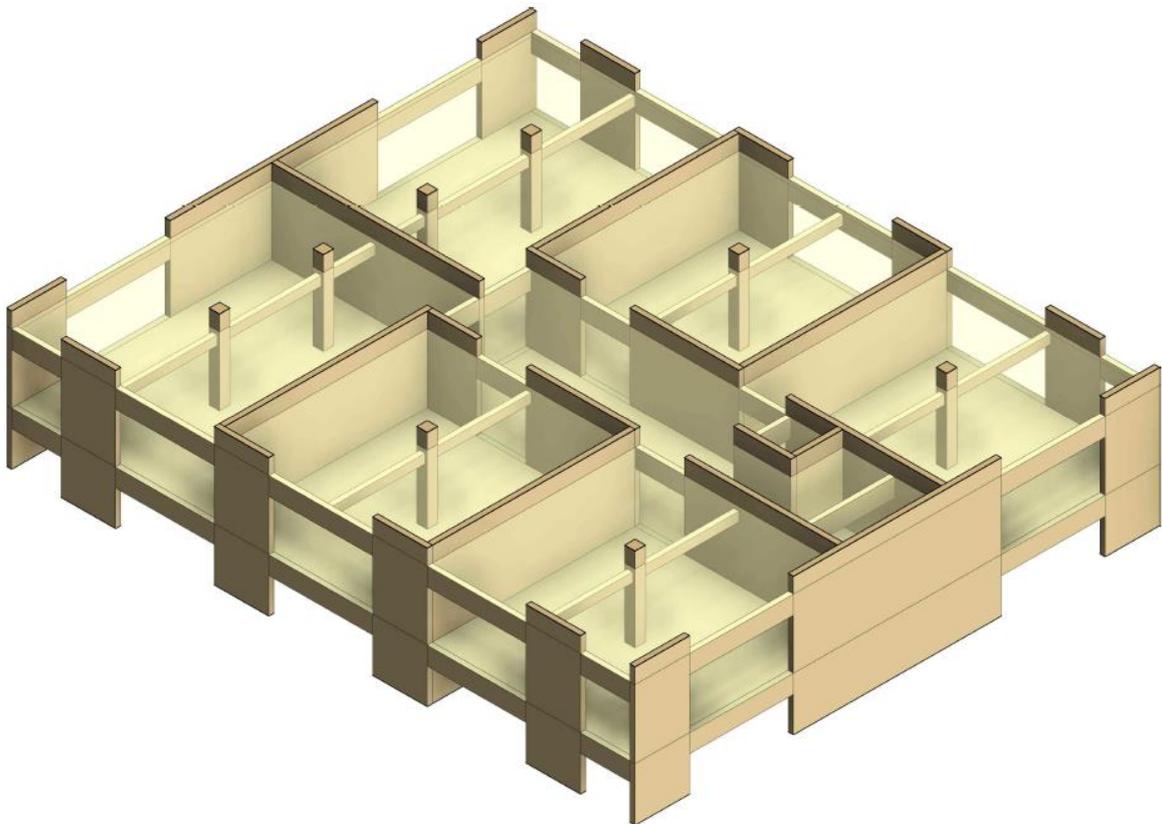


Figure 1-3 : Principe constructif du système de panneau porteurs et contreventant [1]

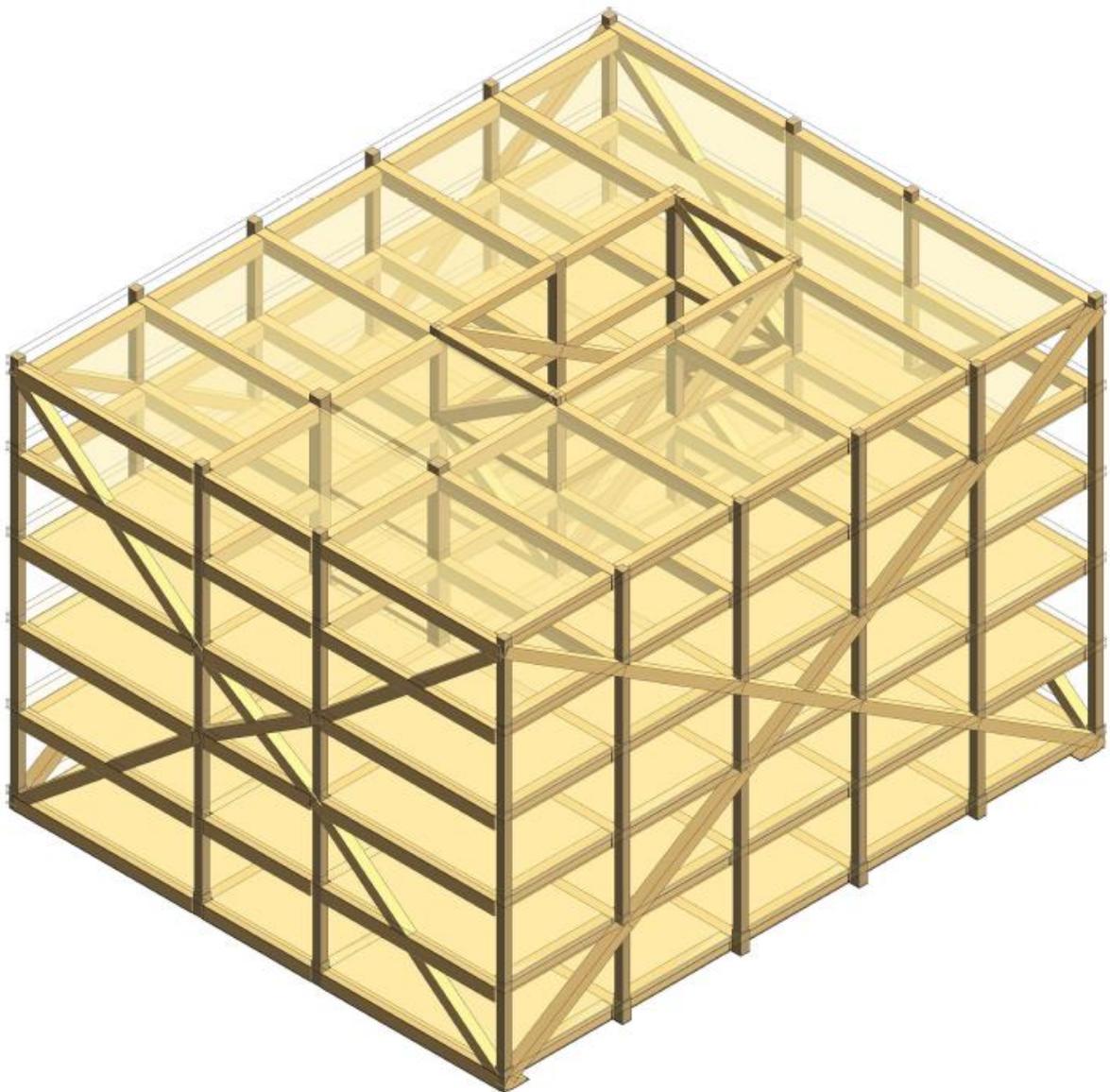


Figure I-4 : Principe constructif du système exosquelette [1]

Aujourd'hui, d'un point de vue mécanique, les matériaux à base de lamelles collées sont idéalement positionnés pour concevoir des structures complexes. Ils proposent soit des éléments porteurs longilignes (poteaux et poutres), soit des éléments de type plaque ou coque. Ainsi, le bois lamellé-collé (BLC), fabriqué par un empilement de lamelles collées dans la même sens longitudinal et le bois lamellé-croisé (CLT) fabriqué par un empilement de lamelles croisées et collées.

Aujourd'hui, en Europe, l'utilisation du BLC et le CLT, comme éléments structuraux, repose sur des normes produit et une norme de dimensionnement. Les normes de produit permettent de réglementer la fabrication du produit concerné et de classifier les caractéristiques mécaniques des éléments en fonction de différentes classes de résistances mécaniques des lamelles constituant le produit. Ces normes sont la norme NF EN 14080 [2] et la norme NF EN 16351 [3] respectivement pour le BLC et le CLT. Elles permettent donc de connaître les propriétés intrinsèques des produits.

La norme de dimensionnement est la norme NF EN 1995-1-1 [4], appelée plus généralement sous le nom Eurocode 5 (EC5). Elle permet de définir les règles de dimensionnement des structures en bois, il est à noter que cette norme est en cours de révision. Cette révision doit servir à combler un certain nombre de lacunes que des applications comme la construction de bâtiment de grande hauteur font nécessairement apparaître. Il convient donc de rester vigilant à ce que les nouveaux développements ne constituent pas des entraves dans

leur domaine d'application. C'est pourquoi il est nécessaire d'accompagner ces révisions par des études spécifiques en parallèle.

Un certain nombre de verrous scientifiques ont donc été identifiés dans l'étude de cas des trois systèmes constructifs présentés précédemment, ils sont décrits dans le vade-mecum.

Les verrous scientifiques ont été classés selon les thématiques suivantes donnant lieu à 5 ateliers techniques du même nom :

- Structurelle,
- Incendie,
- Enveloppe et thermique
- Durabilité Entretien
- Acoustique.

Un des verrous scientifiques commun aux trois systèmes constructifs réside dans la maîtrise de la raideur des assemblages. Aujourd'hui, l'EC5 [4] propose d'estimer la raideur des organes dénommé « Kser » pour remonter à la raideur d'assemblage en fonction de la constitution de ce dernier. Cependant, cette proposition reste très approchée, cette approche permet dans les calculs de voir la sensibilité des ouvrages à cette caractéristique mécanique mais elle ne permet pas de résoudre finement la problématique.

A l'origine de l'EC5 [4], la notion de raideur d'assemblage avait peu d'importance sur le dimensionnement d'un bâtiment puisque les bâtiments étaient souvent de conception isostatique et de redondance. Aujourd'hui, la valeur de la raideur d'assemblage doit être maîtrisée puisqu'elle a un impact fort sur le dimensionnement des BBGHs. Cette valeur intervient sur le dimensionnement à l'état limite ultime et sur tout sur les vérifications aux aptitudes de service comme le confort sous charge de vent.

Afin de répondre à un dimensionnement des bâtiments avec une bonne maîtrise des valeurs des raideurs d'assemblages, des essais expérimentaux sont proposés permettant de lever les verrous scientifiques de la raideur d'assemblage et ainsi franchir ce nouveau cap.

Ainsi les objectifs de l'étude sont de réaliser des campagnes d'essais mécaniques permettant d'établir des outils d'estimation de la raideur sur des configurations d'assemblages retenus par l'atelier structure. Ces résultats d'essais serviront également à nourrir des modèles analytiques et éléments finis afin d'assurer l'extrapolation des résultats obtenus.

Dans ce présent rapport, un focus est effectué sur le verrou scientifique du système dit « Panneaux porteurs et contreventant » connectés par des vis.

2. - SYSTEME DE CONSTRUCTION PAR CLT

2.1. PRODUIT

Le panneau bois lamellé-collé croisé, communément appelé « (CLT) Cross Laminated Timber » a vu le jour en Autriche et en Allemagne durant les années 1990, il s'en fabrique aujourd'hui également en France. Ce panneau est composé d'un empilement de couches (multi-plis) de bois, aboutées et collés. Dans leur immense majorité, ils sont fabriqués à partir d'essences résineuses de type Epicéa ou Sapin. Les couches (plis) sont constituées de planches de bois, généralement de classe mécanique C24, rabotées, aboutées pouvant parfois être panneautées pour créer ainsi un panneau monocouche. Ces couches sont ensuite empilées avec une orientation de fil croisée perpendiculairement par couche. Le nombre de plis peut aller de 3 à 11 plis toujours en nombre impair. L'épaisseur de chacune des couches peut varier de 20 mm à 80mm. De part cette constitution, les plis extérieurs ont une orientation identique.



Figure 2-1 : Constitution d'un panneau CLT

Les dimensions courantes des panneaux sont :

- Une largeur de 1,20 m à 3,00 m,
- Une longueur pouvant aller jusqu'à 20 m,
- Une épaisseur de 60 mm à 320 mm.

Actuellement, la réglementation de ce type de panneaux est définie par les Avis Techniques et DTA (Document Technique d'Application) des fabricants de panneau CLT. Cependant, la norme NF EN 16351 [3] spécifie les dispositions à retenir pour garantir les caractéristiques de performance du bois lamellé-collé croisé.

Les principaux avantages de ce panneau sont la souplesse d'utilisation étant données ses grandes dimensions et sa composition. Une préfabrication des éléments de constructions, un chantier sec et propre et des propriétés mécaniques permettent de répondre aux besoins des bâtiments. Les principaux inconvénients sont la modélisation complexe vu sa composition orthotrope, la consommation de bois et le comportement acoustique.

2.2. CONSTRUCTION

Aujourd'hui, l'utilisation d'un tel produit a pour objectif de créer des éléments de structure horizontaux du type plancher, des éléments de structure verticaux du type voile de contreventement et des éléments de structure obliques de type panneau support de toiture (cf. Figure 2-2). Il peut ainsi répondre à l'ensemble des contraintes structurelles d'un bâtiment de type résidentiel, bureau, hôtelier etc.

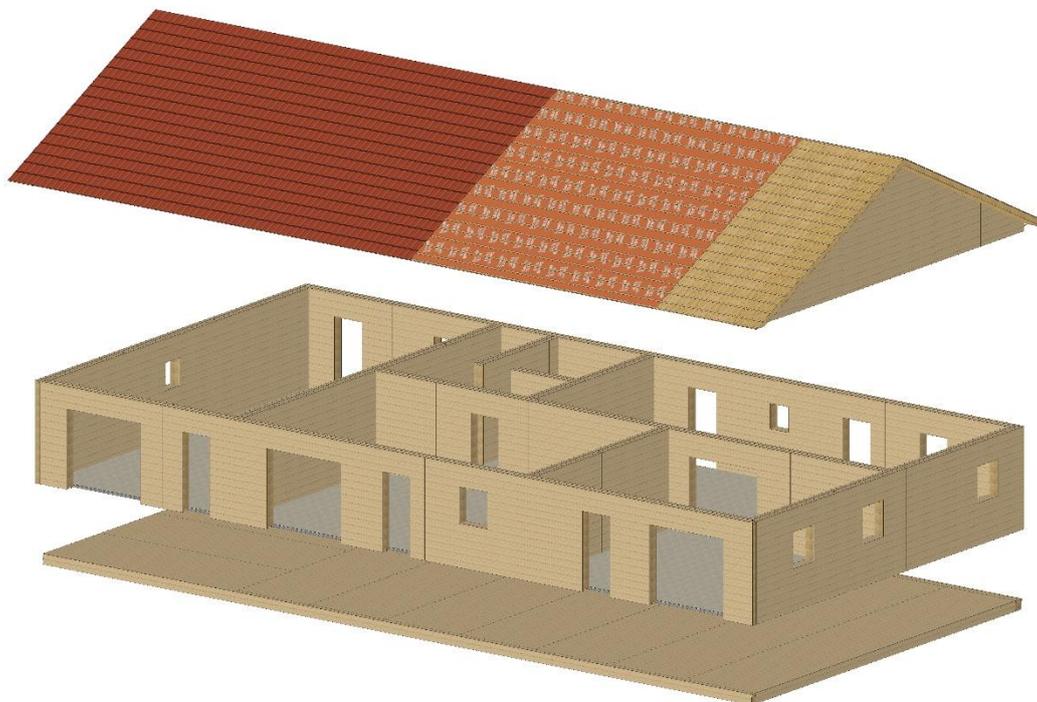


Figure 2-2 : Eléments de structure du type panneau sur un bâtiment

Lorsqu'un bâtiment est uniquement conçu avec des panneaux CLT, il présente l'avantage de disposer d'une raideur d'ensemble plus élevée que celle d'un système de type « Poteaux-Poutres » grâce à la rigidité de ses diaphragmes. De ce fait, ce système structurel a toute sa place dans la construction de BBGHS, où la hauteur d'un immeuble contreventé avec des refends est susceptible d'être plus importante. En plus de ce rôle de contreventement, ces éléments de structures en bois massif peuvent assurer d'autres fonctions dans le bâtiment comme la protection incendie, l'étanchéité à l'air etc

A partir d'un seul et même produit d'ingénierie, la construction peut ainsi être faite de manière totale et rapide. Les éléments structurels verticaux permettent de transmettre les charges verticales jusqu'aux fondations, tout en contreventant le bâtiment. L'épaisseur de ces éléments est ainsi adaptée en fonction des charges verticales à transmettre jusqu'aux fondations.

Disposés à plat, les panneaux CLT permettent le transfert des charges gravitaires ainsi que celui des charges d'exploitations pour les transmettre en tête des éléments verticaux. L'assemblage des panneaux CLT doit alors également servir de diaphragme pour assurer le transfert des chargements horizontaux jusqu'aux points durs de la structure. C'est sur la couture de ces diaphragmes communément réalisés par des vis que se porte précisément cette étude.

2.3. DIAPHRAGME

L'efficacité des plaques de CLT disposées à plat pour transférer les charges repose dans le transfert de cisaillement entre les éléments de construction, introduisant la notion de diaphragme. Un diaphragme est donc un système structurel utilisé pour transférer les charges horizontales (vent, séisme) vers les éléments verticaux de contreventement sans risque de voilement.

Si le bâtiment est pourvu d'un système de diaphragme « rigide », cela signifie que toutes les déformations dans son plan sont bloquées et qu'il bouge simultanément avec les systèmes structurels verticaux qui résistent aux forces horizontales. Le bâtiment se déforme ainsi de manière homogène et la distribution des efforts horizontaux s'effectue de manière efficace. Pour cela, le plancher diaphragme doit avoir une rigidité suffisante afin que la déformabilité de cisaillement reste quasi négligeable par rapport aux déplacements horizontaux des éléments porteurs. Le transfert des efforts dans le plancher dépend, notamment, de sa géométrie. L'analyse peut être menée en considérant le comportement du plancher comme celui d'une poutre disposée à plat c'est-à-dire proche de celui d'un mécanisme de poutre en treillis. Le calcul des efforts internes du diaphragme permet de dimensionner les joints entre éléments et dans les assemblages avec les panneaux verticaux (cf. Figure 2-3).

Il convient donc de vérifier :

- La capacité des plis parallèles à l'axe de la charge en traction et compression
- Le dimensionnement du tirant en bord de plancher (pièce rapportée aux joints renforcés)
- La résistance des liaisons aux murs porteurs.
- La capacité des vis à transférer les efforts aux panneaux adjacents (effort de cisaillement)

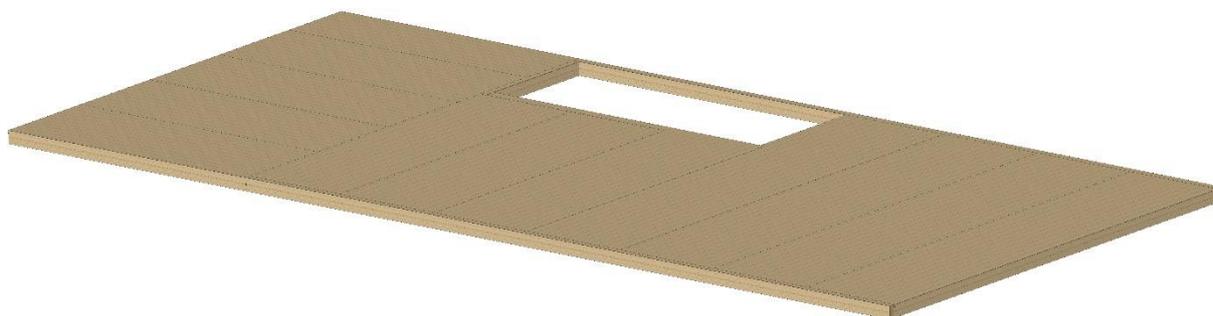


Figure 2-3 : Principe d'un diaphragme

L'étude se focalisera sur ce dernier type d'assemblage pour transférer les efforts de cisaillement aux panneaux adjacents. L'hypothèse d'un diaphragme rigide est une simplification. En effet, le comportement du système global (diaphragme + éléments verticaux de contreventement) dépend des liaisons internes (liaisons entre les éléments du diaphragme et entre le diaphragme et les éléments verticaux). Plus ces liaisons sont rigides, plus le système se comportera selon l'hypothèse du diaphragme rigide et plus elles sont souples, plus les éléments se déplacent de façon indépendante. Ces déplacements s'amplifient d'étage à étage et peuvent, dans le cas d'un immeuble de moyenne et de grande hauteur, ne plus être acceptable vis-à-vis des États Limites de Service, voire même être en incompatibilité avec les systèmes de façade.

Il se comprend maintenant aisément que la caractérisation du comportement mécanique des liaisons du système est importante.

Dans la suite de ce document, il est porté intérêt aux solutions existantes de liaisons entre les panneaux CLT de plancher (éléments du diaphragme rigide) et panneaux de plancher/ éléments de contreventement verticaux.

3. - ASSEMBLAGE PAR ORGANES METALLIQUES

Pour transférer le cisaillement entre les différents panneaux de CLT, deux familles d'assemblages sont communément rencontrées. La première famille regroupe les assemblages par contact bois-bois. Les bords des panneaux peuvent être usinés en forme de créneau et d'emboîtement obligeant une perte de matière considérable. Les bords peuvent être également droits et des taquets ajustés en forme de diabolo peuvent être enfoncés dans des logements usinés. Cette famille d'assemblages a été écartée de l'étude pour des raisons économiques.

L'autre famille, qui est la plus répandue, regroupe les connexions de panneaux réalisés à l'aide d'organes métalliques de type vis. Cette famille peut également se décomposer en deux. En premier lieu, les organes métalliques peuvent être mis en place directement à partir de bords simplement affranchis ou de bords usinés (feuillure) facilitant la pose tout en évitant le pianotage. L'autre manière de procéder consiste à ajouter une languette qui vient se mettre en place dans une feuillure usinée sur chacun des panneaux à joindre. Ces languettes sont généralement en bois reconstitués, elles peuvent également être en métal.

Aujourd'hui, les vis peuvent être mise en œuvre selon plusieurs orientations pour des questions d'efficacité. En effet, les vis pouvant être filetées sur toute leur longueur, elles sont capables de reprendre des efforts de traction. Le fait de faire travailler les vis en traction dans les coutures de diaphragme permet d'augmenter considérablement la raideur ainsi que la résistance.

Les différents angles intervenant dans la mise en œuvre et le dimensionnement des vis sont présentés en Figure 3-1.

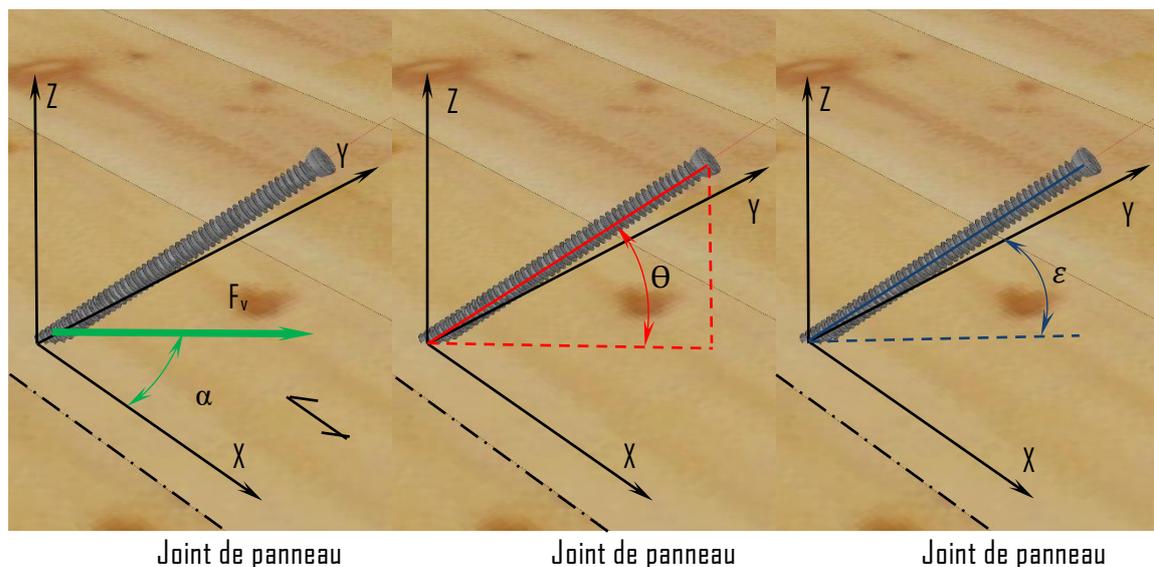


Figure 3-1: Définitions des angles d'insertion des vis.

- α est l'angle entre la force exercée et la direction du joint entre panneaux défini par l'axe X [°]
- θ est l'angle d'inclinaison de la vis par rapport au plan du panneau défini par le plan XY [°]
- ε est l'angle entre la projection de l'axe de la vis sur le plan XY [°] et la perpendiculaire à la direction du joint entre panneau.

3.1.1. Vissage réalisé directement entre deux panneaux

Les assemblages à bords droits ne nécessitent pas d'usinage spécifique. Ils n'engendrent aucune perte de matière. Pour ce type d'assemblage, il est possible d'insérer les vis de deux manières différentes.

La première est la mise en place de vis croisées dans le plan de joint perpendiculairement ($\varepsilon = 0^\circ$) au plan de cisaillement avec un angle Θ (cf. Figure 3-2) généralement de 45° . La mise en charge de ce type de connexion engendre le cisaillement des vis. La portance locale est déterminante sur la propriété de raideur. Bien que la disposition avec un angle confère une résistance en traction perpendiculairement à la direction du joint, celle-ci doit être complétée pour éviter la déformation en éventail des diaphragmes. Ce type de mise en œuvre peut s'illustrer de la manière suivante.

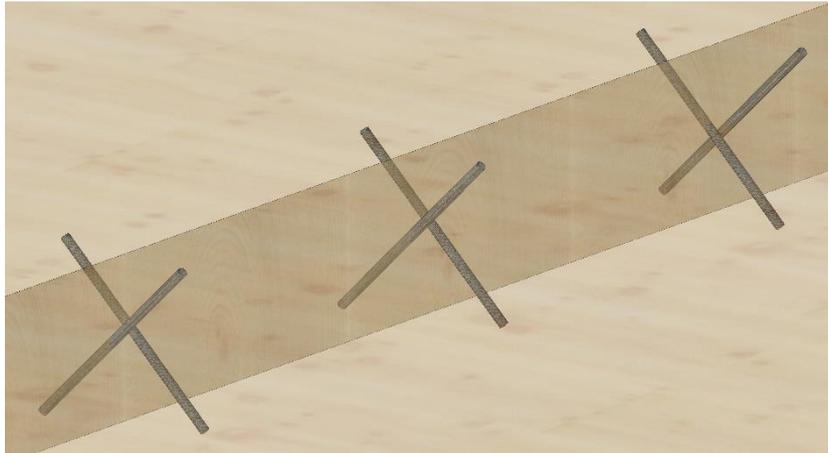


Figure 3-2 : Principe d'assemblage avec deux vis croisées avec un angle d'inclinaison $\varepsilon = 0^\circ$ et $\theta = 45^\circ$

La deuxième mise en œuvre possible de vis croisées inclinées à un angle Θ apparaît avec un angle ε supérieur à 0° , 45° par exemple (cf. Figure 3-3). La différence fondamentale avec le principe précédent réside dans la mise en tension de la vis lorsque apparaît un glissement dans le joint entre panneau, ce qui apporte normalement de la raideur.

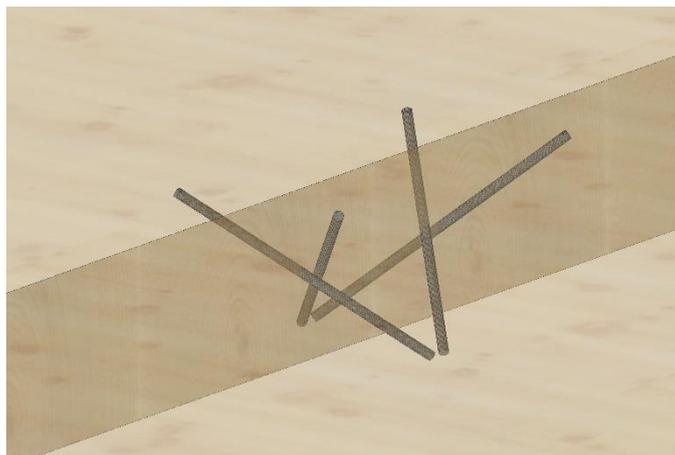


Figure 3-3 : Principe d'assemblage avec deux vis croisées avec deux angles d'inclinaison $\varepsilon = 45^\circ$ et $\theta = 45^\circ$

Les vissages précédents peuvent être réalisés également sur un assemblage à mi-bois (cf. Figure 3-4). Cet assemblage nécessite un usinage des panneaux par un défonçage d'une profondeur de la demi-épaisseur du panneau CLT et d'une largeur permettant l'insertion des vis nécessaire à une résistance optimale. Cette largeur dépend du nombre de vis à mettre dans la largeur du mi-bois. L'inconvénient de ce type d'assemblage est une perte de matière non négligeable vis-à-vis des autres types d'assemblages, il permet cependant le calage en altitude des panneaux et un blocage direct du pianotage.

Pour ce type d'assemblage, les vis peuvent être insérées soit perpendiculairement au plan du panneau avec $\varepsilon = 0^\circ$ et $\theta = 90^\circ$, de façon inclinée avec $\varepsilon = 90^\circ$ et $\theta = 45^\circ$.

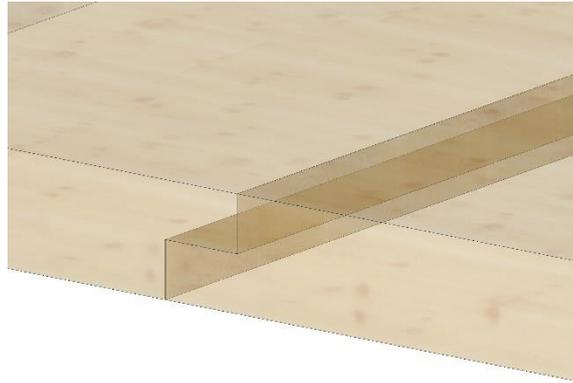


Figure 3-4 : Principe d'assemblage par mi-bois

3.1.2. Vissage avec pièce rapportée de type languette

3.1.2.1. Matériau

Un deuxième type de vissage entre les panneaux existe, dénommé « Assemblage par rainure/languette ». Il est confectionné à l'aide d'une pièce rapportée en bois ou en métal.

Le premier matériau en bois est le lamibois communément appelé « LVL » (cf. Figure 3-5). Il désigne un matériau composé de placages minces de bois collés généralement dans le sens longitudinal du bois. Il existe cependant des panneaux lamibois où certains plis sont mis de façon perpendiculaire par rapport au sens principal du panneau. Cette variante présente ainsi une meilleure stabilité dimensionnelle et surtout une résistance transversale importante. La continuité mécanique est généralement conférée par un scarfage (joint en sifflet). Les dimensions courantes du lamibois sont une épaisseur variant de 25mm à 75mm, une largeur de 1,8m et une longueur pouvant aller jusqu'à 18m. Par sa composition, le lamibois est un matériau présentant des propriétés mécaniques peu variables, permettant de réaliser des éléments porteurs horizontaux du type poutre. Les exigences de fabrication doivent être conformes à la norme NF EN 14374. Les propriétés mécaniques du matériau sont données par le fabricant au travers de son marquage CE.



Figure 3-5 : Panneau de Lamibois

Le deuxième matériau en bois est le panneau contreplaqué (cf. Figure 3-6). Contrairement au lamibois, le panneau contreplaqué est confectionné par un empilage de plis croisés perpendiculairement à chaque couche. Les dimensions courantes du contreplaqué sont une épaisseur variant de 6mm à 30mm, une largeur variant de 1,2m à 1,5m et une longueur variant de 2,5m à 3,1m permettant une utilisation en plaque du type bardage ou panneau de plancher. Les exigences de fabrication doivent être conformes à la norme NF EN 636. La classification des panneaux de contreplaqué est régie conformément à la norme NF EN 313-1.



Figure 3-6 : Panneau de contreplaqué

3.1.2.2. Typologie

La première typologie d'assemblage par languette est l'assemblage par simple languette extérieure. Cet assemblage nécessite un défouçage de la demi-largeur de la languette de son épaisseur sur la partie supérieure sur chacune des panneaux CLT à assembler. Ce type d'usinage est un usinage non complexe à effectuer avec peu de matière perdue. Les vis de l'assemblage peuvent être à filetage partielle ou à filetage totale. Elles sont mises perpendiculairement aux panneaux ou de façon inclinée à l'angle Θ et ($\varepsilon = 90^\circ$).

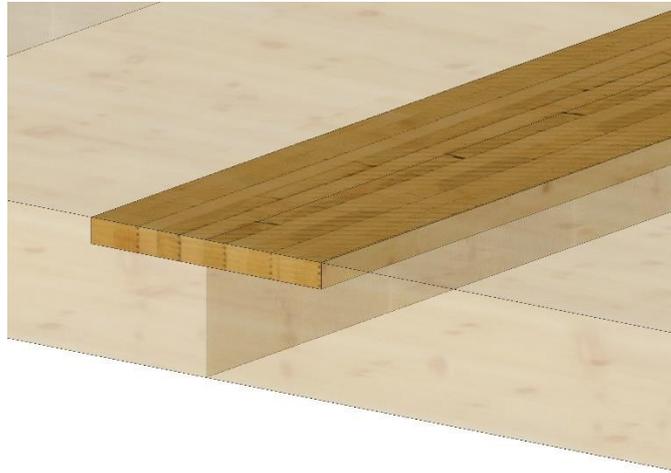


Figure 3-7 : Principe d'assemblage par languette extérieure

La deuxième typologie d'assemblage par languette est l'assemblage par double languette extérieure. Cet assemblage nécessite un défouçage identique au précédent mais sur la partie supérieure et inférieure du panneau CLT. Ce type d'usinage est plus complexe du fait du défouçage de part et d'autre du panneau, mais avec une perte de matière négligeable. Le type de vis et la disposition peuvent être identiques au cas précédent.



Figure 3-8 : Principe d'assemblage par double languettes extérieures

La troisième typologie d'assemblage par languette est l'assemblage par languette intérieure. Cet assemblage nécessite un rainurage à mi-épaisseur du panneau d'une profondeur légèrement supérieure à la demi-largeur de la languette et d'une épaisseur légèrement supérieure à l'épaisseur de la languette. Les vis de l'assemblage peuvent être à filetage partielle ou à filetage totale. Elles sont mises généralement perpendiculairement aux panneaux afin d'éviter l'ouverture. Contrairement aux deux premières typologies, les vis travaillent en double cisaillement.



Figure 3-9 : Principe d'assemblage par languette intérieure

La troisième mise en œuvre possible s'effectue en utilisant une plaque métallique avec de vis disposées perpendiculairement à la face du panneau CLT (cf Figure 3-10.). La raideur de ce type de connexion est conférée par la portance de la vis dans le bois et par l'utilisation de vis permettant de limiter le jeu dans les perçages de la plaque métallique. Les nombreux percements doivent avoir un tolérancement strict au niveau des diamètre de perçage.



Figure 3-10 : Principe d'assemblage avec des vis et plaque métallique $\varepsilon = 0^\circ$ et $\theta = 0^\circ$

4. – TYPES D'ORGANES DE FIXATION DU TYPE TIGES

Aujourd'hui, l'assemblage de panneau CLT s'effectue comme il a été dit avec des organes de fixation du type tige dans la plupart des cas. Sur le marché de la connexion et pour des raisons budgétaires, l'ensemble des connexions évoquées est majoritairement réalisé avec des vis et plus rarement avec des pointes.

4.1. POINTES

L'organe de fixation « pointe » est un accessoire d'assemblage qui a été très utilisé dans le monde de la construction en bois. Aujourd'hui, il est concurrencé par la vis plus polyvalente en termes de solution technique. L'objectif principal d'une pointe est d'assembler deux ou plusieurs pièces de bois ou métal en perforant totalement le premier élément jusqu'à pénétration de son corps dans le second élément.

La pointe est constituée d'une tête, qui prend différentes formes selon son utilisation ; d'un corps, ou d'une tige qui varie en diamètre, en longueur et en forme et d'une pointe à l'autre extrémité pour mieux pénétrer dans le bois. Toutes les prescriptions sur les dimensions ainsi que sur les différentes formes des parties constituant les pointes sont décrites dans la norme NF EN 10230-1 [5].

Dans la construction, quatre types de tiges sont couramment utilisés même si la norme NF EN 10230-1 [5] en présente six. La première d'entre elles est la tige lisse. Cette tige est la plus répandue dans le commerce. La tige torsadée est la deuxième, elle est entièrement torsadée en spirale. Lors de sa mise en œuvre, la pointe tourne en pénétrant dans le bois comme une vis. Elle résiste donc très bien à l'arrachement. La troisième tige est la tige annelée. Deux tiers de sa longueur est annelé résistant ainsi aux efforts d'arrachement. La dernière est la tige crantée généralement utilisée pour la mise en place de sabots métalliques.



Figure 4-1 : Types de tige des pointes de la construction

Conformément à la norme NF EN 10230-1 [5], le revêtement de surface des pointes peut être réalisé de deux types qui sont le non revêtu et le revêtu zinc ou d'alliage de zinc.

Les déclarations de performances des pointes sont établies conformément à la norme NF EN 14592 [6]. Aujourd'hui, certains fabricants de pointes ont établi leur document de déclaration de performance permettant d'identifier les propriétés mécaniques caractéristiques des pointes (cf. Annexe).

4.2. VIS

Une vis est une « pièce comportant une partie filetée et une tête permettant de la faire tourner, de manière à en assurer la pénétration dans une pièce taraudée (par exemple un écrou), ou dans un milieu résistant, et servant à exercer une pression, notamment pour réaliser un assemblage, ou à transmettre un mouvement » (LARDUSSE).

Actuellement, la vis de fixation se décompose en deux sous-groupes selon l'usage qui est souhaité :

- La vis d'assemblage comme son nom l'indique unit deux éléments soit à l'aide de la face inférieure de la tête de vis, soit par l'intermédiaire du filetage. La première possède généralement une tête conique ou plate permettant un meilleur maintien des éléments assemblés.
- La vis de pression comme son nom l'indique exerce une force au moyen de la pointe. Cette vis, bien souvent, ne possède pas de tête.

De nouvelles utilisations des vis de fixation sont apparues ; elles servent de « vis d'armatures ou de renforcement » faisant référence aux armatures en béton armé. Celles-ci ont pour objectif de renforcer le matériau dans lequel elles sont intégrées et ainsi consolider les faiblesses du matériau comme le bois en traction transversale du fait de sa forte anisotropie.

La vis peut être décomposée en trois parties : la tête, le corps et la pointe (cf. Figure 4-2) :

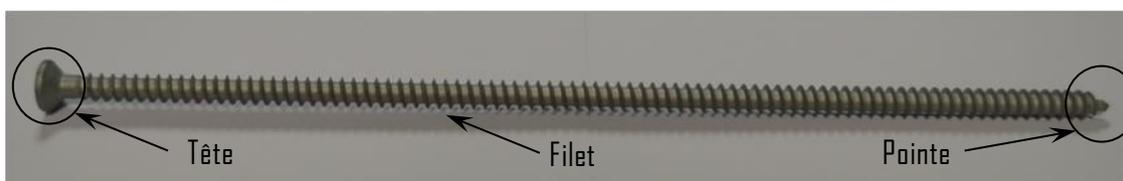


Figure 4-2 : Eléments d'une vis de fixation

- La tête de vis permet en premier lieu la mise en œuvre de l'organe par l'application d'un couple de vissage au moyen d'un matériel adapté. Ce couple est transmis par le biais d'une forme bien spécifique pour chaque type de vis. La tête une fois dans le bois permet également de reprendre de l'effort axial mais de manière moins efficace que la partie filetée. Les différentes têtes généralement trouvées sont :



Figure 4-3 : Type de tête de vis (« TORX », « Fendue », « POZIDRIV », « PHILIPS », « ALLEN »)

- La pointe est la deuxième extrémité de la vis. Elle est soit plate soit pointue. Concernant celle d'assemblage, la pointe perce ou écarte le matériau dans lequel elle est insérée. La forme de la pointe est étudiée afin de limiter l'effet d'écartement de la matière afin de limiter l'effet de fendage.
- Le corps constitue la partie principale de la vis, elle peut être partiellement voire totalement filetée. C'est une structure hélicoïdale utilisée pour réaliser la transformation de la rotation en une translation. Le filet est caractérisé par son pas, c'est-à-dire l'avancement de la vis par tour. Il existe aussi des vis dites à double filet qui permettent de réduire le temps de mise en œuvre, diminuant le risque

4 – TYPES D'ORGANES DE FIXATION DU TYPE TIGES

d'échauffement de la vis. Lorsque la vis est partiellement filetée, cela permet d'exercer une pression entre les pièces assemblées. Certaines vis filetées sur toute leur longueur sont réalisées avec un pas variable ce qui permet également le serrage de deux pièces dans des bois tendre.

A partir des données extraites des ETA des fabricants de vis, les données géométriques des vis à filetage partiel et total sont synthétisées dans les Tableau 4-1 et Tableau 4-2 conformément aux Figure 4-4 et Figure 4-5 respectivement.

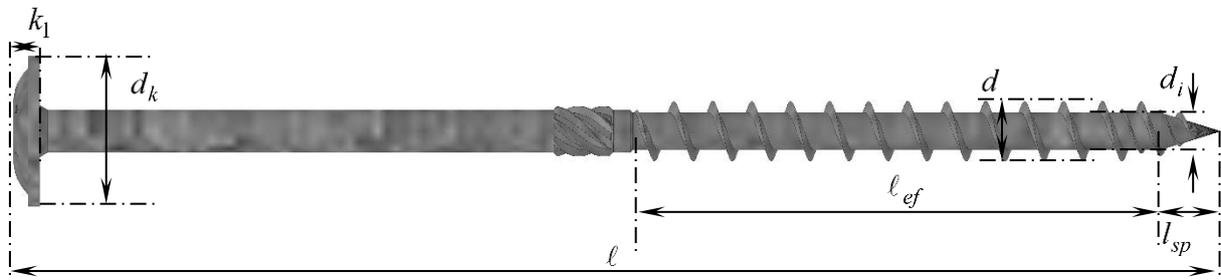


Figure 4-4 : Schéma d'une vis à filetage partiel avec toutes les dénominations

Tableau 4-1 : Caractéristiques des vis à filetage partiel de quelques fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	di (mm)	dk (mm)	k1 (mm)	l _{sp} (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [7]	ESCR	8	5,3	20	3,5	8,2
		ESCRC	8	5,3	15	7	8,2
WURTH	ETA 11/0190 [8]	ASSY 3.0 SK FP	8	5,3	22	3,8	??
		ASSY 3.0 TFF	8	5,3	15	4,9	??
HECO	ETA 11/0284 [9]	HT-T-CS-PT	8	5,25	14,8	4,7	??
		HT-T-FH-PT	8	5,25	17,5	3,8	??

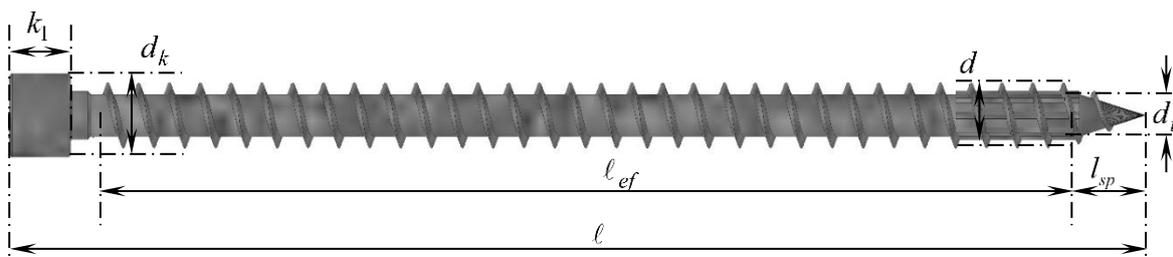


Figure 4-5 : Schéma d'une vis à filetage total avec toutes les dénominations

Tableau 4-2 : Caractéristiques des vis à filetage total de quelques fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	di (mm)	dk (mm)	k1 (mm)	l _{sp} (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [7]	ESCRFTZ	8	5,2	10,2	7,5	8,2
		ESCRFTC	8	5,2	15	7,0	8,2
		CSA	5	3,15	8,3	6,0	??
WURTH	ETA 11/0190 [8]	ASSY Plus VG TC	8	5,3	10,0	7,5	??
		ASSY Plus VG TF	8	5,3	15	4,9	??
HECO	ETA 11/0284 [9]	HECO TOPIX TC	8	5,25	12	5,2	??
		HECO TOPIX CH	8	5,25	14,8	4,35	??

5. - CARACTERISTIQUES DES ASSEMBLAGES PAR VIS

Dans la problématique des diaphragmes de plancher, la résistance n'est pas le problème principal bien qu'il soit à garantir. Le problème est de qualifier la raideur de la liaison qui va être conférée par la vis, mise en œuvre. Si la raideur de l'assemblage par vis peut être déterminée, alors l'estimation de sa capacité résistante pourra assez directement en être déduite.

Aujourd'hui, un certain nombre de publications scientifiques présentent des études sur la détermination de la raideur d'assemblage d'organe sollicité en cisaillement combiné à des efforts de traction ou de compression ce qui est le cas des vis. Girhammar et al. [10] estiment la valeur de la raideur par un modèle linéaire en intégrant l'extension et la flexion de la vis dans le modèle. Symons et al. [11] estiment la valeur de la raideur par un modèle de poutre sur fondation élastique. Tomasi et al. [12] définissent la valeur de la raideur d'assemblage par un modèle linéaire élastique simplifié. Dans ce présent document, seul le modèle de Tomasi est présenté car c'est le seul qui permet de bâtir un outils ingénieur quel que soit le type d'organe de fixation de type tige rencontré. Différentes hypothèses et paramètres sont ajoutées afin de mieux comprendre la portée du modèle.

Sur cette base, les raideurs d'assemblages sont établies pour un organe mis en œuvre perpendiculairement au plan, d'un organe mis en œuvre incliné et travaillant ainsi en cisaillement et en traction et enfin pour un couple de vis disposées en croix en 2D et 3D, c'est-à-dire avec un et deux angles d'inclinaison.

5.1. COMPORTEMENT D'ASSEMBLAGE A UN ORGANE

5.1.1. Fonctionnement mécanique

Le principe de fonctionnement d'un organe cisailé peut être décrit par un effort de cisaillement (F_v) créant un déplacement total appelé (δ_{tot}). Ces deux paramètres sont liés par la raideur totale de l'assemblage (K_{tot}), selon l'équation suivante :

$$F_v = K_{tot} \times \delta_{tot} \quad (1)$$

Cet effort de cisaillement (F_v) est équilibré par la résistance en cisaillement de l'assemblage (R) généralement associé à la résistance due à la friction entre les deux éléments de l'assemblage (μH) selon l'équation suivante :

$$F_v = R + \mu \times H \quad (2)$$

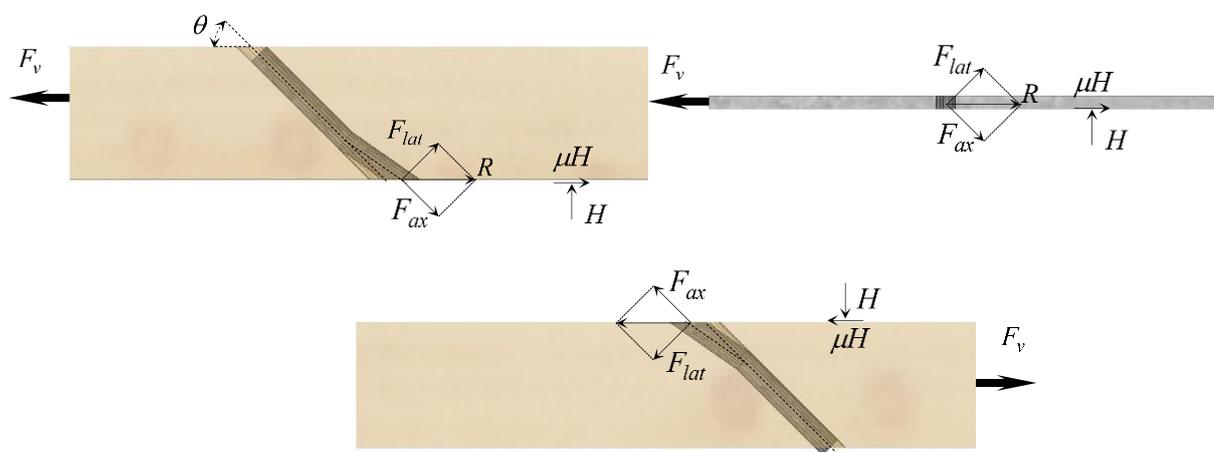


Figure 5-1: Fonctionnement mécanique d'un organe cisailé

L'effort résistant en cisaillement de l'assemblage (R) est une combinaison de la résistance latérale (F_{lat}) et la résistance axiale (F_{ax}) selon l'équation suivante :

$$R = F_{lat} \times \sin(\theta) + F_{ax} \times \cos(\theta) \quad (3)$$

La résistance due à la friction (μH) est également une combinaison de la résistance latérale (F_{lat}) et la résistance axiale (F_{ax}) selon l'équation suivante :

$$\mu H = \mu(-F_{lat} \times \cos(\theta) + F_{ax} \times \sin(\theta)) \quad (4)$$

En intégrant les équations (3) et (4) dans l'équation (2), l'équation devient :

$$\begin{aligned} F_v &= F_{lat} \times \sin(\theta) + F_{ax} \times \cos(\theta) + \mu \times (-F_{lat} \times \cos(\theta) + F_{ax} \times \sin(\theta)) \\ &= F_{lat} \times (\sin(\theta) - \mu \times \cos(\theta)) + F_{ax} \times (\cos(\theta) + \mu \times \sin(\theta)) \end{aligned} \quad (5)$$

Pour l'angle particulier de 90° , l'équation (5) devient l'équation (6) selon la Figure 5-2. Pour l'angle particulier de 90° et en l'absence de la plastification de l'organe, l'équation (6) devient l'équation (7).

$$F_v = F_{lat} + \mu \times F_{ax} \quad (6)$$

$$F_v = F_{lat} \quad (7)$$

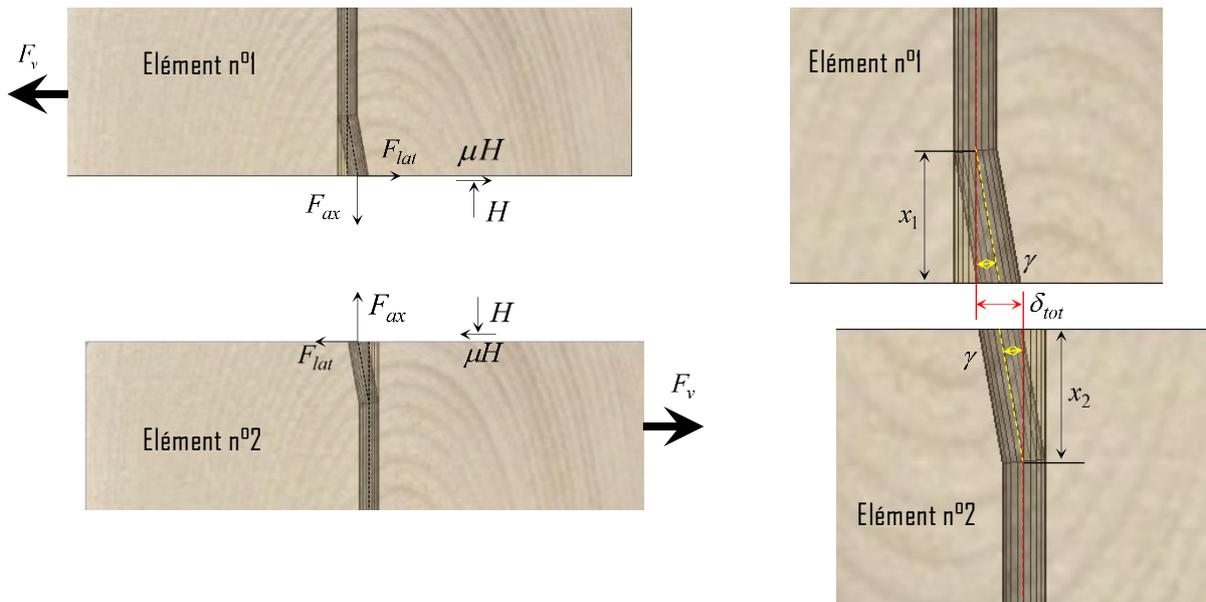


Figure 5-2 : Fonctionnement mécanique d'un assemblage avec une vis perpendiculaire au plan de cisaillement

Afin d'introduire la rigidité dans le problème mécanique ainsi posé, il est proposé par Tomasi d'écrire les équations linéaires de raideur suivantes :

$$F_{lat} = K_{lat} \times \delta_{lat} \quad (8)$$

$$F_{ax} = K_{ax} \times \delta_{ax} \quad (9)$$

En remplaçant les efforts par les expressions ci-dessus, l'équation (5) devient l'équation (10) :

$$K_{tot} \times \delta_{tot} = K_{lat} \times \delta_{lat} \times (\sin(\theta) - \mu \times \cos(\theta)) + K_{ax} \times \delta_{ax} \times (\cos(\theta) + \mu \times \sin(\theta)) \quad (10)$$

5.1.2. Définition des déplacements

Pour un assemblage constitué de deux éléments avec un organe incliné de (θ) , les déplacements latéraux (δ_{lat}) et axiaux (δ_{ax}) sont exprimés, selon la Figure 5-3, en fonction du déplacement total (δ_{tot}) donnant les équations suivantes :

$$\delta_{lat} = \delta_{tot} \times \sin \theta \tag{11}$$

$$\delta_{ax} = \delta_{tot} \times \cos \theta \tag{12}$$

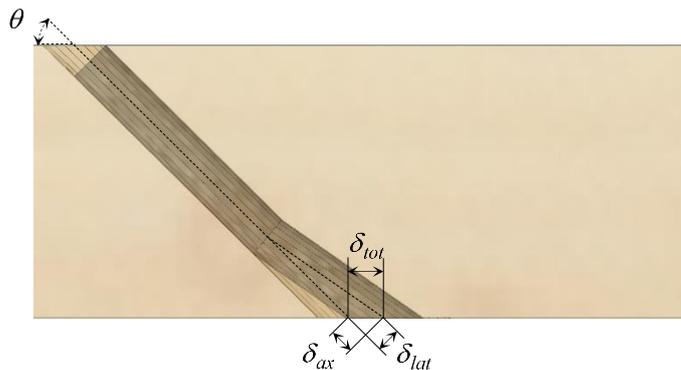


Figure 5-3 : Décomposition du déplacement total

Pour un assemblage constitué de deux éléments avec un organe introduit perpendiculairement au plan de cisaillement, l'équation (12) donne une valeur de déplacement axial (δ_{ax}) de 0. Cependant, conformément à l'estimation de la capacité résistante de l'assemblage de la norme NF EN 1995-1-1 [4], la résistance due à l'effet de corde est ajoutée à la résistance plastique de l'assemblage. Pour ajouter cette résistance, il faut considérer le déplacement axial (δ_{ax}) comme l'élongation de l'organe du fait de l'apparition de rotules plastiques (cf. Figure 5-4). Le déplacement axial (δ_{ax}) peut donc être exprimé en fonction du déplacement total (δ_{tot}) selon l'équation suivante :

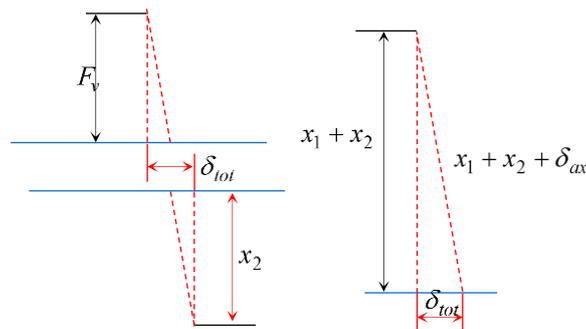


Figure 5-4 : Analyse trigonométrie pour définir le déplacement axial

$$\delta_{ax} = \sqrt{\delta_{tot}^2 + (x_1 + x_2)^2} - (x_1 + x_2) \tag{13}$$

Si une des deux rotules plastiques est positionnée proche du plan de cisaillement, ce qui peut être le cas suivant les matériaux et les propriétés de l'assemblage comme un assemblage Bois/Métal, l'équation devient :

$$\delta_{ax} = \sqrt{\delta_{tot}^2 + x_1^2} - x_1 \tag{14}$$

5.1.3. Détermination de la raideur complète de l'assemblage

En intégrant les équations (11) et (12) dans l'équation (10), il est possible d'estimer la raideur de l'assemblage (K_{tot}) pour un organe mis incliné à l'angle (θ) selon l'équation suivante :

$$K_{tot} = K_{lat} \times \sin(\theta) \times (\sin(\theta) - \mu \times \cos(\theta)) + K_{ax} \times \cos(\theta) \times (\cos(\theta) + \mu \times \sin(\theta)) \quad (15)$$

5.1.3.1. Définition de la raideur axiale

En présence de deux éléments bois, deux approches ont été étudiées par Tomasi et al [12] pour estimer la valeur de la raideur axiale (K_{ax}).

La première approche appelée A est de séparer le déplacement total axial de la vis (δ_{ax}) en deux déplacements axiaux dans chacun des éléments constituant l'assemblage ($\delta_{ax,1}$) et ($\delta_{ax,2}$). Il vient l'équation suivante :

$$\delta_{ax} = \delta_{ax,1} + \delta_{ax,2} \quad (16)$$

Les raideurs étant en série, la raideur axiale totale ($K_{ax,A}$) peut être exprimée en fonction des raideurs axiales unitaires de chacun des éléments ($K_{ax,1}$) et ($K_{ax,2}$) selon l'équation suivante :

$$K_{ax,A} = \frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \quad (17)$$

La deuxième approche est de considérer le déplacement axial de la vis (δ_{ax}) comme étant le déplacement maximal entre les deux déplacements axiaux ($\delta_{ax,1}$) et ($\delta_{ax,2}$), c'est l'approche B. L'équation suivante peut donc être définie :

$$\delta_{ax} = \max \begin{cases} \delta_{ax,1} \\ \delta_{ax,2} \end{cases} \quad (18)$$

La raideur axiale totale ($K_{ax,B}$) est donc définie selon l'équation suivante :

$$K_{ax,B} = \min \begin{cases} K_{ax,1} \\ K_{ax,2} \end{cases} \quad (19)$$

En présence d'un élément bois et d'un élément métal, la raideur axiale totale ($K_{ax,Acier}$) est égale à la raideur axiale unitaire de l'élément bois ($K_{ax,i}$).

$$K_{ax,Acier} = K_{ax,i} \quad (20)$$

5.1.3.1.1 Détermination de la raideur d'arrachement du filetage

Aujourd'hui une estimation de la raideur axiale dans les éléments bois peut être obtenue par les ETA des fabricants de vis [7], [9], [13]. Ces valeurs ($K_{ax,i}$) sont déterminées pour des bois résineux en considérant uniquement les parties filetées comme résistantes :

$$K_{ax,i} = 25 \times d_{ext} \times l_{ef,i} \quad (21)$$

Les longueurs ($l_{ef,i}$) correspondent aux longueurs filetées de diamètre identique dans chacun des éléments i de l'assemblage. Le diamètre (d_{ext}) correspond au diamètre extérieur de la vis.

5.1.3.1.2 Détermination de la raideur d'enfoncement de la tête d'une vis

Dans le cas où les vis sont à filetage partiel, la tête de la vis peut contribuer à empêcher la vis de glisser. A partir des propriétés caractéristiques du bois lamellé-collé en compression perpendiculaire au fil, du diamètre de tête de vis et d'une hauteur de diffusion en compression de 20mm, il est possible d'estimer la raideur d'enfoncement de la tête de vis selon l'équation suivante :

$$K_{ax,enfonce} = \frac{S_{tête} \times E_{90,mean}}{h} \quad (22)$$

5.1.3.2 Définition de la raideur latérale

De nombreuses publications [12], [14] considèrent la valeur de la raideur latérale (K_{lat}) comme étant la valeur de la raideur (K_{ser}) conformément à la norme NF EN 1995-1-1 [4]. Cependant, cette valeur de raideur d'assemblage a été défini pour des assemblages Bois/Bois.

$$K_{lat} = K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \times d_{ef}}{23} \quad (23)$$

Dans la formule, il est considéré que le diamètre effectif (d_{ef}) correspond au diamètre efficace de la vis pris égal à $d_{ef} = d_{int} \times 1,1$.

En reprenant l'équation (1) du comportement idéal de l'assemblage, il est possible de mettre en évidence une différence de fonctionnement entre un assemblage Bois/Bois et un assemblage Bois/Métal. Si la même sollicitation est appliquée, le déplacement total de l'assemblage Bois/Bois sera 2 fois plus élevé que celui de l'assemblage Bois/Métal conformément à la Figure 5-5.

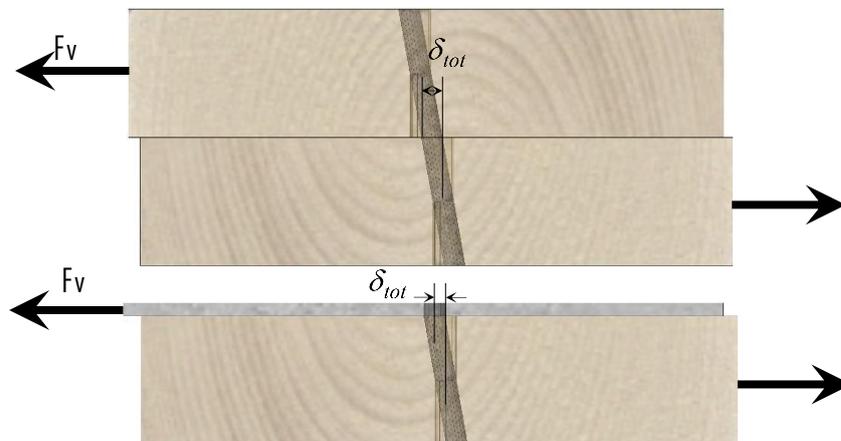


Figure 5-5 : Déplacement total dans un assemblage bois/bois et un assemblage bois/métal

En raisonnant à même déplacement, cette analyse permet d'expliquer la multiplication par deux de la valeur de la raideur latérale (K_{lat}) d'un assemblage Bois/Bois pour obtenir la valeur de la raideur latéral d'un assemblage Bois/Métal conformément à la norme NF EN 1995-1-1 [4] en considérant aucun déplacement dans la partie métal, c'est-à-dire aucun jeu.

5.1.3.3. Raideur d'une vis perpendiculaire au plan de cisaillement

Pour le cas d'un organe introduit perpendiculairement au plan de cisaillement dans un assemblage Bois/Bois et Bois/Métal, l'équation (15) se simplifie donnant respectivement les équations (24) et (25) :

$$K_{tot} = K_{lat} \quad (24)$$

$$K_{tot} = 2 \times K_{lat} \quad (25)$$

Cependant, conformément à la proposition actuelle de la norme NF EN 1995-1-1 [4], il peut être ajouté un terme de résistance de friction au prorata de l'élongation de la vis due à la plastification de l'organe. En présence de la plastification de l'organe mis perpendiculairement au plan de cisaillement, la raideur totale de l'assemblage (K_{tot}) peut être réécrite selon l'équation suivante :

$$K_{tot} = K_{lat} + \mu \times K_{ax} \times \delta_{ax} \quad (26)$$

Ainsi en intégrant les équations (13) et (17) dans l'équation (26), il est possible d'estimer la raideur totale de l'assemblage ($K_{tot,A}$) selon l'équation suivante, en considérant la première approche de la raideur axiale :

$$K_{tot,A} = K_{lat} + \mu \times \frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \times \left(\frac{\sqrt{\delta_{tot}^2 + (x_1 + x_2)^2} - (x_1 + x_2)}{\delta_{tot}} \right) \quad (27)$$

En intégrant les équations (13) et (19) dans l'équation (26), il est possible d'estimer la raideur totale de l'assemblage ($K_{tot,B}$) selon l'équation suivante, en considérant la seconde approche de la raideur axiale :

$$K_{tot,B} = K_{lat} + \mu \times \min(K_{ax,1}; K_{ax,2}) \times \left(\frac{\sqrt{\delta_{tot}^2 + (x_1 + x_2)^2} - (x_1 + x_2)}{\delta_{tot}} \right) \quad (28)$$

En intégrant les équations (14) et (20) dans l'équation (26), il est possible d'estimer la raideur totale de l'assemblage d'un assemblage Bois/Métal ($K_{tot,Acier}$) selon l'équation suivante :

$$K_{tot,Acier} = 2 \times K_{lat} + \mu \times K_{ax,1} \times \left(\frac{\sqrt{\delta_{tot}^2 + x_1^2} - x_1}{\delta_{tot}} \right) \quad (29)$$

Les distances (x_1) et (x_2) peuvent être déterminées par l'analyse limite en plasticité. L'expression pour un assemblage Bois-Bois est :

$$x_1 = x_2 = \sqrt{\frac{2 \times \beta}{1 + \beta}} \times \sqrt{\frac{2 \times M_{y,rk}}{f_{h,1} \times d_{ext}}} \quad (30)$$

L'expression pour l'assemblage Bois-Métal est la suivante :

$$x_1 = 2 \times \sqrt{\frac{M_{y,rk}}{f_{h,1} \times d_{ext}}} \quad (31)$$

Le coefficient (μ) est défini comme étant le coefficient de friction entre les deux éléments constituant l'assemblage. Pour un contact Bois-Bois ou Bois-Métal, le coefficient de friction retenu est en général égal à 0,25.

5.1.3.3.1 Hypothèse pour les applications numériques

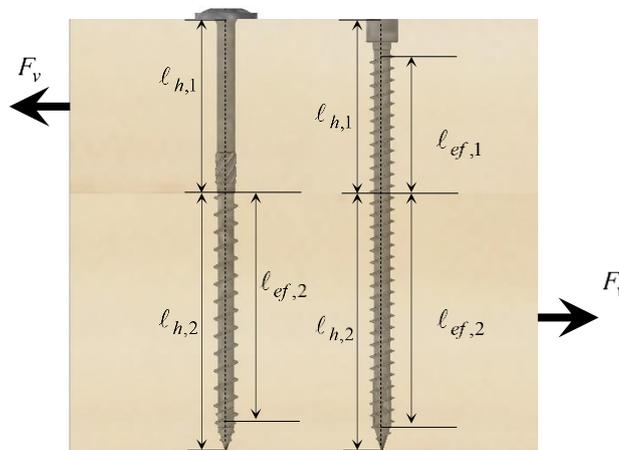
Afin d'illustrer de manière numérique ces estimations de raideur et de comparer les différentes mises en œuvre, il est choisi de calculer la raideur entre deux panneaux CLT type C24 d'une épaisseur de 140mm dont la masse volumique considérée est 420kg/m³.

Les vis considérées ont un diamètre de vis de 8 mm et un diamètre de filetage intérieur de 5,3 mm. Pour la vis à filetage partiel, le diamètre de tête est pris à 20mm.

Pour un contact Bois-Bois ou Bois-Métal, le coefficient de friction retenu est en égal à 0,25.

Pour des questions de simplicité de calcul, le calcul de la raideur axiale est effectué à l'aide de la longueur ($\ell_{h,1}$) et non de la longueur ($\ell_{ef,1}$). Cette hypothèse est prise puisque l'ensemble des vis non pas les mêmes caractéristiques géométriques.

Cette raideur est calculée pour un couple de deux vis afin de pouvoir comparer de manière objective les résultats avec une mise en œuvre de deux vis croisées.



5.1.3.3.2 Vis à filetage total

La Figure 5-6 présente les évolutions de la raideur totale d'assemblage (K_{tot}) pour deux vis à filetage total introduites perpendiculairement au plan de cisaillement. Le calcul de la raideur totale selon les équations (24) et (25) n'intègre pas l'augmentation de la raideur due à l'effet de corde. Le calcul de la raideur totale selon les équations (27), (28) et (29) prend en compte l'augmentation de la raideur due à l'effet de corde. Les équations (25) et (29) font référence à la raideur des assemblages Bois/Métal.

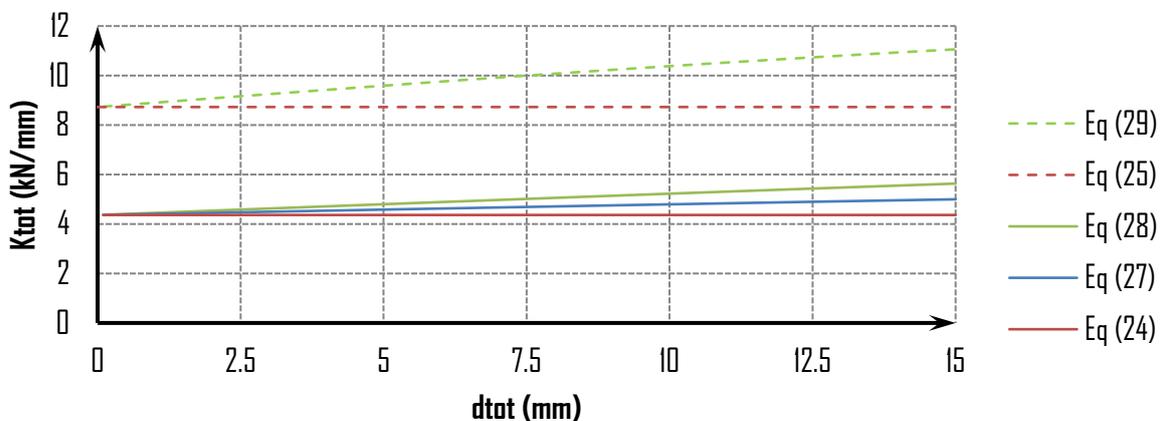


Figure 5-6 : Evolution de la raideur totale de l'assemblage (K_{tot}) en fonction du déplacement total (δ_{tot}) pour deux vis à filetage total

5.1.3.3 Vis à filetage partiel

La Figure 5-7 présente les évolutions de la raideur totale d'assemblage (K_{tot}) pour deux vis à filetage partiel mise perpendiculairement au plan de cisaillement. Les calculs sont identiques à ceux évoqués précédemment excepté sur l'une des raideurs axiales. L'une des raideurs d'arrachement de vis est devenue une raideur d'enfoncement de tête selon la valeur de l'équation (22). Les équations (25) et (29) font référence à la raideur des assemblages Bois/Métal.

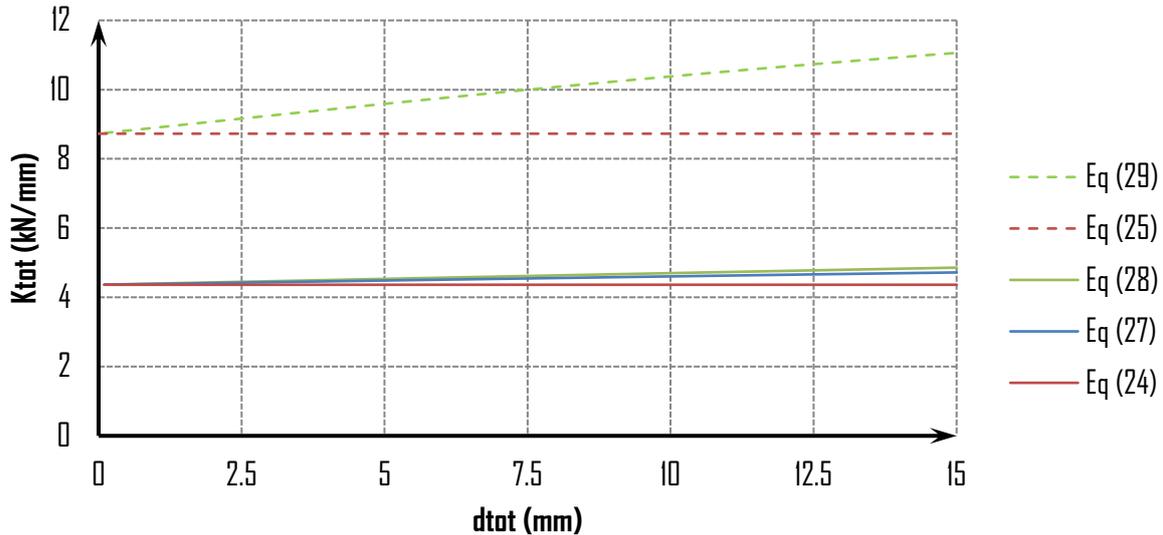


Figure 5-7 : Evolution de la raideur totale de l'assemblage (K_{tot}) en fonction du déplacement total (δ_{tot}) pour deux vis à filetage partiel

Il peut être constaté que lorsque les vis sont placées perpendiculairement en plan de cisaillement, le filetage total n'apporte pas de gain en termes de raideur. De plus, le gain apporté par la prise en compte dans le calcul de l'élongation de la vis due à la plastification de l'organe apporte de la raideur lorsque les déplacements sont élevés. Or le calcul de raideur d'assemblage est effectué pour des déplacements faibles. Ainsi pour la suite du raisonnement de l'estimation de la raideur d'assemblage pour le cas généralisé d'une vis à un angle, l'élongation de la vis au regard de la plastification de la vis ne sera pas prise en compte.

5.1.3.4. Raideur d'une vis à un angle : cas généralisé

L'étude qui suit porte sur le cas généralisé d'une vis à un angle Θ . L'axe des abscisses des différentes figures ci-dessous sont tronqués à un angle 20° conformément à la Figure 5-8. Les longueurs de vis maximales permettant d'aller de part en part du CLT correspondantes aux angles inférieurs, doivent être supérieures à 400 mm pour une épaisseur de panneau CLT de 140mm.

$$l_{ef,i} = \frac{ep_{CLT}}{2 \times \sin(\theta_i)} \tag{32}$$

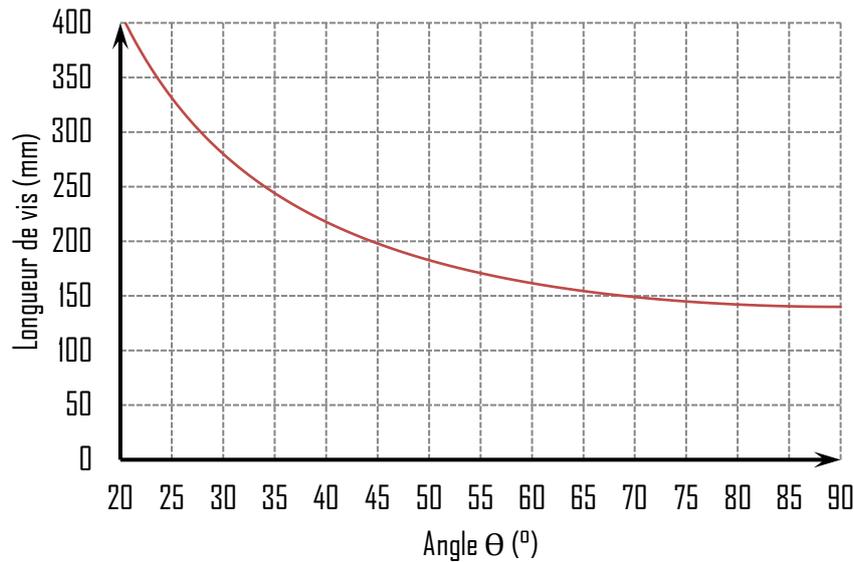


Figure 5-8 : Longueur de vis en fonction de l'angle d'inclinaison (θ)

En repartant de l'équation (15) et des approches A et B de la raideur axiale, les équations suivantes peuvent être écrites :

- Assemblage Bois/Bois et première hypothèse de la raideur axiale

$$K_{tot} = \left(K_{lat} \times \sin(\theta) \times (\sin(\theta) - \mu \times \cos(\theta)) + \frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \times \cos(\theta) \times (\cos(\theta) + \mu \times \sin(\theta)) \right) \tag{33}$$

- Assemblage Bois/Bois et deuxième hypothèse de la raideur axiale

$$K_{tot} = \left(K_{lat} \times \sin(\theta) \times (\sin(\theta) - \mu \times \cos(\theta)) + \min(K_{ax,1}; K_{ax,2}) \times \cos(\theta) \times (\cos(\theta) + \mu \times \sin(\theta)) \right) \tag{34}$$

5.1.3.4.1 Vis à filetage total

La Figure 5-9 présente les évolutions des raideurs totales en fonction de l'inclinaison des vis et de l'approche retenue pour deux vis à filetage total mises inclinées au plan de cisaillement.

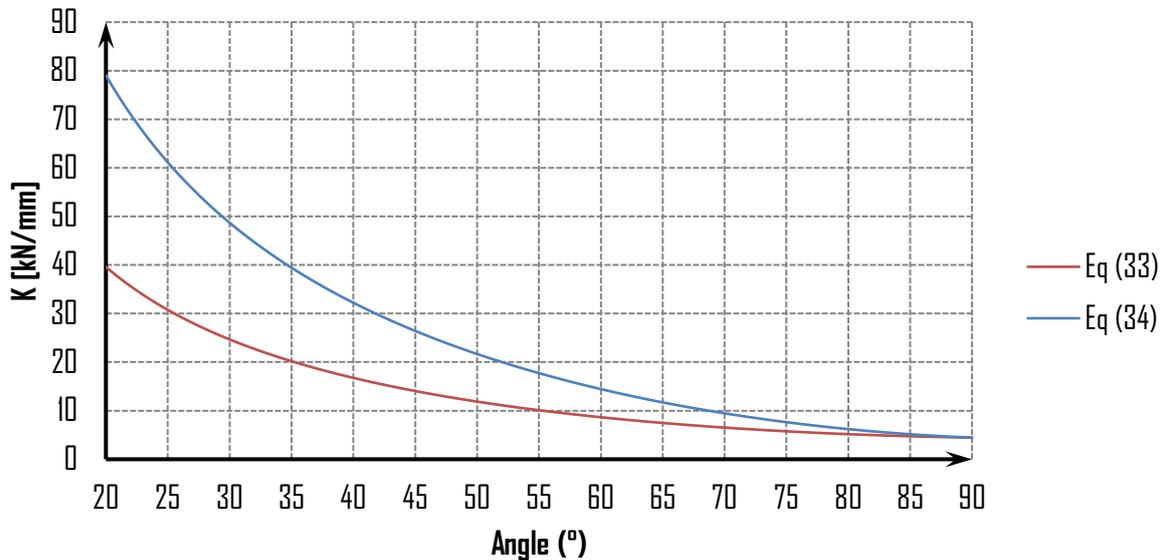


Figure 5-9 : Evolution des raideurs totales en fonction de l'angle d'inclinaison pour deux vis à filetage total

La Figure 5-10 présente la part en pourcentage des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison et de l'équation de détermination de la raideur totale pour des vis à filetage total mises inclinées au plan de cisaillement.

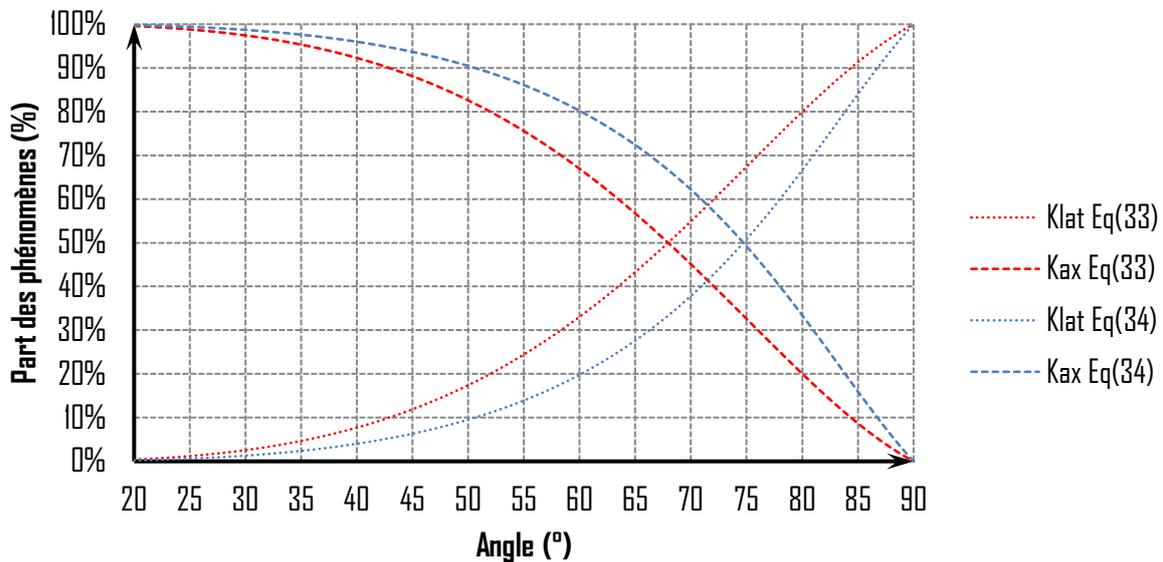


Figure 5-10 : Evolution des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison pour des vis à filetage total

5.1.3.4.2 Vis à filetage partiel

La Figure 5-11 présente les évolutions des raideurs totales en fonction de l'inclinaison des vis et de l'approche retenue pour deux vis à filetage partiel mises inclinées au plan de cisaillement.

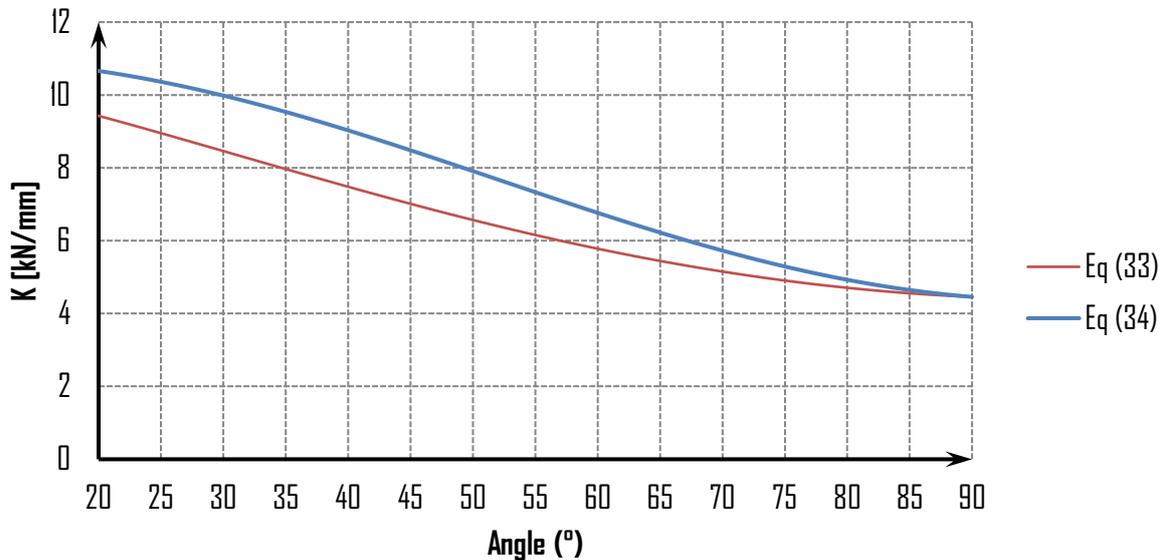


Figure 5-11 : Evolution des raideurs totales en fonction de l'angle d'inclinaison pour deux vis à filetage partiel

La Figure 5-12 présente la part en pourcentage des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison et de l'équation de détermination de la raideur totale pour des vis à filetage partiel mises inclinées au plan de cisaillement.

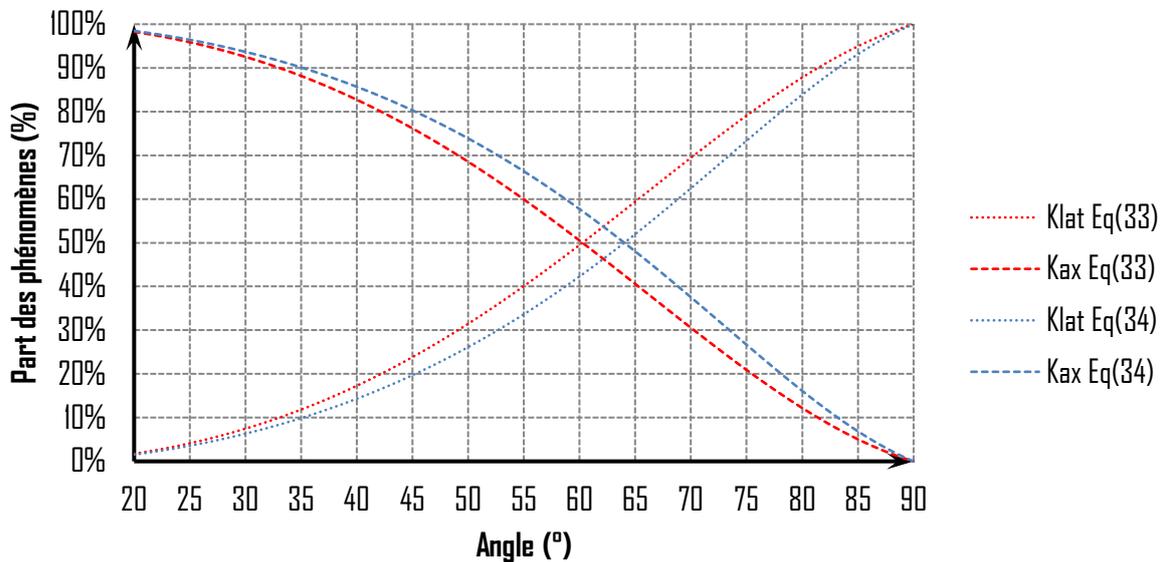
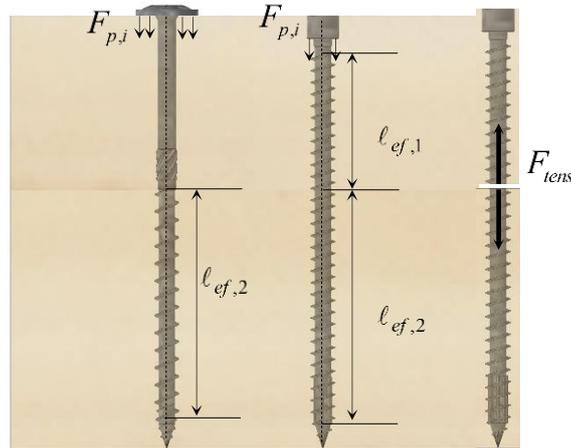


Figure 5-12 : Evolution des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison pour des vis à filetage partiel

5.1.4. Détermination de la capacité résistante de cisaillement

5.1.4.1. Définition de la capacité résistance axiale

La capacité résistante axiale (F_{ax}) est l'effort résistant lorsque l'organe est sollicité dans son axe. Cette capacité résistante dépend du type d'organe utilisé pour confectionner l'assemblage. Elle dépend de la résistance d'arrachement de l'organe ($f_{ax,i}$), de la capacité résistante de pénétration de la tête ($F_{p,i}$) si l'organe est partiellement fileté et de la capacité résistante de traction de l'organe (F_{tens}).



La capacité résistante axiale (F_{ax}) est définie selon l'équation suivante :

$$F_{ax} = \min \begin{cases} F_{ax,1} = \max \begin{cases} F_{p,1} \\ f_{ax,1} \times d_{ext,1} \times \ell_{ef,1} \end{cases} \\ F_{ax,2} = f_{ax,2} \times d_{ext,2} \times \ell_{ef,2} \\ F_{tens} \end{cases} \quad (35)$$

$F_{p,i}$ est la capacité résistante d'enfoncement de la tête dans l'élément i ,

$f_{ax,i}$ est la résistance à l'arrachement de l'organe dans l'élément i ,

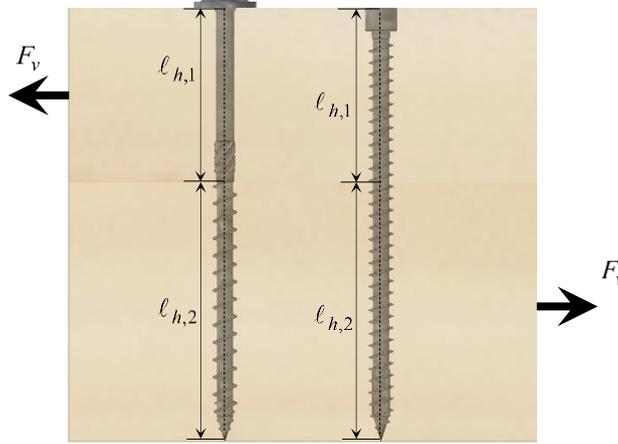
F_{tens} est la capacité résistante de traction de l'organe,

$\ell_{ef,i}$ est la longueur filetée de diamètre identique dans l'élément i ,

$d_{ext,i}$ est le diamètre extérieur de l'organe dans l'élément i ,

5.1.4.2. Définition de la capacité résistante latérale

La capacité résistante latérale (F_{lat}) est égale à la capacité résistante de Johansen [15] définie à l'aide de l'analyse limite de plastification de l'assemblage. En fonction du type d'organe, elle dépend de la résistance à l'enfoncement de l'organe (f_h), du moment d'écoulement plastique de l'organe de fixation (M_y) et des données géométriques de l'organe. Ces formules sont extraites de la norme NF EN 1995-1-1 [4].



Pour les organes en simple cisaillement sollicité en Bois/Bois, la capacité résistante latérale (F_{lat}) est déterminée selon l'équation suivante :

$$F_{lat} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1} \times d_{ef} \times \ell_{h,1} \\ f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2} \\ \frac{f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,1}}{1 + \beta} \times \left(\sqrt{\frac{1}{\beta} + 2 \times \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} + \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 \right)} + \beta \times \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 - \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right) \right) \\ \frac{f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,1}}{2 + \beta} \times \left(\sqrt{\frac{2 \times (1 + \beta)}{\beta} + \frac{4 \times (2 + \beta) \times M_y}{f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,1}^2}} - 1 \right) \\ \frac{f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2}}{1 + 2\beta} \times \left(\sqrt{2 \times (1 + \beta) + \frac{4 \times (1 + 2 \times \beta) \times M_y}{f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2}^2}} - 1 \right) \\ 2 \times \sqrt{\frac{1}{1 + \beta}} \times \sqrt{M_y \times f_{h,2} \times d_{ef}} \end{array} \right. \quad (36)$$

$$\text{avec } \beta = \frac{f_{h,2}}{f_{h,1}}$$

Pour les organes en simple cisaillement sollicités en Bois/Métal, la capacité résistante latérale (F_{lat}) est déterminée selon les équations suivantes respectivement pour les plaques minces et plaques épaisses :

$$F_{lat} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \times f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2} \\ \sqrt{2 \times M_y \times f_{h,2} \times d_{ef}} \end{array} \right. \quad (37)$$

$$F_{lat} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2} \\ f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2} \times \left(\sqrt{2 + \left(\frac{4 \times M_y}{f_{h,2} \times d_{ef} \times \ell_{h,2}^2} \right)^2} - 1 \right) \\ 2 \times \sqrt{M_y \times f_{h,2} \times d_{ef}} \end{array} \right. \quad (38)$$

5.1.4.3. Capacité résistante d'une vis perpendiculaire au plan de cisaillement

Pour déterminer la capacité résistante de l'assemblage constitué d'une vis mise en œuvre perpendiculairement au fil, il est possible d'ajouter la résistance latérale (F_{lat}) associée à la résistance de friction ($\mu \times H$) selon l'équation suivante :

$$F_v \leq F_{lat} + \mu \times H$$

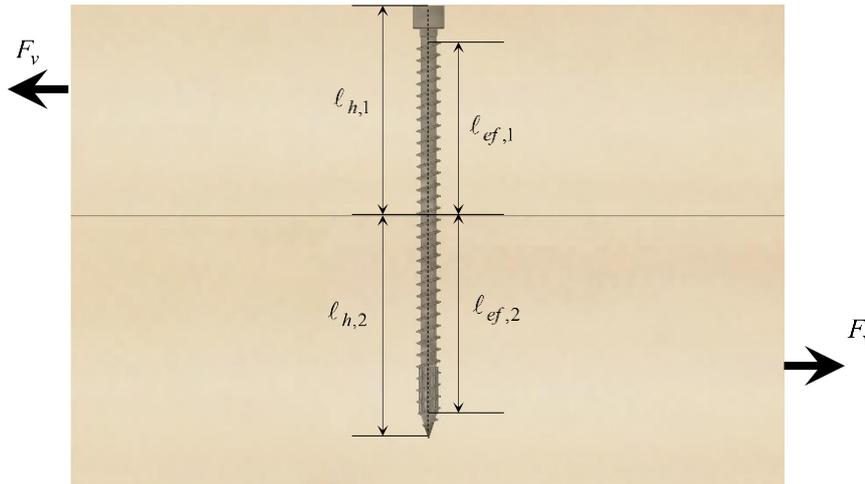


Figure 5-13 : Fonctionnement mécanique d'un assemblage avec une vis perpendiculaire au plan de cisaillement

La résistance de friction ($\mu \times H$) est définie comme étant la capacité résistante axiale (F_{ax}) de l'organe multipliée par le coefficient de friction entre deux éléments de l'assemblage. Dans les deux cas, le coefficient de friction est pris égale à 0,25 conformément à la norme NF EN 1995-1-1 [4]. De manière normative, cette résistance de friction est limitée à 100% de la capacité résistante latérale pour les vis, 15% pour les pointes de section circulaire et 25% pour les pointes de section carrée.

5.1.4.4. Capacité résistante d'une vis inclinée : cas généralisé

Lorsque les vis sont disposées de manière inclinée, elles sont sollicitées par la combinaison d'un effort axial et d'un effort de cisaillement, la norme NF EN 1955-1-1 [4] propose deux modèles d'interaction pour d'établir la capacité résistante de l'organe l'un pour les pointes lisses, l'autre pour les organes autres que pointes lisses selon les équations suivantes respectivement :

$$F_v = \frac{1}{\left(\frac{\cos(\theta)}{F_{ax}}\right) + \left(\frac{\sin(\theta)}{F_{lat}}\right)} \quad (39)$$

$$F_v = \frac{1}{\left(\left(\frac{\cos(\theta)}{F_{ax}}\right)^2 + \left(\frac{\sin(\theta)}{F_{lat}}\right)^2\right)^{0,5}} \quad (40)$$

Les capacités résistantes axiale (F_{ax}) et latérale (F_{lat}) sont définies conformément aux équations (35) et les équations (36), (37) et (38) respectivement.

Pour les vis sollicitées par une combinaison d'un effort axial et d'un effort de cisaillement, Bejtka et al [16], évoqué dans [10], [12], [14], [17]–[19], ont également proposé une autre approche d'état limite ultime. Pour déterminer la capacité résistante de l'assemblage constitué d'une vis inclinée au plan de cisaillement sollicitée en cisaillement/traction, ils sont partis du principe de fonctionnement rappelé en partie 5.1.1.

En introduisant les équations des capacités résistantes axiale (F_{ax}) et latérale (F_{lat}) dans l'équation (5), les différentes équations ci-dessous peuvent être établies :

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 & R_a = R_{ax} \times \cos \theta + f_{h,1} \times d_h \times t_{h,1} \times \sin \theta \\
 & R_b = R_{ax} \times \cos \theta + f_{h,2} \times d_h \times t_{h,2} \times \sin \theta \\
 & R_c = R_{ax} \times (\cos \theta + \mu \times \sin \theta) + \frac{f_{h,1} \times d_h \times t_{h,2}}{1 + \beta} \times (\sin \theta - \mu \times \cos \theta) \\
 & \times \left(\sqrt{\beta + 2 \times \beta^2 \times \left(1 + \frac{t_{h,2}}{t_{h,1}} + \left(\frac{t_{h,2}}{t_{h,1}} \right)^2 \right) + \beta^3 \times \left(\frac{t_{h,2}}{t_{h,1}} \right)^2} - \beta \times \left(1 + \frac{t_{h,2}}{t_{h,1}} \right) \right) \\
 & R_d = R_{ax} \times (\cos \theta + \mu \times \sin \theta) + \frac{f_{h,1} \times d_h \times t_{h,1}}{2 + \beta} \times (\sin \theta - \mu \times \cos \theta) \\
 & \times \left(\sqrt{2 \times \beta \times (1 + \beta) \times \left(\frac{4 \times \beta \times (2 + \beta) \times M_y}{f_{h,1} \times d_h \times t_{h,1}^2} \right)^2} - \beta \right) \\
 & R_e = R_{ax} \times (\cos \theta + \mu \times \sin \theta) + \frac{f_{h,1} \times d_h \times t_{h,2}}{1 + 2 \times \beta} \times (\sin \theta - \mu \times \cos \theta) \\
 & \times \left(\sqrt{2 \times \beta^2 \times (1 + \beta) \times \left(\frac{4 \times \beta \times (1 + 2 \times \beta) \times M_y}{f_{h,1} \times d_h \times t_{h,2}^2} \right)^2} - \beta \right) \\
 & R_f = R_{ax} \times (\cos \theta + \mu \times \sin \theta) + (\sin \theta - \mu \times \cos \theta) \\
 & \times \sqrt{\frac{2 \times \beta}{1 + \beta}} \times \sqrt{2 \times M_y \times f_{h,1} \times d_h \times \sin^2 \theta}
 \end{aligned} \right\} F_v \leq \min \quad (41)
 \end{aligned}$$

Cette estimation de la capacité résistante de l'assemblage fonctionne lorsque les deux comportements axial et latéral ont une loi représentant un comportement ductile. Cependant, la loi représentant le comportement axial n'est pas ductile mais plutôt adoucissant voir fragile pour de courte longueur d'ancrage. Ainsi, l'approche d'état limite ultime établi par Bejtka et al [16] fonctionne lorsque le palier plastique de la composante latérale intervient avant le seuil fragile de la composante axiale.

Afin d'obtenir une approche plus fine sur le comportement global de l'association du comportement latéral (ductile) et axial (fragile) pour les différents angles d'inclinaison pour des assemblages Bois-Bois, une nouvelle proposition de modèle est établie sur la base du modèle proposé par Bejtka. Il intègre les lois linéaires du comportement latéral et axial.

$$\begin{aligned}
 & F_v \leq \left(\begin{aligned}
 & \min \left(\frac{K_{lat} \times d_{tot} \times \sin(\theta)}{F_{lat} (Eq.36)} \right) \times (\sin(\theta) - \mu \times \cos(\theta)) \\
 & + \\
 & \min \left(\frac{\frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \times d_{tot} \times \cos(\theta)}{F_{ax} (Eq.35)} \right) \times (\cos(\theta) + \mu \times \sin(\theta))
 \end{aligned} \right) \quad (42)
 \end{aligned}$$

Afin d'illustrer cette proposition, une comparaison est effectuée entre des essais d'assemblage vissé effectué par Tomasi et al [12] et la proposition selon l'équation (42). Ces essais ont consisté à concevoir des assemblages où les vis étaient toutes sollicitées en traction/cisaillement avec différents angles d'inclinaison 0° , 15° , 30° et 45° . Cette comparaison est illustrée par le biais de la Figure 5-14.

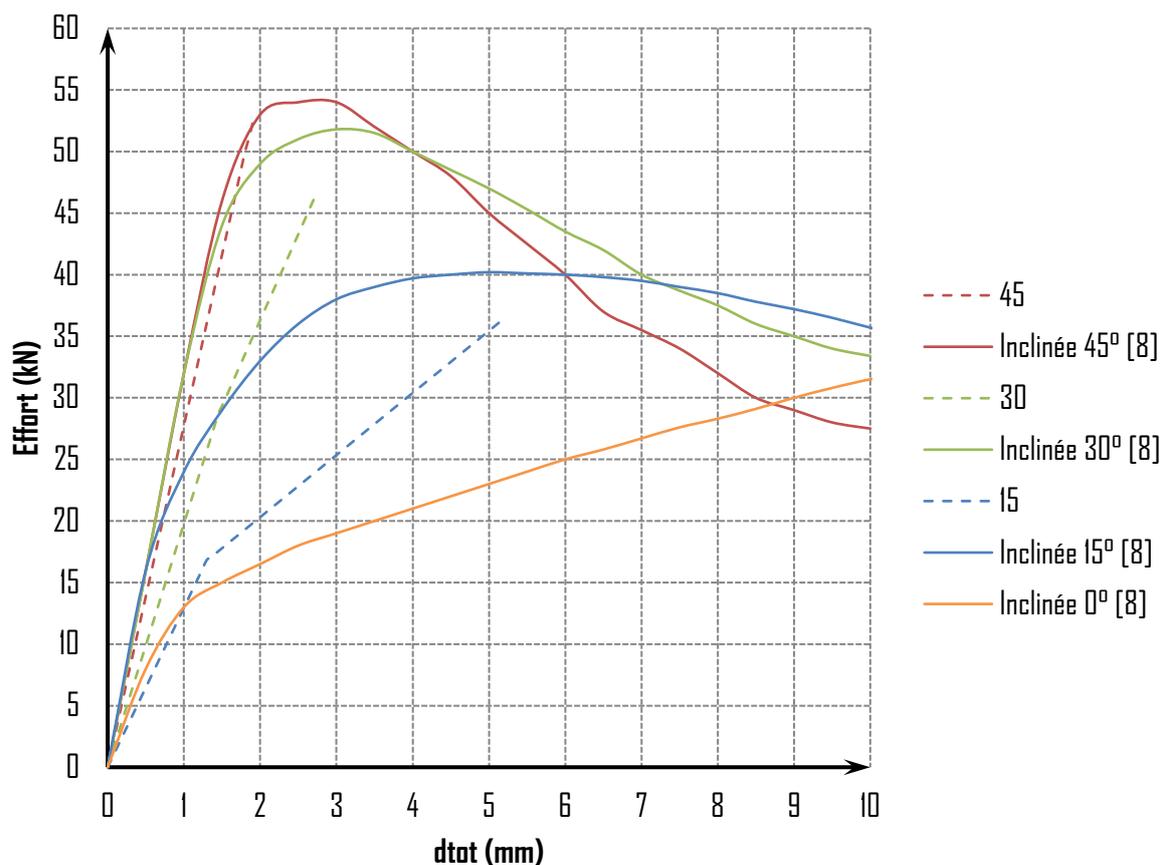


Figure 5-14 : Résultats d'essais de Tomasi et al. [12] superposé avec le modèle de l'équation (42)

Les hypothèses de calculs sont les suivantes :

- Vis :
 - WT-T-220*8.2
 - Longueur fileté 95mm et 95mm
 - Moment plastique : 25000 N.mm
- Bois :
 - Lamellé-collé
 - Masse volumique : 426kg/m³

En conclusion de cette comparaison, la proposition établie selon l'équation (42) permet également d'approcher par un comportement bilinéaire l'assemblage. Cependant, la détermination de la raideur d'assemblage pour des angles inférieurs à 45° montre des valeurs inférieures au regard des essais effectués par Tomasi et al [12]. Sur la détermination de la capacité résistante, des légers écarts sont également observés.

5.2. COMPORTEMENT A DEUX ORGANES INCLINES

5.2.1. Principe de reprise d'efforts mécaniques

5.2.1.1. Vis disposées croisées dans le même plan (2D)

Lorsque deux organes sont disposés, dans le même plan, à un angle par rapport au plan de cisaillement de manière opposée, ils sont sollicités en cisaillement/traction pour l'un et en cisaillement/compression pour l'autre. L'équilibre des efforts doit conduire à ce que l'effort de cisaillement (F_v) soit égale à la résistance en cisaillement de l'assemblage (R) associé à la résistance due à la friction entre les deux éléments de l'assemblage selon l'équation suivante :

$$F_v = (R_1 + \mu \times H_1) + (R_2 + \mu \times H_2) \quad (43)$$

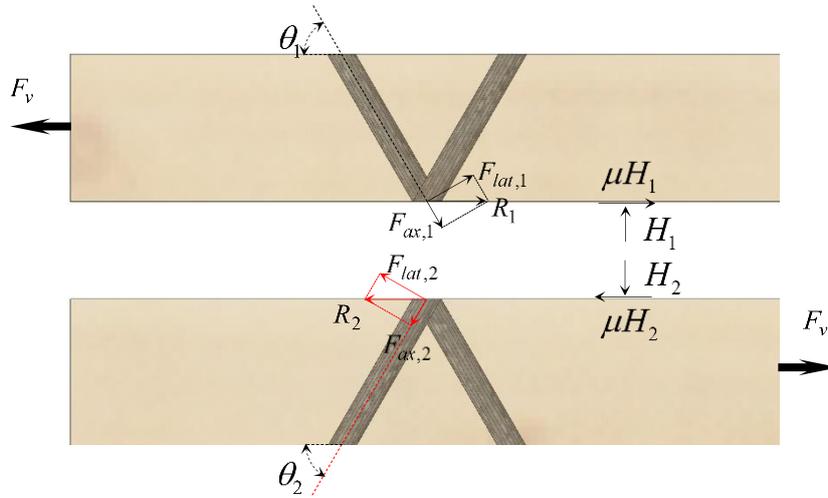


Figure 5-15 : Fonctionnement mécanique d'un assemblage plan constitué de deux vis disposées en X par rapport au plan de cisaillement

La résistance en cisaillement d'une vis (R) demeure, comme pour une vis isolée, à une combinaison de la résistance latérale (F_{lat}) et de la résistance axiale (F_{ax}) selon l'équation suivante :

$$R_i = F_{lat,i} \times \sin(\theta_i) + F_{ax,i} \times \cos(\theta_i) \text{ avec } i = 1,2 \quad (44)$$

La résistance due à la friction (H) est également une combinaison de la résistance latérale (F_{lat}) et la résistance axiale (F_{ax}). Selon la vis de l'assemblage en X étudiée, les équations sont les suivantes :

$$\begin{aligned} H_1 &= -F_{lat,1} \times \cos(\theta_1) + F_{ax,1} \times \sin(\theta_1) \\ H_2 &= F_{lat,2} \times \cos(\theta_2) - F_{ax,2} \times \sin(\theta_2) \end{aligned} \quad (45)$$

En intégrant ces résistances dans l'équation (43), elle s'écrit donc :

$$\begin{aligned} F_v &= (F_{lat,1} \times \sin(\theta_1) + F_{ax,1} \times \cos(\theta_1) + \mu \times (-F_{lat,1} \times \cos(\theta_1) + F_{ax,1} \times \sin(\theta_1))) \\ &+ (F_{lat,2} \times \sin(\theta_2) + F_{ax,2} \times \cos(\theta_2) + \mu \times (F_{lat,2} \times \cos(\theta_2) - F_{ax,2} \times \sin(\theta_2))) \end{aligned} \quad (46)$$

Si les deux vis de l'assemblage possèdent les mêmes caractéristiques géométriques et caractéristiques mécaniques, les résistances latérales sont égales ($F_{lat,1} = F_{lat,2}$) et les résistances axiales sont également identiques ($F_{ax,1} = F_{ax,2}$), l'équation (46) devient l'équation (47).

$$F_v = 2 \times (F_{lat} \times \sin(\theta) + F_{ax} \times \cos(\theta)) \quad (47)$$

5.2.1.2. Vis disposées croisées dans des plans différents (3D)

Lorsque deux organes sont disposés, dans des plans différents, à des angles (θ) et (ε) par rapport au plan de cisaillement de manière opposée, ils sont sollicités en cisaillement/traction pour l'un et en cisaillement/compression pour l'autre (Figure 5-16).

L'équilibre des efforts doit conduire à ce que l'effort de cisaillement (F_v) soit égale à la résistance en cisaillement de l'assemblage (R) associé à la résistance due à la friction entre les deux éléments de l'assemblage. La Figure 5-16 présente l'assemblage à l'extrême c'est-à-dire avec un assemblage mi-bois et des vis mises de façon 3D. Cette figure permet de présenter les deux résultantes de friction pouvant exister sur ce type d'assemblage. La première est la résultante de friction dite « verticale » dénommée (μH) agissant ainsi sur les faces horizontales, surface verte de la Figure 5-16. La deuxième est la résultante de friction dite « horizontale » dénommée (μD) agissant ainsi sur les faces verticales, surfaces bleues de la Figure 5-16.

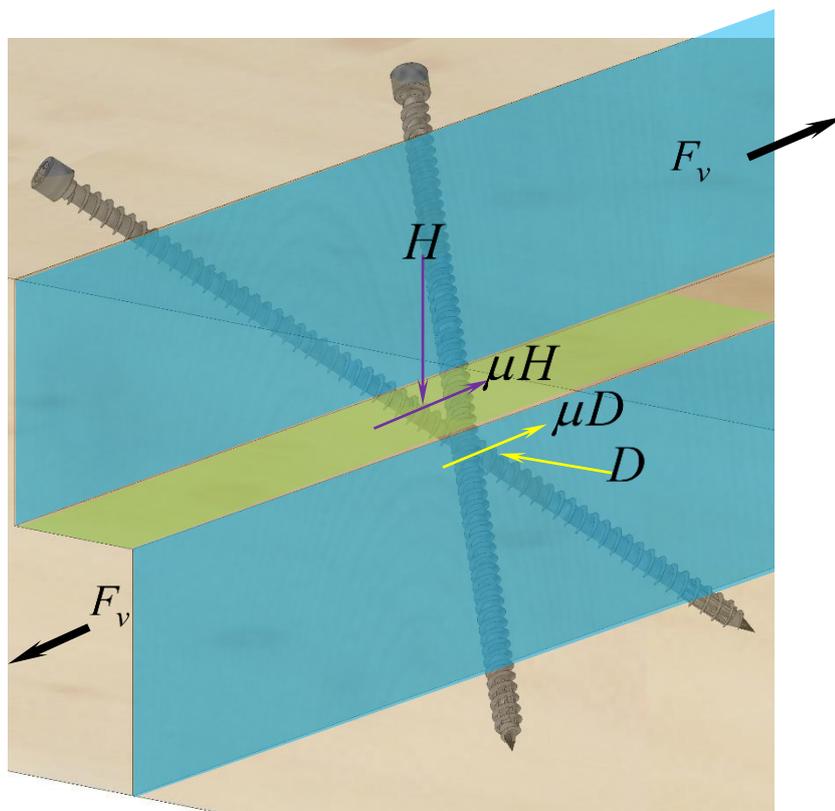


Figure 5-16 : Surfaces de friction

Sur ce principe, l'équation de l'effort de cisaillement (F_v) peut s'écrire de la manière suivante :

$$F_v = \sum_{i=1}^2 (R_i + \mu \times H_i + \mu \times D_i) \quad (48)$$

Afin d'avoir une représentation moins chargée, les axes des vis sont représentés en trait pointillés à partir du plan de cisaillement. Une décomposition de la résistance en cisaillement d'une vis (R) est également faite au regard de la résistance axiale (F_{ax}) et de la résistance latérale (F_{lat}).

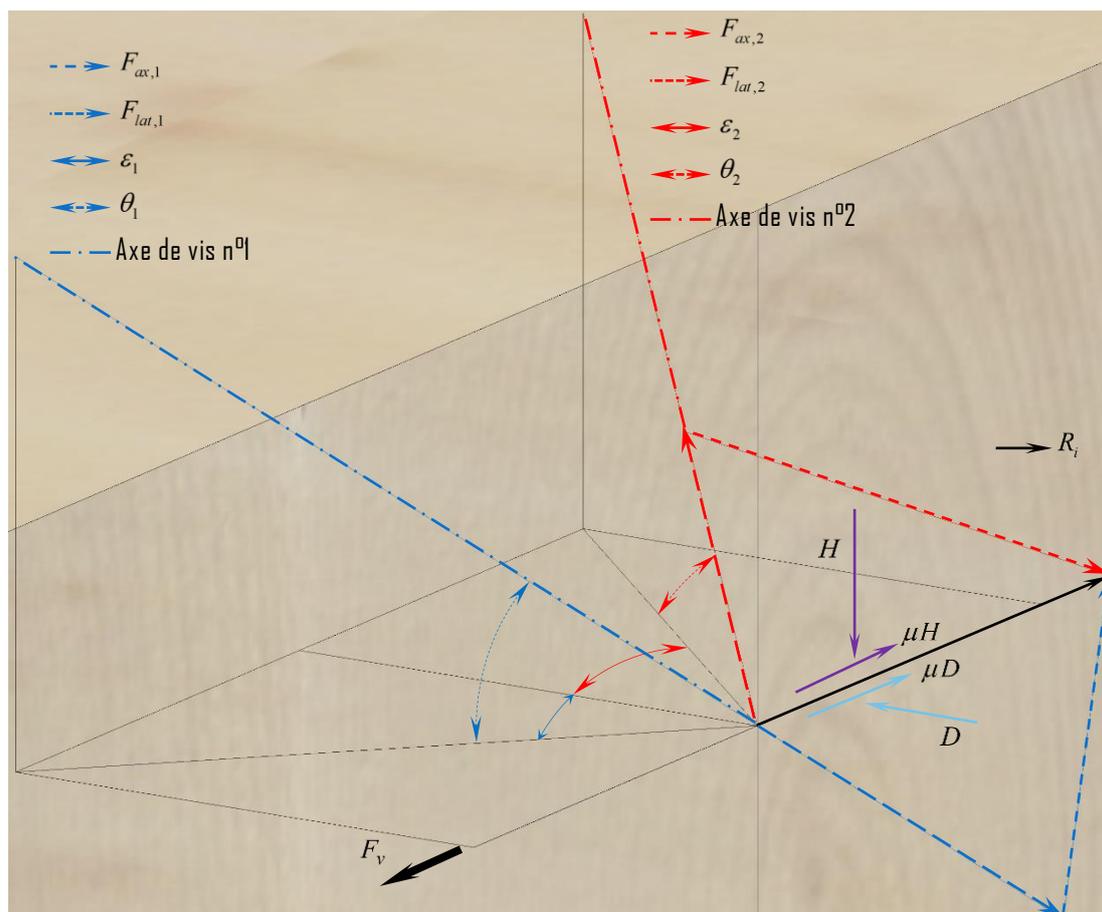


Figure 5-17 : Fonctionnement mécanique d'un assemblage avec deux vis inclinées en X en 3D

La résistance en cisaillement d'une vis (R_i) est une combinaison de la résistance latérale (F_{lat}) et la résistance axiale (F_{ax}) selon l'équation suivante :

$$R_i = F_{ax,i} \times \cos(\theta_i) \times \sin(\varepsilon_i) + F_{lat,i} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta_i \times \sin^2 \varepsilon_i)} \quad (49)$$

La résistance due à la friction verticale (H) et horizontale (D) d'une vis est également une combinaison de la résistance latérale (F_{lat}) et la résistance axiale (F_{ax}). Les différentes équations sont les suivantes :

$$H_1 = F_{ax,1} \times \sin(\theta_1) - F_{lat,1} \times \sin(\varepsilon_1) \times \cos(\theta_1) \times \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{\tan(\theta_1)}{\cos(\varepsilon_1)}\right)\right) \quad (50)$$

$$H_2 = -F_{ax,2} \times \sin(\theta_2) + F_{lat,2} \times \sin(\varepsilon_2) \times \cos(\theta_2) \times \sin\left(\tan^{-1}\left(\frac{\tan(\theta_2)}{\cos(\varepsilon_2)}\right)\right) \quad (51)$$

$$D_1 = F_{ax,1} \times \cos(\varepsilon_1) \times \cos(\theta_1) - F_{lat,1} \times \sin(\varepsilon_1) \times \cos(\theta_1) \times \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{\tan(\theta_1)}{\cos(\varepsilon_1)}\right)\right) \quad (52)$$

$$D_2 = -F_{ax,2} \times \cos(\varepsilon_2) \times \cos(\theta_2) + F_{lat,2} \times \sin(\varepsilon_2) \times \cos(\theta_2) \times \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{\tan(\theta_2)}{\cos(\varepsilon_2)}\right)\right) \quad (53)$$

En intégrant les équations (49), (50), (51), (52) et (53) dans l'équation (48) et les hypothèses suivantes :

- Les angles d'inclinaisons sont identiques pour les deux vis
- Les résistances latérales et axiales sont identiques pour les deux vis, l'équation suivante est obtenue :

$$F_v = 2 \times \left(F_{ax} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) + F_{lat} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon)} \right) \quad (54)$$

5.2.2. Détermination de la raideur totale d'assemblage

5.2.2.1.2D

Pour les vis mises inclinées en croix, l'équation (47) devient l'équation (55), en remplaçant les efforts par les comportements idéaux.

$$K_{tot} \times \delta_{tot} = 2 \times (K_{lat} \times \delta_{lat} \times \sin(\theta) + K_{ax} \times \delta_{ax} \times \cos(\theta)) \quad (55)$$

Selon la Figure 5-3, les déplacements latéraux (δ_{lat}) et axiaux (δ_{ax}) sont exprimés en fonction du déplacement total (δ_{tot}) donnant les équations suivantes :

$$\delta_{lat} = \delta_{tot} \times \sin \theta \quad (56)$$

$$\delta_{ax} = \delta_{tot} \times \cos \theta \quad (57)$$

En intégrant les équations (56) et (57), l'équation (55) devient :

$$K_{tot} = 2 \times (K_{lat} \times \sin^2(\theta) + K_{ax} \times \cos^2(\theta)) \quad (58)$$

Selon si la première ou la deuxième hypothèse de la raideur axiale est prise en compte, les équations suivantes peuvent être écrites :

- Assemblage Bois/Bois et première hypothèse de la raideur axiale

$$K_{tot} = 2 \times \left(K_{lat} \times \sin^2(\theta) + \frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \times \cos^2(\theta) \right) \quad (59)$$

- Assemblage Bois/Bois et deuxième hypothèse de la raideur axiale

$$K_{tot} = 2 \times (K_{lat} \times \sin^2(\theta) + \min(K_{ax,1}; K_{ax,2}) \times \cos^2(\theta)) \quad (60)$$

5.2.2.1.1 Vis à filetage total

La Figure 5-18 présente les évolutions des raideurs totales en fonction de l'inclinaison de la vis et des hypothèses retenus (cf. partie 5.1.3.3.1) pour les deux vis à filetage total mises inclinées au plan de cisaillement.

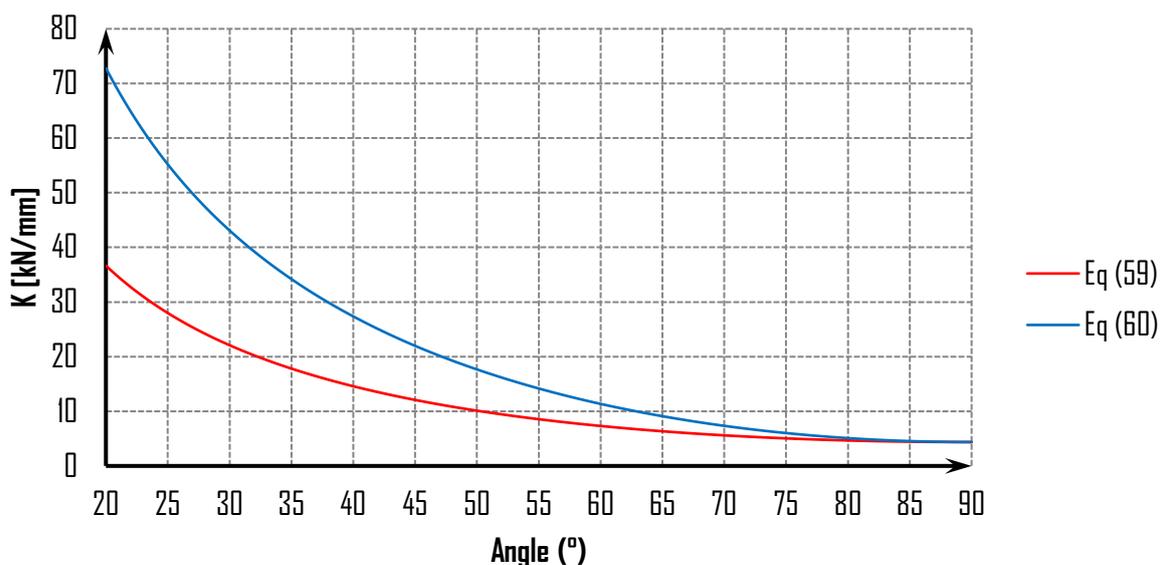


Figure 5-18 : Evolution des raideurs totales en fonction de l'angle d'inclinaison pour deux vis à filetage total

La Figure 5-19 présente la part en pourcentage des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison et de l'équation de détermination de la raideur totale pour les deux vis à filetage total mises inclinées en croix au plan de cisaillement.

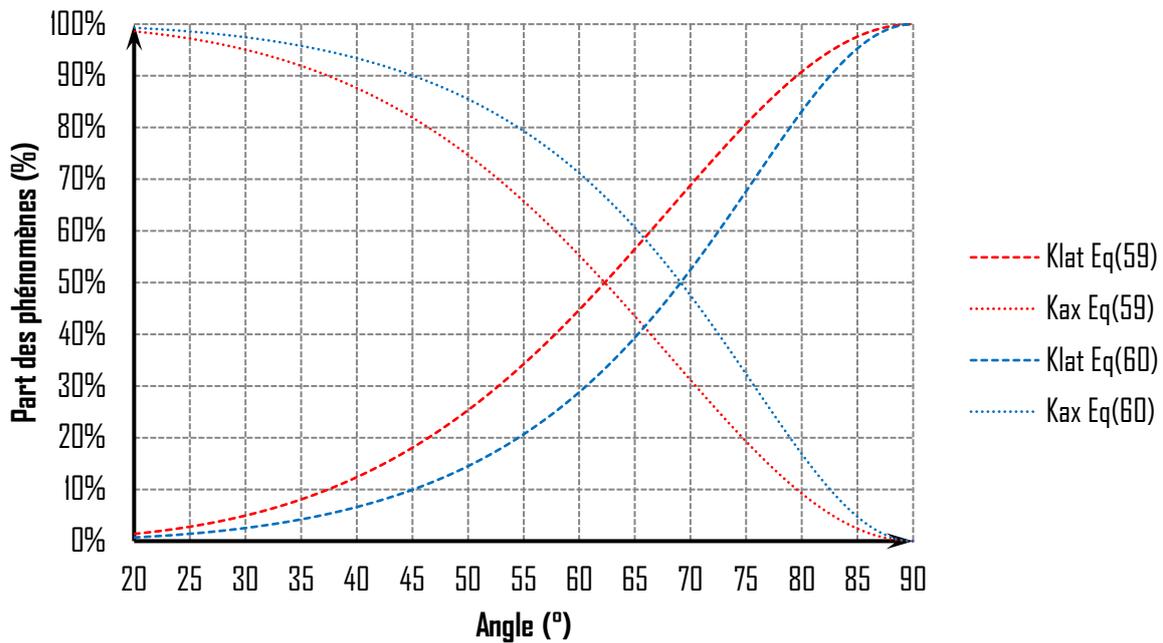


Figure 5-19 : Evolution des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison pour les vis à filetage total

5.2.2.1.2 Vis à filetage partiel

La Figure 5-20 présente les évolutions des raideurs totales en fonction de l'inclinaison de la vis et des hypothèses retenus (cf. partie 5.1.3.3.1) pour deux vis à filetage partiel mises inclinées au plan de cisaillement.

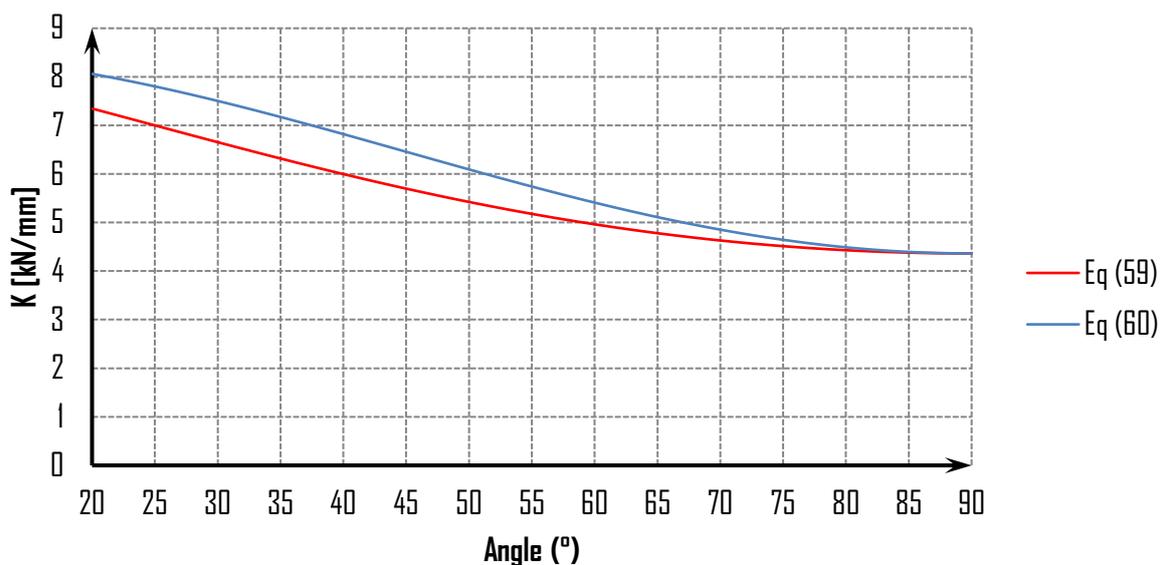


Figure 5-20 : Evolution des raideurs totales en fonction de l'angle d'inclinaison pour les vis à filetage partiel

La Figure 5-21 présente la part en pourcentage des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison et de l'équation de détermination de la raideur totale pour deux vis à filetage partiel mise inclinée en croix au plan de cisaillement.

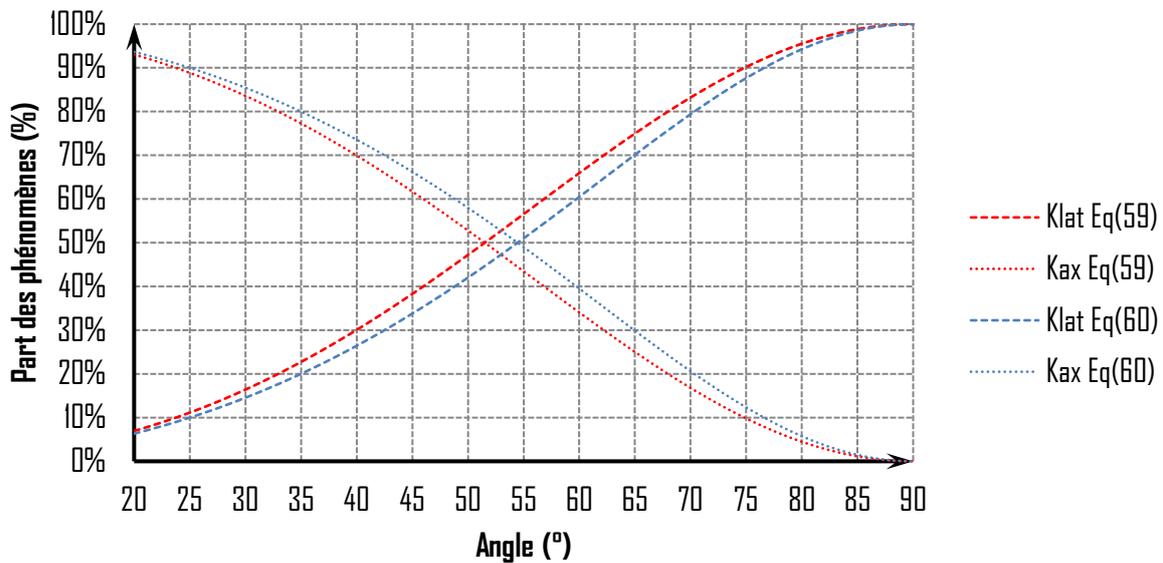


Figure 5-21 : Evolution des raideurs latérales et axiales en fonction de l'angle d'inclinaison pour les vis à filetage partiel

5.2.2.2. 3D

En reprenant l'équation (54) et en remplaçant les efforts par les comportements idéaux, l'équation (61) est obtenue.

$$K_{tot} \times \delta_{tot} = 2 \times \left(K_{ax} \times \delta_{ax} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) + K_{lat} \times \delta_{lat} \times \sqrt{1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon} \right) \quad (61)$$

Selon la Figure 5-3, les déplacements latéraux (δ_{lat}) et axiaux (δ_{ax}) sont exprimés en fonction du déplacement total (δ_{tot}) donnant les équations suivantes :

$$\delta_{lat} = \delta_{tot} \times \sqrt{1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon} \quad (62)$$

$$\delta_{ax} = \delta_{tot} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) \quad (63)$$

En intégrant les équations (62) et (63) dans l'équation (61), l'équation (64) est obtenue :

$$K_{tot} = 2 \times \left(K_{ax} \times \cos^2(\theta) \times \sin^2(\varepsilon) + K_{lat} \times (1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon) \right) \quad (64)$$

Selon si la première ou la deuxième hypothèse de la raideur axiale est prise en compte, les équations suivantes peuvent être écrites :

- Assemblage Bois/Bois et première hypothèse de la raideur axiale

$$K_{tot} = 2 \times \left(K_{lat} \times (1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon) + \frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \times \cos^2(\theta) \times \sin^2(\varepsilon) \right) \quad (65)$$

- Assemblage Bois/Bois et deuxième hypothèse de la raideur axiale

$$K_{tot} = 2 \times \left(K_{lat} \times (1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon) + \min(K_{ax,1}; K_{ax,2}) \times \cos^2(\theta) \times \sin^2(\varepsilon) \right) \quad (66)$$

Les Figure 5-22 et Figure 5-23 présentent les évolutions des raideurs totales en fonction des inclinaisons (θ) et (ε) de la vis respectivement selon les équations (65) et (66).

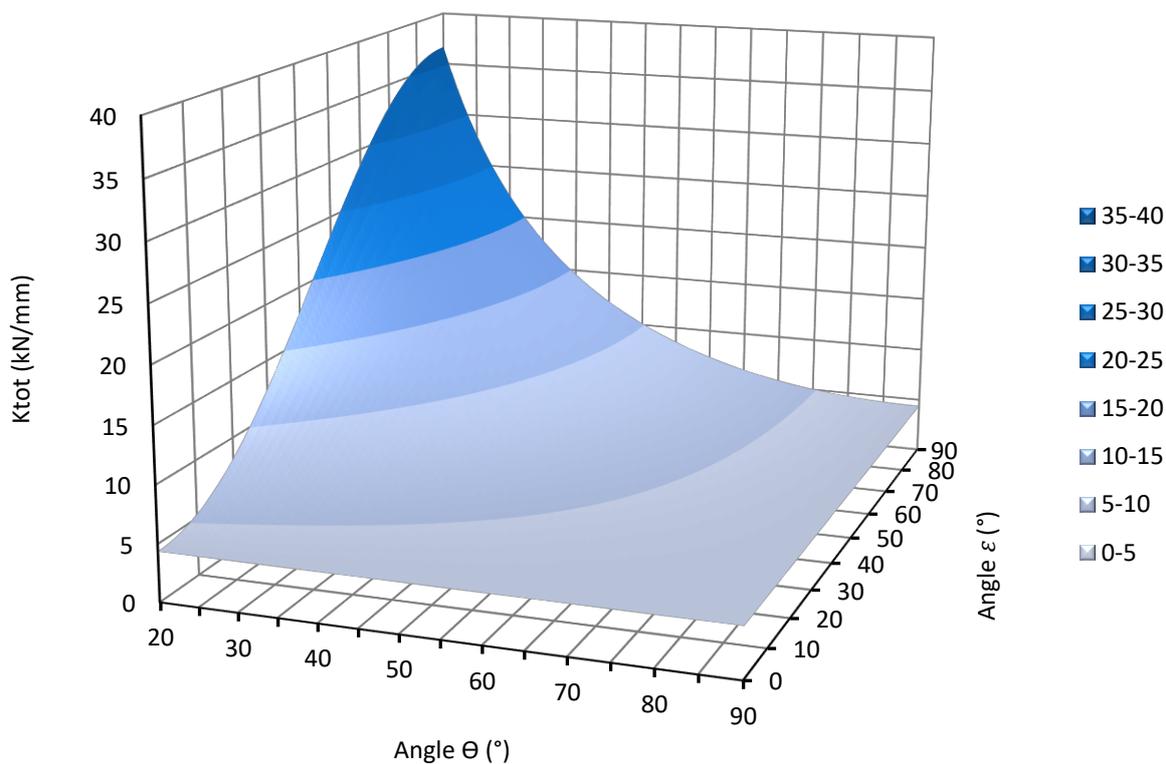


Figure 5-22 : Evolution des raideurs totales en fonction de l'angle d'inclinaison pour les vis à filetage total selon l'équation (65)

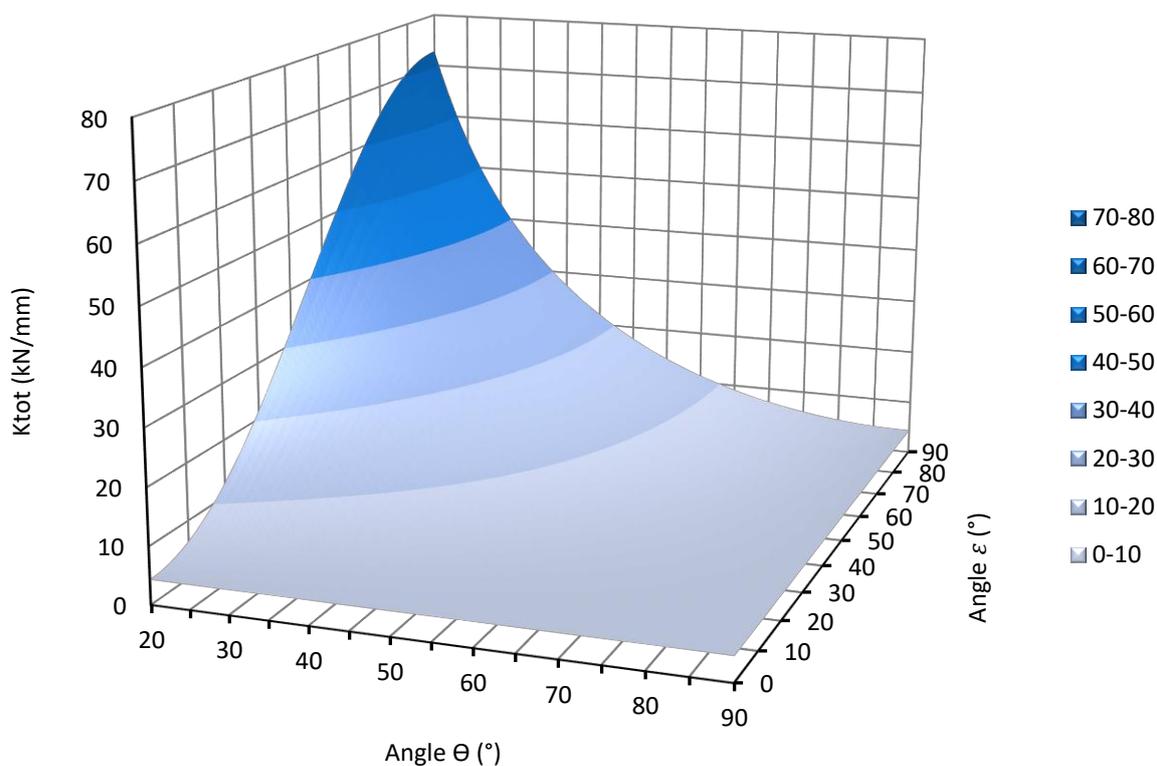


Figure 5-23 : Evolution des raideurs totales en fonction de l'angle d'inclinaison pour les vis à filetage total selon l'équation (66)

5.2.3. Détermination de la capacité résistante

5.2.3.1. 2D

Pour déterminer la capacité résistante de l'assemblage constitué de deux vis mises inclinées au plan de cisaillement sollicitée en cisaillement/traction pour l'une et pour l'autre en cisaillement /compression est rappelé, Il peut être représenté par un effort de cisaillement (F_v) qui doit être inférieur ou égal à la résistance en cisaillement de l'assemblage (R), combinaison de la résistance latérale et de la résistance axiale selon l'équation suivante :

$$F_v = n_{paire} \times 2 \times (F_{lat} \times \sin(\theta) + F_{ax} \times \cos(\theta)) \quad (67)$$

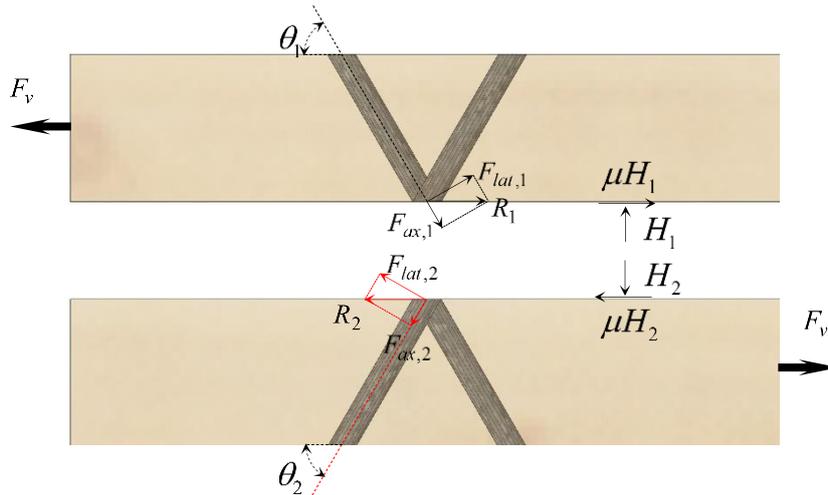


Figure 5-24 : Fonctionnement mécanique d'un assemblage avec deux vis inclinées en X au plan de cisaillement

Il est proposé selon la même démarche que l'équation (42), une démarche similaire pour estimer la capacité résistante d'un assemblage constitué de deux vis en croix inclinées de l'angle (θ) selon l'équation (68).

$$F_v = n_{paire} \times 2 \times \left(\begin{array}{l} \min \left(\begin{array}{l} K_{lat} \times d_{tot} \times \sin(\theta) \\ F_{lat} (Eq.36) \end{array} \right) \times \sin(\theta) \\ + \\ \min \left(\begin{array}{l} \frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \times \cos(\theta) \times d_{tot} \\ F_{ax} (Eq.35) \end{array} \right) \times \cos(\theta) \end{array} \right) \quad (68)$$

Afin d'illustrer cette proposition selon l'équation (68), une comparaison est effectuée entre des essais d'assemblage vissé effectué par Tomasi et al [12] et la proposition. Ces essais ont consisté à concevoir des assemblages où les vis étaient mises de manière croisée selon différents angles d'inclinaison 0° , 15° , 30° et 45° . Cette comparaison est illustrée par le biais de la Figure 5-25.

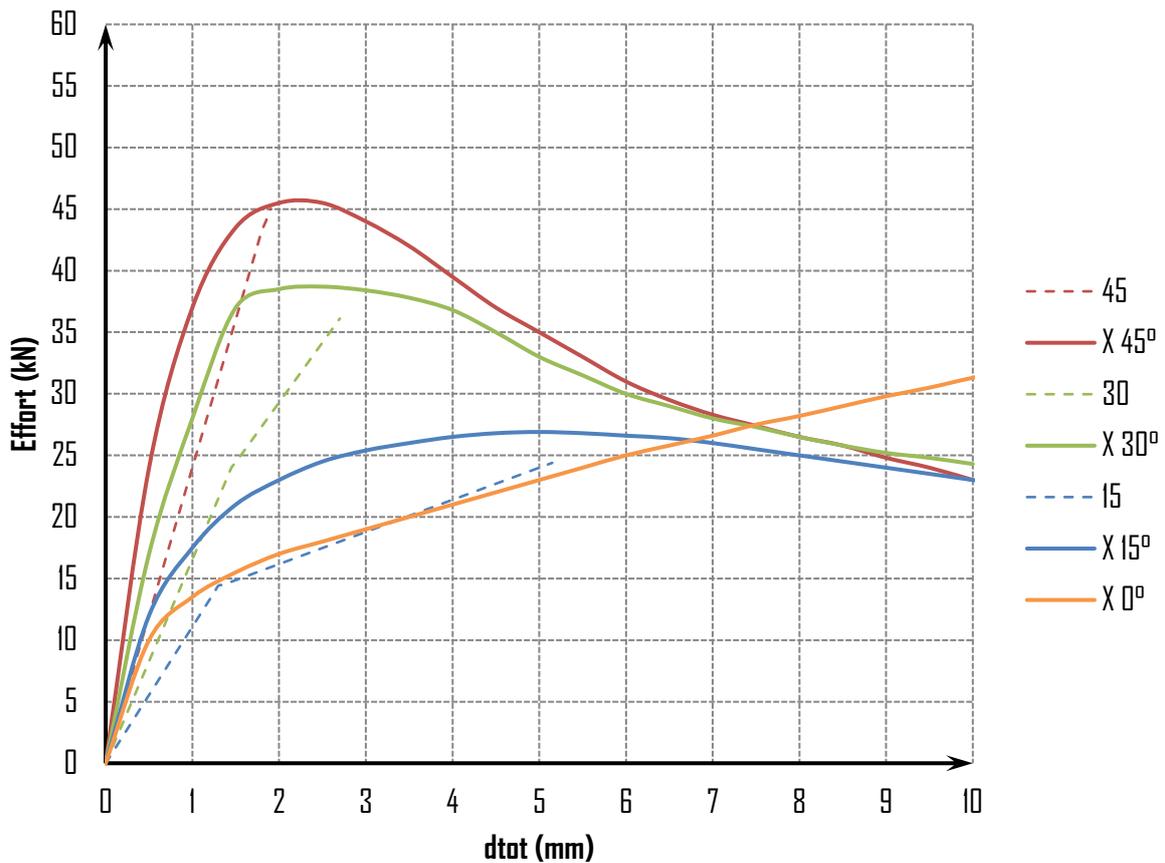


Figure 5-25 : Résultats d'essais de Tomasi et al. [12] superposé avec le modèle de l'équation (68)

Les hypothèses de calculs sont les suivantes :

- Vis :
 - WT-T-220*8.2
 - Longueur fileté 95mm et 95mm
 - Moment plastique : 25000 N.mm
- Bois :
 - Lamellé-collé
 - Masse volumique : 426kg/m^3

En conclusion de cette comparaison, la proposition établie selon l'équation (68) permet également d'approcher par un comportement bilinéaire de l'assemblage. Cependant, comme la proposition faite pour les vis sollicitée en cisaillement et traction, la détermination de la raideur d'assemblage montre des valeurs inférieures au regard des essais effectués par Tomasi et al [12]. Sur la détermination de la capacité résistante, des légers écarts sont également observés.

5.2.3.2 3D

Sur le même principe, il est possible d'extrapoler pour les paires de vis mises avec deux angles d'inclinaisons selon la Figure 5-26, la capacité résistante d'un assemblage selon l'équation suivante :

$$F_v \leq n_{paire} \times 2 \times \left(\begin{array}{l} \min \left(\frac{K_{lat} \times d_{tot} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon)}}{F_{lat} (Eq.36)} \right) \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon)} \\ \min \left(\frac{K_{ax,1} \times K_{ax,2} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) \times d_{tot}}{K_{ax,1} + K_{ax,2}} \right) \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) \\ F_{ax} (Eq.35) \end{array} \right) \quad (69)$$

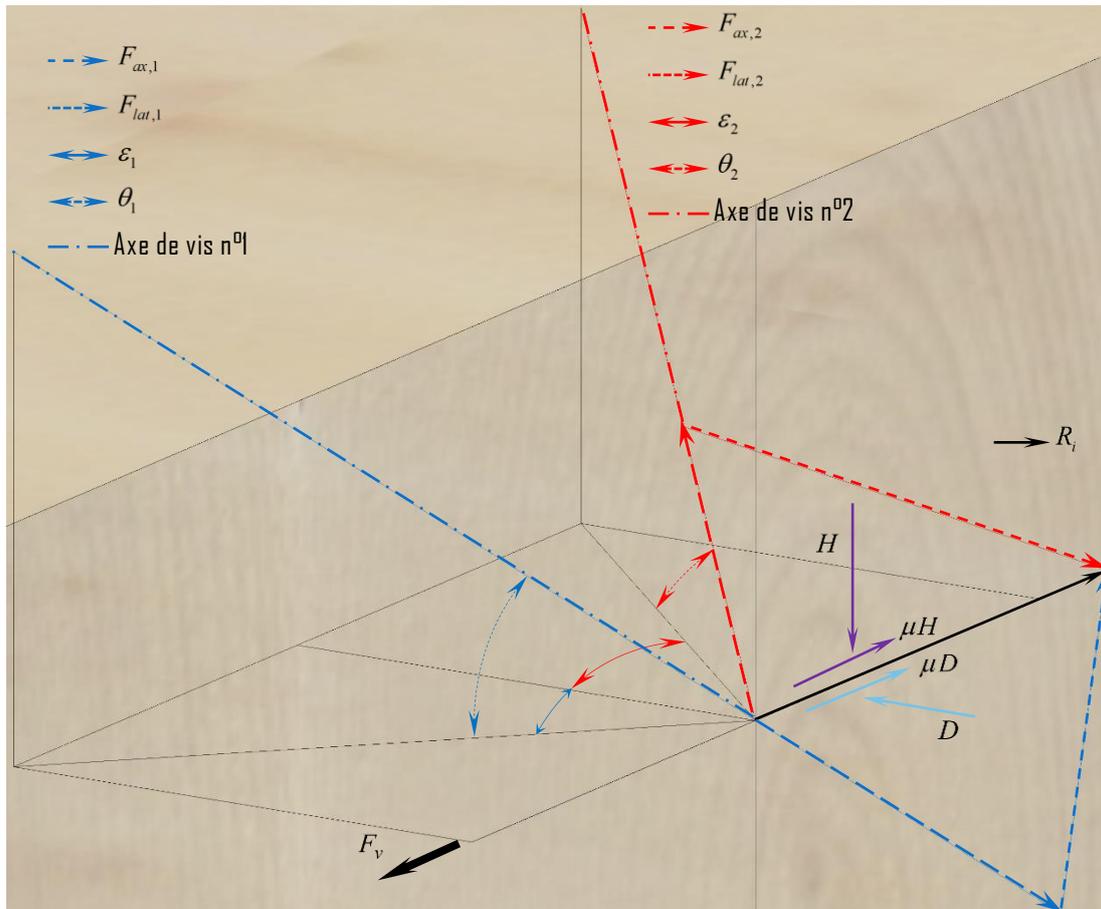


Figure 5-26 : Fonctionnement mécanique d'un assemblage avec deux vis inclinées en X au plan de cisaillement

5.3. PHENOMENOLOGIE LOCALE

Quel que soit les types d'organes de fixation de type tiges, le fonctionnement mécanique présenté dans le présent document est identique. Les paramètres différenciant les organes de fixations selon la norme NF EN 14592 [6] sont :

- la portance locale (f_h) défini conformément à la norme NF EN 383 [20]
- la résistance à l'arrachement de l'organe de fixation (f_{ax}) défini conformément à la norme NF EN 1382 [21]
- la résistance à la traversée de la tête (f_{head}) défini conformément à la norme NF EN 1383 [22]
- le moment d'écoulement plastique (M_y) défini conformément à la norme NF EN 409 [23]
- la capacité résistante à la traction (F_{tens}) défini conformément à la norme NF EN 1383 [22]

Associé à ces résistances, il est nécessaire de déterminer également une raideur élastique du phénomène local afin définir une raideur d'assemblage complexe comme les assemblages avec vis croisées.

5.3.1. Portance locale

La première des propriétés mécaniques nécessaire au dimensionnement est la portance locale. La portance locale est définie comme étant la contrainte moyenne de compression dans un élément bois, exercée par un élément d'assemblage linéaire considéré rigide. L'axe de l'élément d'assemblage est perpendiculaire à la surface du bois et la force est exercée perpendiculairement à cet axe.

Conformément à la norme NF EN 383 [20], la résistance de portance locale (f_h) est déterminée comme étant l'effort maximal (F_h) pour un déplacement maximal de 5 mm, divisé par la section nette de l'organe de fixation ($d_h \times t_h$). L'équation suivante est ainsi obtenue :

$$f_h = \frac{F_h}{d_h \times t_h} \quad (70)$$

Le diamètre (d_h) est le diamètre nominal de l'organe de fixation ; pour une pointe, c'est le diamètre du corps (d_c), pour une vis, c'est ($d_h = 1,1 \times d_c$).

La norme NF EN 1995-1-1 [4] définit ainsi une formule pour la détermination de la résistance à la portance locale pour un organe de fixation de diamètre inférieure ou égal à 8 mm sans pré-perçage et avec pré-perçage respectivement selon les équations (71) et (72). Ces résistances pour des faibles diamètres d'organe n'est pas fonction de l'angle d'inclinaison et elles sont définis pour le bois massif, le bois lamellé-collé, le lamibois de résineux et le bois lamellé-croisé.

$$f_h = 0,082 \times \rho_k \times d_h^{-0,3} \quad (71)$$

$$f_h = 0,082 \times (1 - 0,01d_h) \times \rho_k \quad (72)$$

Cependant pour ce dernier matériau, une étude réalisée par Uibel et al. [24] montre une résistance à l'enfoncement sur les rives d'un panneau CLT différente. Elle est définie selon l'équation (73) et simplifiée donnant l'équation (74) avec une masse volumique de référence d'une valeur de 350 kg/m^3 . Cette dernière est présente dans certains ETAs des fabricants de vis [9], [13].

$$f_h = 0,862 \times d_h^{-0,5} \times \rho_{layer}^{0,56} \quad (73)$$

$$f_h = 20 \times d_h^{-0,5} \quad (74)$$

5.3.2. Résistance à l'arrachement

La deuxième des propriétés mécaniques nécessaire au dimensionnement est la résistance à l'arrachement. La résistance à l'arrachement est définie comme étant la contrainte moyenne de cisaillement de long de l'organe de fixation. La force est exercée parallèlement à l'axe de l'organe de fixation.

Conformément à la norme NF EN 1382 [21], cette résistance d'arrachement ($f_{ax,90}$) est déterminé comme étant l'effort maximal d'arrachement ($F_{ax,90}$) pour un déplacement maximal divisé par la surface nette de l'organe de fixation ($d_{ext} \times l_{ef}$). L'équation suivante est ainsi obtenue :

$$f_{ax,90} = \frac{F_{ax,90}}{d_{ext} \times l_{ef}} \quad (75)$$

Conformément aux ETA des fabricants de vis [7], [9], [13], la résistance à l'arrachement de la vis est de l'ordre de 10 à 12 MPa. Pour les vis envisagées pour les essais de caractérisation d'assemblage, les valeurs de la résistance à l'arrachement sont rappelées dans le Tableau 5-1.

Tableau 5-1: Valeurs des résistances à l'arrachement des vis envisagées pour les essais de caractérisation

Fabricants	ETA	Type de vis	($f_{ax,90}$) (MPa)
SIMPSON	ETA 13/0796 [7]	ESCRFTZ	12,4
		ESCRFTC	13,1
		ESCR	10,7
		ESCRC	
	ETA 04/0013 [25]	CSA	15,0
WURTH	ETA 11/0190 [13]	ASSY Plus VG TC	11,0
		ASSY Plus VG TF	
		ASSY 3.0 SK FP	
		ASSY 3.0 TFF	
		ASSY 3.0 (Connecteur)	12,0
HECO	ETA 11/0284 [9]	HT-T-CS-PT HT-T-FH-PT HECO TOPIX TC HECO TOPIX CH	11,8

L'amendement A1 de la norme NF EN 1995-1-1 [26] propose de prendre la résistance à l'arrachement des vis selon l'équation suivante :

$$f_{ax,90} = 0,52 \times d_{ext}^{-0,5} \times l_{ef}^{-0,1} \times p_k^{0,8} \quad (76)$$

Aujourd'hui, dans une des propositions de la révision de la norme NF EN 1995-1-1, une dissociation entre les phénomènes physiques et ceux matériaux est proposé permettant de distinguer réellement les propriétés intrinsèques du matériau bois.

Ainsi, la résistance d'arrachement ($f_{ax,90}$) ou (f_w) est déterminé comme étant l'effort maximal d'arrachement ($F_{ax,90}$) pour un déplacement maximal divisé par la surface de l'organe de fixation cisillant le bois ($d_w \times \pi \times t_w$), c'est-à-dire le périmètre cisailé par la longueur cisillée. L'équation suivante est ainsi obtenue :

$$f_{ax,90} \text{ ou } f_w = \frac{F_{ax}}{\pi \times d_w \times t_w} \quad (77)$$

Dans la même proposition de la norme, la valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement de la vis est prise égale à 4,0MPa pour le bois massif, le bois lamellé-collé et le bois lamellé-croisé pour une masse volumique de 350kg/m³, comparable aux valeurs de cisaillement normatives de la norme NF EN 14080 [2].

Afin de prendre en considération la variation d'angle, la norme NF EN 1995-1-1 [4] définit le facteur suivant maintenu également dans la proposition de révision :

$$\frac{1}{1,2 \times \cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)} \text{ pour } 30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (78)$$

Un deuxième facteur est lui également maintenu dans la future version permettant de prendre en considération la variation de la densité entre la densité de caractérisation de la résistance d'arrachement et la densité de calcul. Il est modifié pour les densités supérieures à 350kg/m³. Il s'écrit donc de la manière suivante :

$$k_p = \begin{cases} \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} & \text{si } \rho_k > 350 \text{ kg/m}^3 \\ \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{1,2} & \text{si } \rho_k < 350 \text{ kg/m}^3 \end{cases} \quad (79)$$

L'expression générale de la résistance à l'arrachement de la vis selon un angle au fil du bois est écrite de la manière suivante :

$$f_{ax,\theta,k} = \frac{f_{ax,90,k}}{1,2 \times \cos^2(\theta) + \sin^2(\theta)} \times k_p \text{ pour } 30^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (80)$$

5.3.3. Résistance à la traversée de la tête

La troisième des propriétés mécaniques nécessaire au dimensionnement est la résistance à la traversée de tête. La résistance à la traversée de la tête est définie comme étant la contrainte moyenne de compression sous la tête de l'organe de fixation. La force est exercée parallèlement à l'axe de l'organe de fixation.

Conformément à la norme NF EN 1383 [22], cette résistance à la traversée de tête (f_{head}) est déterminée comme étant l'effort maximal (F_{max}) divisé par le diamètre de la tête au carré (d_h^2). L'équation suivante est ainsi obtenue :

$$f_{head} = \frac{F_{max}}{d_h^2} \quad (81)$$

Conformément aux ETA des fabricants de vis [7], [9], [13], la résistance à la traversée de tête de vis est dépendant du type de tête et du filetage (Partiel ou total). Les valeurs peuvent varier de 6,5 à 24 MPa. Pour les vis envisagées pour les essais d'assemblage, les valeurs de la résistance à la traversée de la tête sont rappelées dans le Tableau 5-2.

Tableau 5-2 : Valeurs des résistances à la traversée de la tête des vis envisagées pour les essais de caractérisation

Fabricants	ETA	Type de vis	(f_{head}) (MPa)
SIMPSON	ETA 13/0796 [7]	ESCRFTZ	0
		ESCRFTC	12,4
		ESCR	17,6
		ESCRC	12,4
	ETA 04/0013 [25]	CSA	/
WURTH	ETA 11/0190 [13]	ASSY Plus VG TC	13
		ASSY Plus VG TF	13
		ASSY 3.0 SK FP	10
		ASSY 3.0 TFF	13
		ASSY 3.0 (Connecteur)	/
HECO	ETA 11/0284 [9]	HT-T-CS-PT HT-T-FH-PT HECO TOPIX TC HECO TOPIX CH	20,0

Pour la résistance à la traversée des têtes de pointes, la norme NF EN 1995-1-1 propose la formule suivante :

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \times p_k^2 \quad (82)$$

Aujourd'hui, dans une des propositions de la révision de la norme NF EN 1995-1-1, une dissociation entre les phénomènes physiques et ceux matériaux est proposé permettant de distinguer réellement les propriétés intrinsèques du matériau.

Ainsi, la résistance à la traversée de la tête (f_{head}) est déterminée comme étant l'effort maximal (F_{max}) , divisé par la surface de la tête de l'organe de fixation $\left(\frac{d_h^2 \times \pi}{4}\right)$. L'équation suivante est ainsi obtenue :

$$f_{head} = \frac{4 \times F_{max}}{\pi \times d_h^2} \quad (83)$$

Dans la même proposition, la valeur caractéristique de la résistance à la traversée de la tête de la vis est définie pour le bois massif, le bois lamellé-collé et le bois lamellé-croisé selon l'équation suivante :

$$\begin{aligned} f_{head} &= \frac{\rho_k}{350} \times 11 \text{ pour } A_h \leq 200mm^2 \\ f_{head} &= 3 \times f_{c,90,k} \text{ pour } A_h \geq 800mm^2 \end{aligned} \quad (84)$$

Pour les valeurs intermédiaires, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Une constante (k_{head}) est également intégré permettant de prendre en compte de type de tête. Elle prend la valeur de 1 pour les têtes plates et la valeur est non définie à ce jour pour les têtes fraisées.

L'expression générale de la résistance à la traversée de la vis selon un angle au fil du bois est écrite pour le bois massif, le bois lamellé-collé et le bois lamellé-croisé de la manière suivante :

$$F_{p,k} = \begin{cases} k_p \times A_h \times f_{head} & \text{pour } A_h \leq 200mm^2 \\ A_h \times f_{head} & \text{pour } A_h \geq 800mm^2 \end{cases}$$

Pour le lamibois, l'expression n'est pas encore définie.

5.3.4. Moment plastique

La quatrième des propriétés mécaniques nécessaire au dimensionnement est le moment d'écoulement plastique. Le moment d'écoulement plastique est défini comme étant le moment de flexion lorsque l'éprouvette est déformée suivant un angle de rotation prédéterminé.

Conformément à la norme NF EN 409 [23], le moment d'écoulement plastique (M_y) est déterminée comme étant le moment de flexion pour une rotation $45/d_{ext}^{0,7}$. Les valeurs des moments d'écoulement plastique de chacune des vis envisagées pour les essais de caractérisation sont définies dans le Tableau 5-3

Tableau 5-3 : Valeurs des moments plastique des vis envisagées pour les essais de caractérisation

Fabricants	ETA	Type de vis	(M_y) (N.m)
SIMPSON	ETA 13/0796 [7]	ESCRFTZ	20,3
		ESCRFTC	
		ESCR	22,6
	ESCRC		
	ETA 04/0013 [25]	CSA	5
WURTH	ETA 11/0190 [13]	ASSY Plus VG TC	23,0
		ASSY Plus VG TF	
		ASSY 3.0 SK FP	
		ASSY 3.0 TFF	
		ASSY 3.0 (Connecteur)	5,9
HECO	ETA 11/0284 [9]	HT-T-CS-PT HT-T-FH-PT HECO TOPIX TC HECO TOPIX CH	20,0

5.3.5. Capacité résistante à la traction

La cinquième et dernière des propriétés mécaniques nécessaire au dimensionnement est la capacité résistante à la traction de la vis. La capacité résistante à la traction est définie comme étant l'effort à rupture avec une rupture soit de la tête soit de la tige.

Les valeurs des capacités résistantes à la traction de chacune des vis envisagées pour les essais de caractérisation sont définies dans le Tableau 5-4.

Tableau 5-4 : Valeurs des capacités résistantes des vis envisagées pour les essais de caractérisation

Fabricants	ETA	Type de vis	(F_{tens}) (kN)
SIMPSON	ETA 13/0796 [7]	ESCRFTZ	24,1
		ESCRFTC	
		ESCR	22,8
		ESCRC	22,7
	ETA 04/0013 [25]	CSA	6,8
WURTH	ETA 11/0190 [13]	ASSY Plus VG TC	22,0
		ASSY Plus VG TF	
		ASSY 3.0 SK FP	21,5
		ASSY 3.0 TFF	
		ASSY 3.0 (Connecteur)	5,9
HECO	ETA 11/0284 [9]	HT-T-CS-PT HT-T-FH-PT HECO TOPIX TC HECO TOPIX CH	20,0

6. - CONCLUSIONS

En conclusion de ce rapport bibliographique des assemblages par vis, il peut être dit qu'il existe différentes approches pour prédire la raideur d'assemblage par vis ainsi que la résistance de ces derniers.

Ces différentes approches partent d'une même analyse qui est l'association par projection de la résistance axiale et de la résistance latérale en fonction de l'angle d'inclinaison de la vis. Il est apparu que le frottement consécutif à l'effet de corde est généralement pris en compte dans les différentes analyses mais n'apporte rien au niveau de la raideur qui est le but principal de cette étude.

Dans le travail expérimental qui va être conduit, un jeu apparent entre les panneaux sera alors imposé pour se placer dans un cadre réel de chantier après séchage. De ce fait, le coefficient de friction sera considéré comme nul dans les analyses. Après détermination de la résistance axiale par essais d'arrachement, la caractérisation de l'assemblage complet par essais jusqu'à rupture permettra d'extraire par méthode inverse la résistance à l'enfoncement des vis utilisées.

Grâce à ces essais, les raideurs et la résistance obtenus seront comparés aux valeurs de la norme NF EN 1995-1-1 [4] à titre d'information.

Fait à EPINAL le 17/12/2021

Jean-François BOCQUET

Maître de Conférences à l'ENSTIB

Enseignant chercheur du LERMAB



7. - BIBLIOGRAPHIE :

- [1] ADIVBOIS, "Vade-mecum des immeubles à vivre bois," CODIFAB, Mar. 2017.
- [2] AFNOR, *NF EN 14080: Structures en bois - Bois lamellé collé et bois massif reconstitué - Exigences*. 2013.
- [3] AFNOR, *NF EN 16351: Structures en bois - Bois lamellé croisé - Exigences*. 2015.
- [4] AFNOR, *NF EN 1995-1-1: EC 5 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois - Partie 1-1 - Règles générales et règles pour les bâtiments*. 2005.
- [5] AFNOR, *NF EN 10230-1: Pointes en fil d'acier - Partie 1 - Pointes pour usage général*. 2000.
- [6] AFNOR, *NF EN 14592+A1: Structures en bois - Éléments de fixation de type tige - Exigences*. 2009.
- [7] SIMPSON, "European technical approval-13/0796." 2017.
- [8] WURTH, "European technical approval-11/0190." 2013.
- [9] HECO, "European technical approval-11/0284." 2019.
- [10] U. A. Girhammar, N. Jacquier, and B. Källsner, "Stiffness model for inclined screws in shear-tension mode in timber-to-timber joints," *Engineering Structures*, vol. 136, pp. 580–595, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.engstruct.2017.01.022.
- [11] D. Symons, R. Persaud, and H. Stanislaus, "Slip modulus of inclined screws in timber-concrete floors," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, vol. 163, no. 4, pp. 245–255, Aug. 2010, doi: 10.1680/stbu.2010.163.4.245.
- [12] R. Tomasi, A. Crosatti, and M. Piazza, "Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws," *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 9, pp. 1560–1571, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.007.
- [13] WURTH, "European technical approval-11/0190." 2018.
- [14] C. Loss, A. Hossain, and T. Tannert, "Simple cross-laminated timber shear connections with spatially arranged screws," *Engineering Structures*, vol. 173, pp. 340–356, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.07.004.
- [15] Johansen K.W., "Theory of timber connections," in *Proceedings of International Association of Bridge and Structural Engineering*, 1949, pp. 249–262.
- [16] I. Bejtka and H. J. Blass, "Self-tapping screws as reinforcements in beam supports," in *Proceedings of International Council for Building Research and Innovation Working 18*, Florence, Italy, 2006, p. Paper 39-7-2, Accessed: Sep. 28, 2013. [Online]. Available: <http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gc20/IHB/PUBLIC/45.pdf>.
- [17] N. Jacquier, "Development and evaluation of mechanical joints for composite floor elements with cross laminated timber," Luleå, 2015.
- [18] R. Tomasi, M. Piazza, A. Angeli, and M. Mores, "A new ductile approach design of joints assembled with screws connectors.," Portland, Oregon, 2006.
- [19] G. Flatscher, K. Bratulic, and G. Schickhofer, "Experimental tests on cross-laminated timber joints and walls," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, vol. 168, no. 11, pp. 868–877, 2015, doi: 10.1680/stbu.13.00085.
- [20] AFNOR, *NF EN 383: Structure en bois - Méthode d'essai - Détermination de caractéristiques de fondation et de la portance d'éléments d'assemblage de type broche*. 2007.
- [21] AFNOR, *NF EN 1382: Structures en bois - Méthodes d'essai - Résistance à l'arrachement dans le bois d'éléments de fixation*. 1999.
- [22] AFNOR, *NF EN 1383: Structures en bois - Méthodes d'essai - Résistance à la traversée de la tête d'éléments de fixation à travers le bois*. 1999.
- [23] AFNOR, *NF EN 409: Structures en bois - Méthodes d'essais - Détermination du moment plastique des organes d'assemblage de type tige*. 2009.
- [24] T. Uibel and H. J. Blass, "Edge joints with dowel type fasteners in cross laminated timber," in *Proceedings of International Council for Building Research and Innovation Working 18*, Bled, Slovenia, 2007, p. Paper 40-7-2.

7 - BIBLIOGRAPHIE :

[25] SIMPSON, "European technical approval-04/0013." 2019.

[26] AFNOR, *NF EN 1995-1-1-A1: EC 5 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois - Partie 1-1 - Règles générales et règles pour les bâtiments.* 2008.

2. NOTE-1

Note de calcul des assemblages par vis



Laboratoire d'Etudes et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 43 70 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

NOTE-1 : Note de calculs des assemblages par vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - PRINCIPES DE REDACTION DES NOTES DE CALCULS	5
2. - ASSEMBLAGE N°1	6
2.1. MODE CONSTRUCTIF	6
2.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE	7
2.2.1. <i>Distances et pinces minimales</i>	7
2.2.2. <i>Dispositif de l'assemblage</i>	8
2.2.3. <i>Vis chargées latéralement</i>	9
2.2.3.1. Valeur caractéristique	10
2.2.3.2. Valeur moyenne	11
2.2.4. <i>Vis chargées axialement</i>	12
2.2.4.1. Valeur caractéristique	12
2.2.4.2. Valeur moyenne	13
2.2.5. <i>Résistance plastique de l'assemblage des vis</i>	13
2.2.5.1. Valeur caractéristique	13
2.2.5.2. Valeur moyenne	13
2.2.6. <i>Résistance au fendage de l'assemblage</i>	14
2.2.6.1. Nombre efficace	14
2.2.7. <i>Raideur de l'assemblage</i>	15
2.2.7.1. Raideur latérale	15
3. - ASSEMBLAGE N°2	16
3.1. MODE CONSTRUCTIF	16
3.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE	17
3.2.1. <i>Distances et pinces minimales</i>	17
3.2.2. <i>Dispositif de l'Assemblage</i>	18
3.2.3. <i>Vis chargées latéralement</i>	19
3.2.3.1. Valeur caractéristique	20
3.2.3.2. Valeur moyenne	21
3.2.4. <i>Vis chargées axialement</i>	22
3.2.4.1. Valeur caractéristique	22
3.2.4.2. Valeur moyenne	23
3.2.5. <i>Résistance plastique de l'assemblage des vis</i>	23
3.2.5.1. Valeur caractéristique	23
3.2.5.2. Valeur moyenne	23
3.2.6. <i>Résistance au fendage de l'assemblage</i>	24
3.2.6.1. Nombre efficace	24
3.2.7. <i>Raideur de l'assemblage des vis sollicitées axialement et latéralement</i>	25
3.2.7.1. Raideur latérale	25
3.2.7.2. Raideur axiale	25
3.2.7.3. Raideur de l'assemblage	25
4. - ASSEMBLAGE N°3	26
4.1. MODE CONSTRUCTIF	26
4.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE	27
4.2.1. <i>Distances et pinces minimales</i>	27
4.2.2. <i>Dispositif de l'Assemblage</i>	27
4.2.3. <i>Vis chargées latéralement</i>	28
4.2.3.1. Valeur caractéristique	29
4.2.3.2. Valeur moyenne	29
4.2.4. <i>Vis chargées axialement</i>	30
4.2.4.1. Valeur caractéristique	30
4.2.4.2. Valeur moyenne	30
4.2.5. <i>Résistance plastique de l'assemblage des vis</i>	30
4.2.5.1. Valeur caractéristique	30
4.2.5.2. Valeur moyenne	31
4.2.6. <i>Résistance au fendage de l'assemblage</i>	31

4.2.6.1.	Nombre efficace	31
4.2.7.	<i>Résistance à la rupture de bloc</i>	31
4.2.7.1.	Valeur caractéristique	32
4.2.7.2.	Valeur moyenne	32
4.2.8.	<i>Raideur de l'assemblage</i>	33
4.2.8.1.	Raideur latérale	33
5.	- ASSEMBLAGE N°4	34
5.1.	MODE CONSTRUCTIF	34
5.2.	DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE	35
5.2.1.	<i>Distances et pinces minimales</i>	35
5.2.2.	<i>Dispositif de l'Assemblage</i>	35
5.2.3.	<i>Vis chargées latéralement</i>	36
5.2.3.1.	Valeur caractéristique	37
5.2.3.2.	Valeur moyenne	38
5.2.4.	<i>Vis chargées axialement</i>	39
5.2.4.1.	Valeur caractéristique	39
5.2.4.2.	Valeur moyenne	40
5.2.5.	<i>Résistance plastique de l'assemblage des vis</i>	40
5.2.5.1.	Valeur caractéristique	40
5.2.5.2.	Valeur moyenne	40
5.2.6.	<i>Résistance au fendage de l'assemblage</i>	41
5.2.6.1.	Nombre efficace	41
5.2.7.	<i>Raideur de l'assemblage</i>	42
5.2.7.1.	Raideur latérale	42
5.2.7.2.	Raideur axiale	42
5.2.7.3.	Raideur de l'assemblage	42
6.	- ASSEMBLAGE N°5	43
6.1.	MODE CONSTRUCTIF	43
6.2.	DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE	44
6.2.1.	<i>Distances et pinces minimales</i>	44
6.2.2.	<i>Dispositif de l'Assemblage</i>	44
6.2.3.	<i>Vis chargées latéralement</i>	45
6.2.3.1.	Valeur caractéristique	46
6.2.3.2.	Valeur moyenne	47
6.2.4.	<i>Vis chargées axialement</i>	48
6.2.4.1.	Valeur caractéristique	48
6.2.4.2.	Valeur moyenne	49
6.2.5.	<i>Résistance plastique de l'assemblage des vis</i>	49
6.2.5.1.	Valeur caractéristique	49
6.2.5.2.	Valeur moyenne	49
6.2.6.	<i>Résistance au fendage de l'assemblage</i>	50
6.2.6.1.	Nombre efficace	50
6.2.7.	<i>Raideur de l'assemblage</i>	51
6.2.7.1.	Raideur latérale	51
6.2.7.2.	Raideur axiale	51
6.2.7.3.	Raideur de l'assemblage	51
7.	- ASSEMBLAGE N°6	52
7.1.	MODE CONSTRUCTIF	52
7.2.	DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE	53
7.2.1.	<i>Distances et pinces minimales</i>	53
7.2.2.	<i>Dispositif de l'Assemblage</i>	53
7.2.3.	<i>Vis chargées latéralement</i>	54
7.2.3.1.	Valeur caractéristique	55
7.2.3.2.	Valeur moyenne	56
7.2.4.	<i>Vis chargées axialement</i>	57
7.2.4.1.	Valeur caractéristique	57
7.2.4.2.	Valeur moyenne	58
7.2.5.	<i>Résistance plastique de l'assemblage des vis</i>	58

SOMMAIRE

7.2.5.1. Valeur caractéristique	58
7.2.5.2. Valeur moyenne.....	58
<i>7.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage.....</i>	<i>59</i>
7.2.6.1. Nombre efficace	59
<i>7.2.7. Raideur de l'assemblage</i>	<i>60</i>
7.2.7.1. Raideur latérale.....	60
8. - BIBLIOGRAPHIE :	62

1. – PRINCIPES DE REDACTION DES NOTES DE CALCULS

Afin d'estimer les capacités résistantes d'assemblage constitués de vis et de panneau CLT, il est présenté les notes de calculs avec les matériaux choisis pour effectuer les essais de caractérisation. Les estimations de résistance à l'enfoncement et d'arrachement sont effectuées à l'aide de la norme NF EN 1995-1-1. Il est fait abstraction des valeurs définies dans les ETAs des fabricants de vis ou de CLT.

Les différentes hypothèses d'étude listées ci-dessous sont également prises en compte.

- Pour le diamètre de vis de 8mm, le sens des plis n'a pas d'incidence sur la portance locale.
- Aucun pré-perçage ne sera effectué pour introduire les vis.
- Pour la prise en compte de l'effet de corde, seules les parties filetées de diamètre équivalent sont prises en considération.
- Des jeux d'assemblage d'environ 2 mm seront imposés entre chacun des éléments bois afin de s'affranchir du frottement. Ce jeu correspondra également à l'intégration du joint d'étanchéité lors de la mise en œuvre sur chantier.

Six configurations en compression ont été retenues pour tester les assemblages mécaniques bois-bois et bois-métal composés de vis dans le bois lamellé croisé (voir les schémas de la Figure I-1) pour quatre types de jonction entre deux panneaux CLT (6, 7, 8, 9). La première jonction (6) est une configuration avec couvre joint en LVL de 27mm d'épaisseur pour laquelle deux configurations ont été retenues (6.1 et 6.2). La configuration (6.1) souhaitée est réalisée avec des vis droites. La configuration (6.2) souhaitée est une configuration avec des vis mises à 45° parallèlement à la jonction. La deuxième jonction (7) est une configuration avec un couvre joint métallique pour laquelle seule une configuration (7.1) est testée avec des vis à 90°. La troisième jonction (8) est une coupe droite. Pour cette jonction, il est proposé de tester une disposition de vis à 45° dans deux plans. La dernière jonction (9) est la jonction en mi-bois. Pour cette jonction, deux configurations sont demandées. Pour la configuration (9.1), les vis sont disposées à 45° alors que pour la configuration (9.2), les vis sont disposées à 90°.

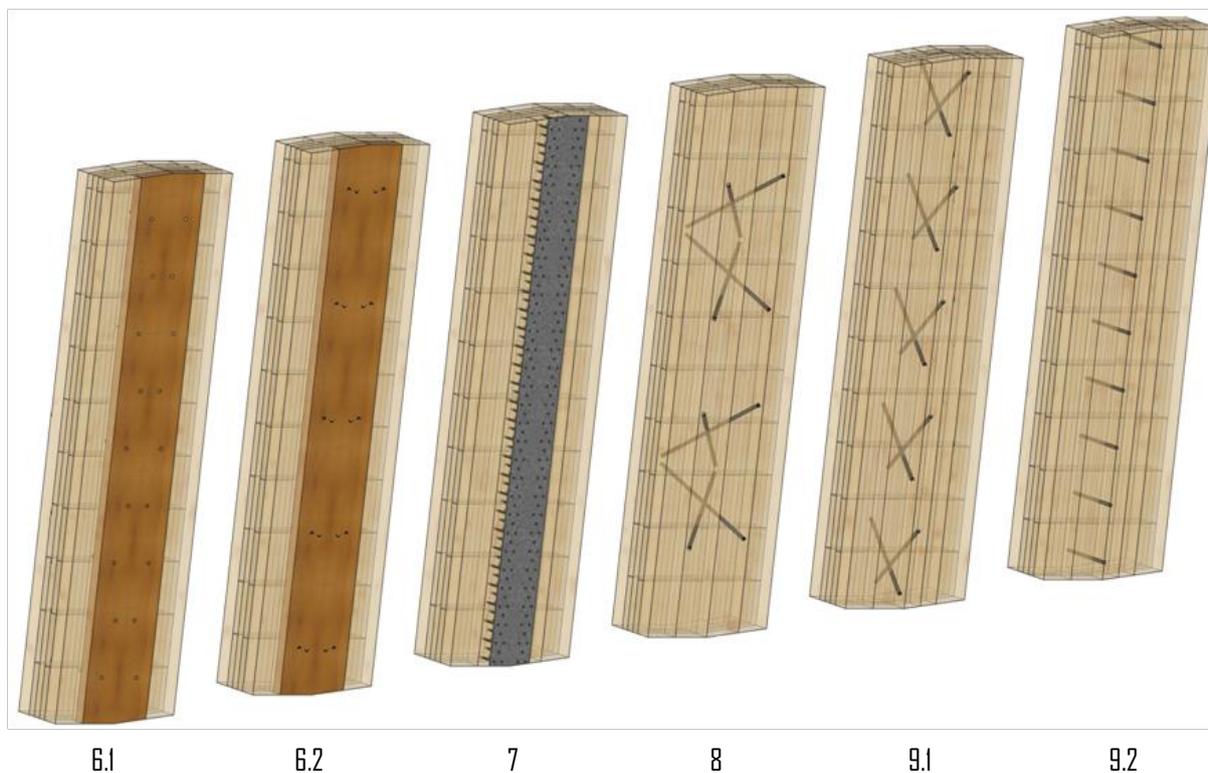


Figure I-1: Schémas des différentes configurations d'assemblages mécaniques de type vis en bois lamellé croisé.

2. – ASSEMBLAGE N°1

2.1. MODE CONSTRUCTIF

La première configuration retenue est la disposition d'un couvre joint en panneau LVL d'une épaisseur de 27mm. Un jeu de 2 mm en périphérie du panneau LVL est disposé permettant d'intégrer les joints d'étanchéité. Ce dispositif justifie ainsi le type de vis retenu pour caractériser l'assemblage. Les vis à filetage total et à tête cylindrique sont mises à 90° aux pinces minimales excepté la pince entre les organes dans le sens longitudinal du panneau.

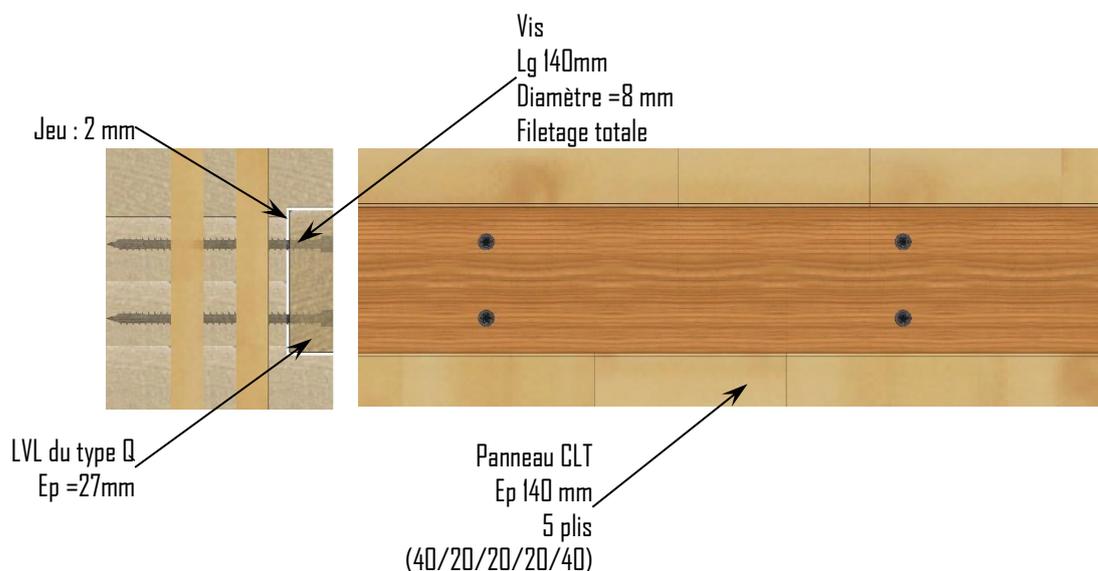


Figure 2-1: Présentation de la conception de la configuration n°1 des assemblages vissés CLT

Le Tableau 2-1 présente les données géométriques de certaines vis dites « Génériques ». Ces données sont extraites des différentes ETA des fabricants de vis. La vis de SIMPSON est retenue pour la note de calculs.

Tableau 2-1: Caractéristiques des vis de certains fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	d _i (mm)	d _k (mm)	k _l (mm)	a (mm)	l _{sp} (mm)	l (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [1]	ESCRFTZ	8	5,2	10,2	7,5	10	8,2	140
WURTH	ETA 11/0190 [2]	ASSY Plus VG	8	5,0	10,0	7,5	11	0	140
HECO	ETA 11/0284 [3]	HECO TOPIX	8	5,25	12	5,2	8	??	140

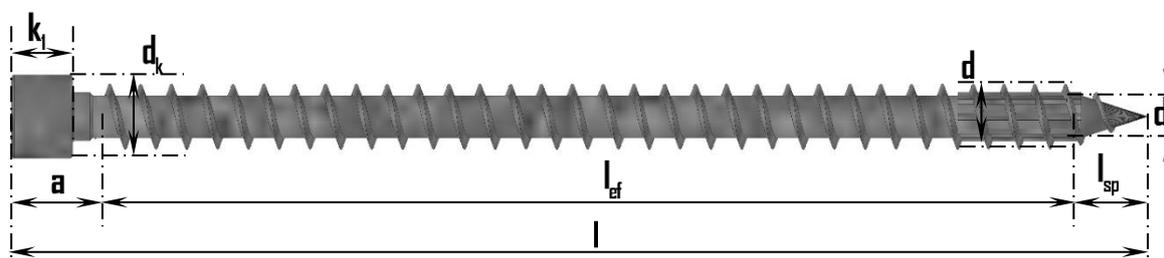


Figure 2-2: Schéma d'une vis avec toutes ses dénominations

2.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE

2.2.1. Distances et pinces minimales

La Figure 2-3 présente les pinces pour la configuration n°1 des assemblages vissés CLT et LVL.

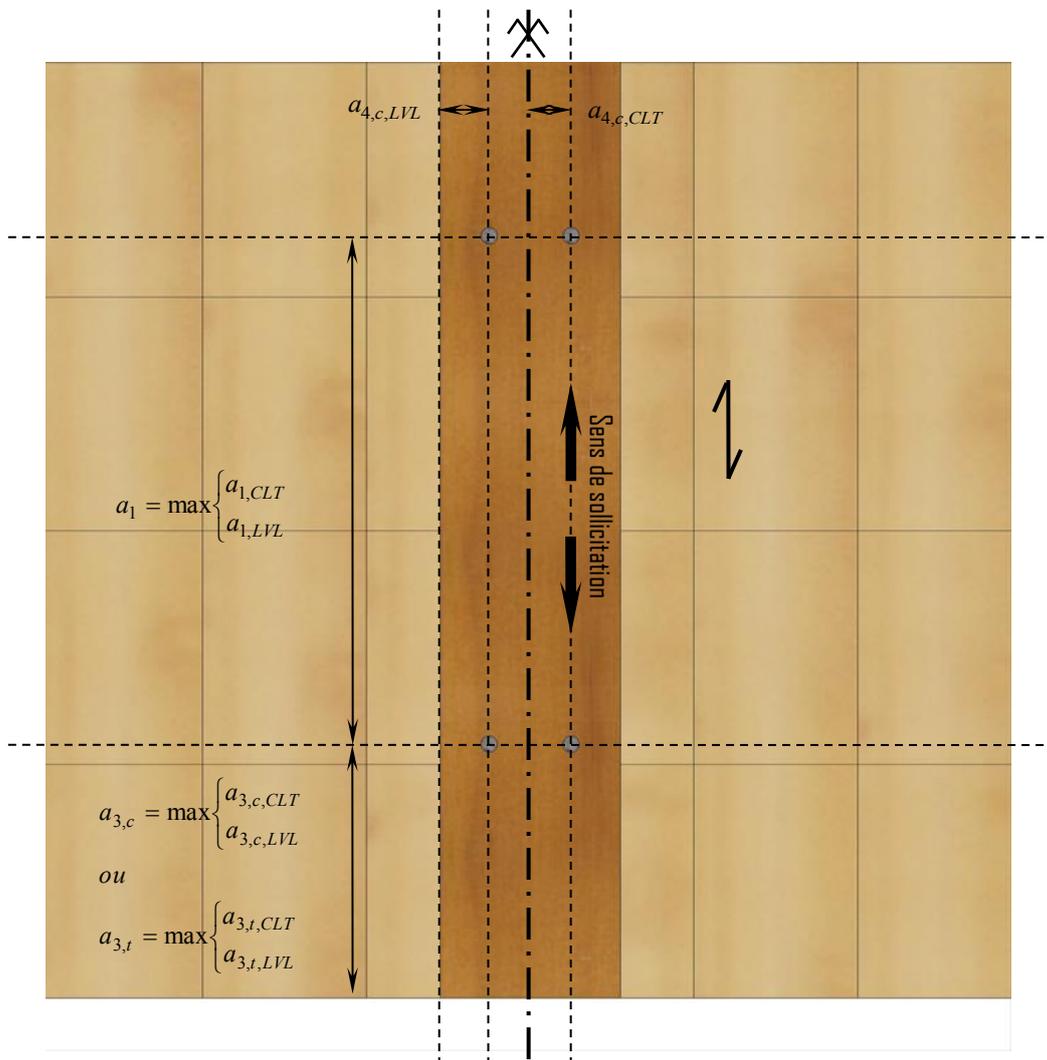


Figure 2-3 : Présentation des pinces de la configuration n°1 des assemblages vissés CLT

Les pinces minimales concernant le panneau CLT sont extraites de certains ETAs de fabricant de vis, elles-mêmes extraites d'un article scientifique [4].

- Pinces mini pour les vis dans le panneau CLT :

$$a_{1,CLT} = 4 \times d = 4 \times 8 = 32mm$$

$$a_{2,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20mm$$

$$a_{3,c,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

$$a_{3,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

$$a_{4,c,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20mm$$

$$a_{4,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

Les pinces minimales concernant le panneau LVL sont extraites de la norme NF EN 1995-1-1 [5] selon les recommandations du paragraphe 8.7.1 (4).

- Pinces mini pour les vis dans le panneau LVL Q :

$$a_{1,LVL} = 5 \times d = 5 \times 8 = 40mm$$

$$a_{2,LVL} = 3 \times d = 3 \times 8 = 24mm$$

$$a_{3,c,LVL} = 3 \times d = 3 \times 8 = 24mm$$

$$a_{3,t,LVL} = \max(7 \times d; 80mm) = \max(56; 80mm) = 80mm$$

$$a_{4,c,LVL} = 3 \times d = 3 \times 8 = 24mm$$

$$a_{4,t,LVL} = \max((2 + 2 \times \sin \alpha) \times d; 3 \times d) = \max(2 \times 8; 3 \times 8) = 24mm$$

Les pinces minimales concernant ce type de connexion sont les suivantes :

$$a_1 = \max \begin{cases} a_{1,CLT} = \max \begin{cases} 32 \\ 40 \end{cases} \\ a_{1,LVL} \end{cases} = 40mm$$

$$a_2 = \max \begin{cases} a_{2,CLT} = \max \begin{cases} 20 \\ 24 \end{cases} \\ a_{2,LVL} \end{cases} = 24mm$$

$$a_{3,c} = \max \begin{cases} a_{3,c,CLT} = \max \begin{cases} 48 \\ 24 \end{cases} \\ a_{3,c,LVL} \end{cases} = 48mm$$

$$a_{3,t} = \max \begin{cases} a_{3,t,CLT} = \max \begin{cases} 48 \\ 80 \end{cases} \\ a_{3,t,LVL} \end{cases} = 80mm$$

$$a_{4,c} = \max \begin{cases} a_{4,c,CLT} = \max \begin{cases} 20 \\ 24 \end{cases} \\ a_{4,c,LVL} \end{cases} = 24mm$$

$$a_{4,t} = \max \begin{cases} a_{4,t,CLT} = \max \begin{cases} 48 \\ 24 \end{cases} \\ a_{4,t,LVL} \end{cases} = 48mm$$

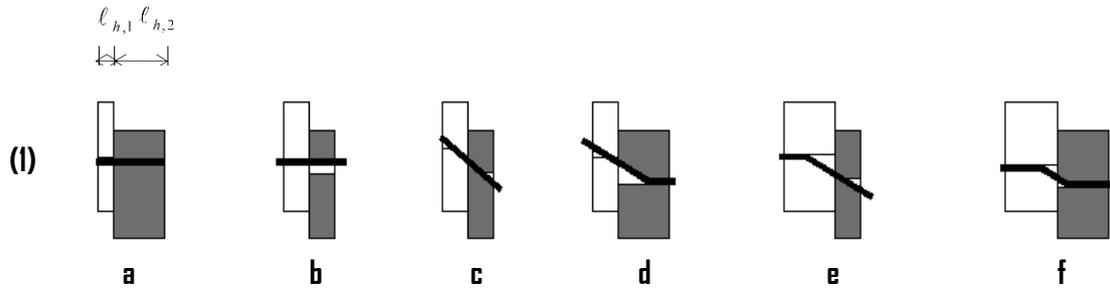
2.2.2. Dispositif de l'assemblage

Pour la première configuration retenue, l'assemblage est donc constitué de deux rangées de 4 vis permettant de transmettre l'effort de cisaillement d'un panneau CLT à un autre panneau CLT par l'intermédiaire du panneau LVL de type Q. Suite aux différents échanges dans l'atelier Adiv'bois, l'espacement a_1 retenu est un espacement de 250 mm entre chacune des vis et une distance $a_{3,t}$ équivalent au demi-entraxe des vis en partie courante, c'est-à-dire 125 mm. Les pinces a_4 sont prises au minimum. L'assemblage testé mesurera ainsi 1000 mm de longueur.

2.2.3. Vis chargées latéralement

Pour la détermination de la valeur de la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques de ce type, les contributions respectives de la capacité plastique, de la portance locale, de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage doivent être considérées.

Il convient de déterminer la valeur de la capacité résistante latérale des vis par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimums spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes :



$$F_{lat,Rk,J} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \ell_{h,1} d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} \ell_{h,2} d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} + \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right) \right] & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,1}^2 d}} - \beta \right] & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,2}^2 d}} - \beta \right] & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} & \text{(f)} \end{cases}$$

La Figure 2-4 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante latérale.

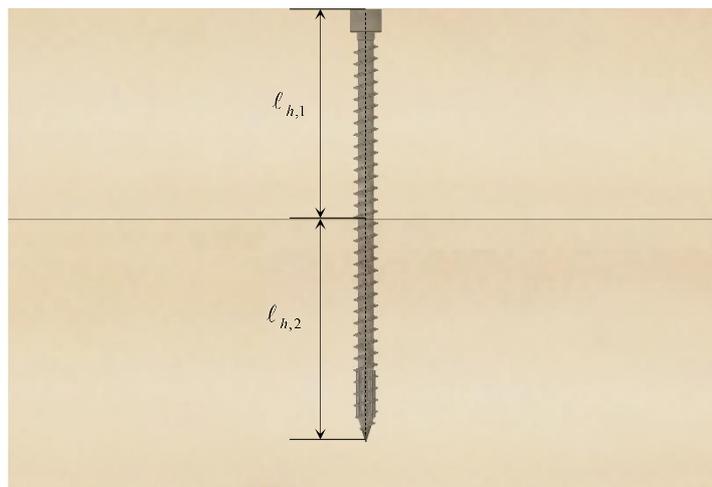


Figure 2-4 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°1

2.2.3.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{k,LVL} = 480 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique LVL Q.

$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,k,LVL} = 0,082 \times \rho_{k,LVL} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 480 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 23,33 \text{ MPa}$$

$$f_{h,k,CLT} = 0,082 \times \rho_{k,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 350 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 17,01 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

Fabricants	$M_{y,rk}$ (N.m)
HECO	20,0
SIMPSON	24,0
WURTH	23,0

$$\beta = \frac{f_{h,k,CLT}}{f_{h,k,LVL}} = \frac{17,01}{23,33} = 0,73$$

$$\ell_{h,1} = 27 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 27 = 113 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 23,33 \times 27 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(a)} \\ 17,01 \times 113 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(b)} \\ \frac{23,33 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 0,73} \left[\sqrt{0,73 + 2 \times 0,73^2 \left[1 + \frac{113}{27} + \left(\frac{113}{27} \right)^2 \right] + 0,73^3 \left(\frac{113}{27} \right)^2} - 0,73 \times \left(1 + \frac{113}{27} \right) \right] \quad \text{(c)} \\ 1,05 \times \frac{23,33 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{2 + 0,73} \left[\sqrt{2 \times 0,73 \times (1 + 0,73) + \frac{4 \times 0,73 \times (2 + 0,73) \times 24000}{23,33 \times 27^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,73 \right] \quad \text{(d)} \\ 1,05 \times \frac{23,33 \times 113 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 2 \times 0,73} \left[\sqrt{2 \times 0,73^2 (1 + 0,73) + \frac{4 \times 0,73 \times (1 + 2 \times 0,73) \times 24000}{23,33 \times 113^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,73 \right] \quad \text{(e)} \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,73}{1 + 0,73}} \times \sqrt{2 \times 24000 \times 23,33 \times (5,2 \times 1,1)} \quad \text{(f)} \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3602 \text{ (a)} \\ 10994 \text{ (b)} \\ 3845 \text{ (c)} \\ 1925 \text{ (d)} \\ 4273 \text{ (e)} \\ 2673 \text{ (f)} \end{array} \right. = 1925 \text{ N (d)}$$

2.2.3.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$$\rho_{meanLVL} = 510 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique LVL Q.}$$

$$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique G24.}$$

$$d_{ef} = d_{int} \times 1,1 \text{ selon la norme NF EN 1995-1-1 [5]}$$

Par approximation :

$$f_{h,mean,LVL} = 0,082 \times \rho_{mean,LVL} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 510 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 24,78 \text{ MPa}$$

$$f_{h,mean,CLT} = 0,082 \times \rho_{mean,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 420 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 20,41 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

$$M_{y,r,mean} = \frac{M_{y,rk}}{e^{-1,64 \times COV_{acier}}} \text{ avec } COV_{acier} = 3\%$$

Fabricants	$M_{y,rmean}$ (N.m)
HECO	21,00
SIMPSON	25,21
WURTH	24,16

$$\beta = \frac{f_{h,mean,CLT}}{f_{h,mean,LVL}} = \frac{20,41}{24,78} = 0,82$$

$$\ell_{h,1} = 27 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 27 = 113 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 24,78 \times 27 \times (5,2 \times 1,1) \quad (a) \\ 20,41 \times 113 \times (5,2 \times 1,1) \quad (b) \\ \frac{24,78 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 0,82} \left[\sqrt{0,82 + 2 \times 0,82^2 \left[1 + \frac{113}{27} + \left(\frac{113}{27} \right)^2 \right] + 0,82^3 \left(\frac{113}{27} \right)^2} - 0,82 \times \left(1 + \frac{113}{27} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \times \frac{24,78 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{2 + 0,82} \left[\sqrt{2 \times 0,82 \times (1 + 0,82) + \frac{4 \times 0,82 \times (2 + 0,82) \times 25210}{24,78 \times 27^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,82 \right] \quad (d) \\ 1,05 \times \frac{24,78 \times 113 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 2 \times 0,82} \left[\sqrt{2 \times 0,82^2 (1 + 0,82) + \frac{4 \times 0,82 \times (1 + 2 \times 0,82) \times 25210}{24,78 \times 113^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,82 \right] \quad (e) \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,82}{1 + 0,82}} \times \sqrt{2 \times 25210 \times 24,78 \times (5,2 \times 1,1)} \quad (f) \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3828(a) \\ 13192(b) \\ 4542(c) \\ 2096(d) \\ 5003(e) \\ 2922(f) \end{array} \right. = 2096 \text{ N } (d)$$

2.2.4. Vis chargées axialement

La Figure 2-5 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante axiale.

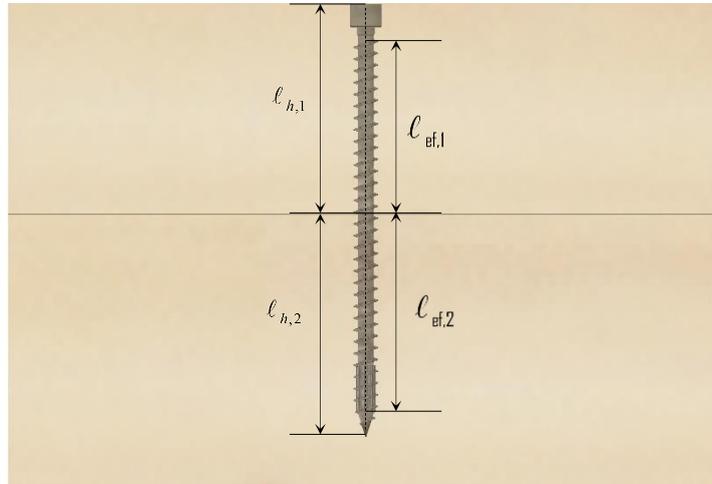


Figure 2-5 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°1

2.2.4.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{k,LVL} = 480 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique LVL Q.}$$

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$l_{ef,LVL} = l_{h,1} - a = 27 - 10 = 17 \text{ mm}$$

$$l_{ef,CLT} = l_{h,2} - l_{sp} = 113 - 8,2 = 104,8 \text{ mm}$$

$$k_d = \min \left\{ \frac{d}{8} = \min \left\{ \frac{8}{8} = 1 \right. \right.$$

$$F_{ax,Rk,LVL} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,LVL}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,LVL}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 17^{0,9} \times 480^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 2630 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 104,8^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 10499 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,Rk,LVL} \\ F_{ax,Rk,CLT} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 2630 \\ 10499 \end{array} \right. = 2630 \text{ N}$$

2.2.4.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{meanLVL} = 510 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique moyenne LVL Q.}$$

$$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique moyenne C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$\ell_{ef,LVL} = \ell_{h,1} - a = 27 - 10 = 17 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,CLT} = \ell_{h,2} - \ell_{sp} = 113 - 8,2 = 104,8 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rmean,LVL} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,LVL}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,LVL}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 17^{0,9} \times 510^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 2761 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,CLT}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 104,8^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 12147 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean} = \min \begin{cases} F_{ax,Rmean,LVL} \\ F_{ax,Rmean,CLT} \end{cases} = \min \begin{cases} 2761 \\ 12147 \end{cases} = 2761 \text{ N}$$

2.2.5. Résistance plastique de l'assemblage des vis

2.2.5.1. Valeur caractéristique

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rk,U} &= F_{lat,Rk,J} (\text{Johansen}) + \min \begin{cases} F_{ax,Rk} / 4 \\ F_{lat,Rk,J} \end{cases} \\ &= 1925 + \min \begin{cases} 2630 / 4 \\ 1925 \end{cases} = 2582 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rk,U} = 2600 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

2.2.5.2. Valeur moyenne

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est obtenue à partir de l'équation suivante :

$$\begin{aligned} F_{v,Rmean,U} &= F_{lat,Rmean,J} (\text{Johansen}) + \min \begin{cases} F_{ax,Rmean} / 4 \\ F_{lat,Rmean,J} \end{cases} \\ &= 2096 + \min \begin{cases} 2761 / 4 \\ 2096 \end{cases} = 2786 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rmean,U} = 2808 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

2.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage

2.2.6.1. Nombre efficace

Pour une file de n pointes parallèles au fil du bois, il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, à partir du nombre efficace d'organes n_{ef} où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

où :

- n_{ef} est le nombre efficace de pointes dans la file ;
- n est le nombre de pointes dans une file ;
- k_{ef} est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-2: Valeurs de k_{ef}

Espacement ^{a)}	k_{ef}	
	Sans préperçage	Avec préperçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^{a)} Pour des espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de k_{ef} est autorisée

Vis-à-vis de la solution d'assemblage retenue, aucune rupture par fendage ne doit être observée puisque

$$a_1 = 250\text{mm} > 14 \times d = 14 \times 8 = 112\text{mm}$$

2.2.7. Raideur de l'assemblage

2.2.7.1. Raideur latérale

$\rho_{meanLVL} = 510 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique LVL Q.

$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{meanLVL} \times \rho_{meanCLT}} = \sqrt{510 \times 420} = 463 \text{ kg/m}^3$$

Raideur conventionnelle à l'état limite de service par plan de cisaillement :

$$K_{lat} = \frac{\rho_m^{1,5} d_{ef}}{23}$$

L'assemblage est bois/bois :

$$k_{type} = \begin{cases} 1 & \text{bois / bois} \\ 2 & \text{bois / métal ou bois / béton} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} K_{ass} &= \frac{\rho_m^{1,5} d_{ef}}{23} \times n_{plan} \times n_{org} \times k_{type} \\ &= \frac{463^{1,5} (5,2 \times 1,1) \times 1 \times 4 \times 1}{23} = 9905 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

L'assemblage global est constitué de deux assemblage de 4 vis mis en série. La raideur de l'assemblage complet s'écrit de la manière suivante :

$$\begin{aligned} K_{ass,total} &= \frac{K_{ass} \times K_{ass}}{K_{ass} + K_{ass}} \\ &= \frac{9905^2}{2 \times 9905} = 4952 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

3. - ASSEMBLAGE N°2

3.1. MODE CONSTRUCTIF

La deuxième configuration retenue est la disposition d'un couvre joint en panneau LVL d'une épaisseur de 27mm. Un jeu de 2 mm en périphérie du panneau LVL est disposé permettant d'intégrer les joints d'étanchéité. Ce dispositif justifie ainsi le type de vis retenue pour caractériser l'assemblage. Les vis à filetage total et tête cylindrique sont mises à 45° par paires aux pinces minimales exceptées, la pince entre les organes dans le sens longitudinal du panneau.

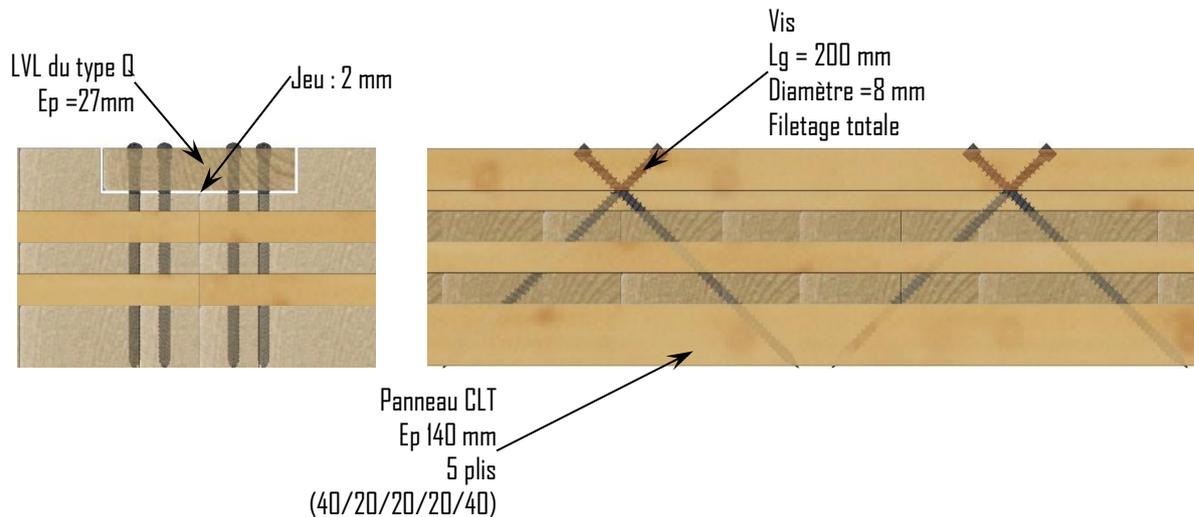


Figure 3-1 : Présentation de la conception de la configuration n°2 des assemblages vissées CLT

Le Tableau 3-1 présente les données géométriques de certaines vis dites « Génériques ». Ces données sont extraites des différentes ETA des fabricants de vis.

Tableau 3-1 : Caractéristiques des vis de différents fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	d _i (mm)	d _k (mm)	k _l (mm)	a (mm)	l _{sp} (mm)	l (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [1]	ESCRFTZ	8	5,2	10,2	7,5	10	8,2	200
WURTH	ETA 11/0190 [2]	ASSY Plus VG	8	5,0	10,0	7,5	11	0	200
HECO	ETA 11/0284 [3]	HECO TOPIX	8	5,25	12	5,2	8	??	200

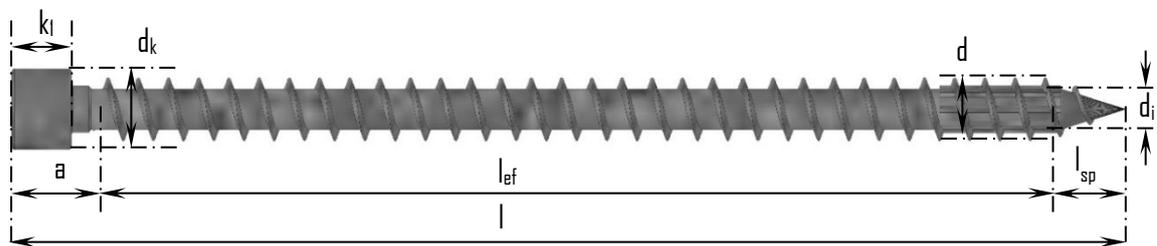


Figure 3-2 : Schéma d'une vis avec toutes ses dénominations

3.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE

3.2.1. Distances et pincés minimaux

La Figure 3-3 présente les pincés pour la configuration n°2 des assemblages vissés CLT.

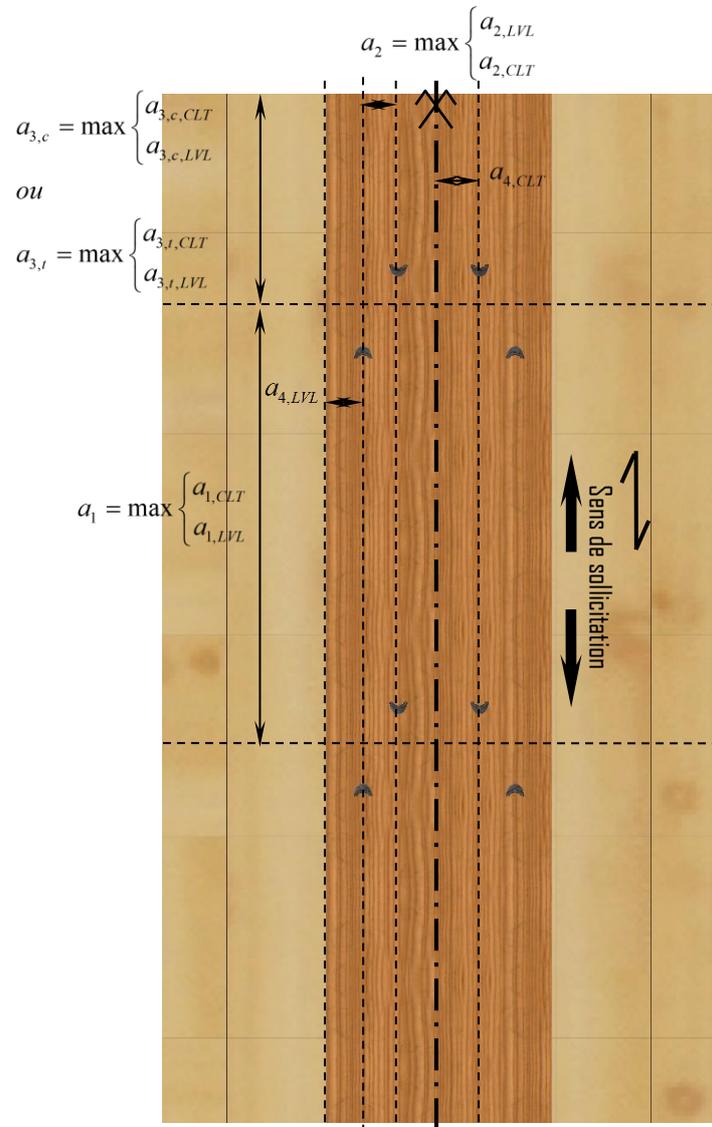


Figure 3-3 : Présentation des pincés de la configuration n°2 des assemblages vissés CLT

Les pincés minimaux concernant le panneau CLT sont extraites de certains ETAs de fabricant de vis, elles-mêmes extraites d'un article scientifique [4].

- Pincés mini pour les vis dans le panneau CLT :

$$a_{1,CLT} = 4 \times d = 4 \times 8 = 32 \text{ mm}$$

$$a_{2,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20 \text{ mm}$$

$$a_{3,c,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{3,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{4,c,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20 \text{ mm}$$

$$a_{4,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48 \text{ mm}$$

Les pinces minimales concernant le panneau LVL sont extraites de la norme NF EN 1995-1-1 [5] selon les recommandations du paragraphe 8.7.1 (4).

- Pinces mini pour les vis dans le panneau LVL Q :

$$a_{1,LVL} = 5 \times d = 5 \times 8 = 40mm$$

$$a_{2,LVL} = 3 \times d = 3 \times 8 = 24mm$$

$$a_{3,c,LVL} = 3 \times d = 3 \times 8 = 24mm$$

$$a_{3,t,LVL} = \max(7 \times d; 80mm) = \max(56; 80mm) = 80mm$$

$$a_{4,c,LVL} = 3 \times d = 3 \times 8 = 24mm$$

$$a_{4,t,LVL} = \max((2 + 2 \times \sin \alpha) \times d; 3 \times d) = \max(2 \times 8; 3 \times 8) = 24mm$$

Les pinces minimales concernant ce type de connexion sont les suivantes :

$$a_1 = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{1,CLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 32 \\ 40 \end{array} \right. \\ a_{1,LVL} \end{array} \right. = 40mm$$

$$a_2 = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{2,CLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 20 \\ 24 \end{array} \right. \\ a_{2,LVL} \end{array} \right. = 24mm$$

$$a_{3,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{3,c,CLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 48 \\ 24 \end{array} \right. \\ a_{3,c,LVL} \end{array} \right. = 48mm$$

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{3,t,CLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 48 \\ 80 \end{array} \right. \\ a_{3,t,LVL} \end{array} \right. = 80mm$$

$$a_{4,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{4,c,CLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 20 \\ 24 \end{array} \right. \\ a_{4,c,LVL} \end{array} \right. = 24mm$$

$$a_{4,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} a_{4,t,CLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 48 \\ 24 \end{array} \right. \\ a_{4,t,LVL} \end{array} \right. = 48mm$$

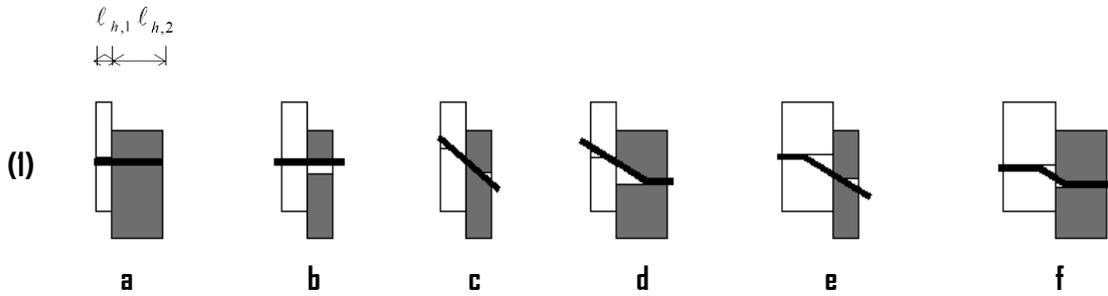
3.2.2. Dispositif de l'Assemblage

Pour la deuxième configuration retenue, l'assemblage est constitué de 2 rangées de 4 paires de vis permettant de transmettre l'effort de cisaillement d'un panneau CLT à un autre panneau CLT par l'intermédiaire du panneau LVL de type Q. Suite aux différents échanges dans l'atelier Adiv'bois, l'espacement a_1 retenu est un espacement de 250 mm entre chacun des couples et une distance $a_{3,t}$ équivalent au demi-entraxe des couples en partie courante, c'est-à-dire 125 mm. Les pinces a_4 sont prises au minimum. L'assemblage testé mesurera ainsi 1000 mm de longueur.

3.2.3. Vis chargées latéralement

Pour établir la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques de ce type, les contributions respectives de la capacité plastique, de la portance locale et de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage doivent être considérées.

Il convient de déterminer la valeur de la capacité résistante latérale des vis par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimums spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes :



$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \ell_{h,1} d \quad (a) \\ f_{h,2,k} \ell_{h,2} d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} + \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,1}^2 d}} - \beta \right] \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,2}^2 d}} - \beta \right] \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} \quad (f) \end{array} \right.$$

La Figure 3-4 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante latérale.

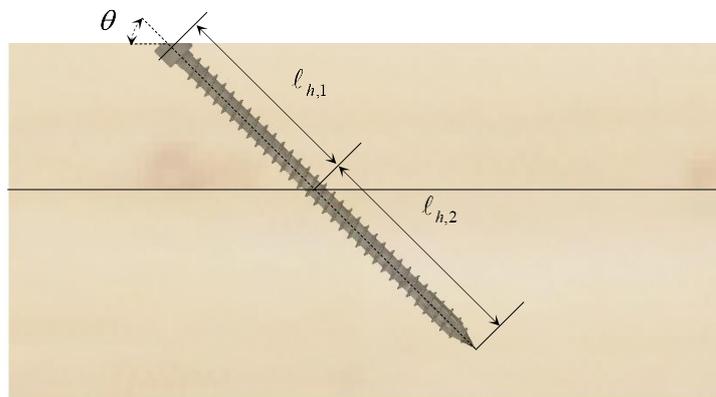


Figure 3-4 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°2

3.2.3.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$$\rho_{k,LVL} = 480 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique LVL Q.}$$

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d_{ef} = d_{int} \times 1,1 \text{ selon la norme NF EN 1995-1-1}$$

$$f_{h,k,LVL} = 0,082 \times \rho_{k,LVL} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 480 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 23,33 \text{ MPa}$$

$$f_{h,k,CLT} = 0,082 \times \rho_{k,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 350 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 17,01 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

Fabricants	$M_{y,rk}$ (N.m)
HECO	20,0
SIMPSON	24,0
WURTH	23,0

$$\beta = \frac{f_{h,k,CLT}}{f_{h,k,LVL}} = \frac{17,01}{23,33} = 0,73$$

$$\ell_{h,1} = 27 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 27 = 113 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 23,33 \times 27 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(a)} \\ 17,01 \times 113 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(b)} \\ \frac{23,33 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 0,73} \left[\sqrt{0,73 + 2 \times 0,73^2 \left[1 + \frac{113}{27} + \left(\frac{113}{27} \right)^2 \right] + 0,73^3 \left(\frac{113}{27} \right)^2} - 0,73 \times \left(1 + \frac{113}{27} \right) \right] \quad \text{(c)} \\ 1,05 \times \frac{23,33 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{2 + 0,73} \left[\sqrt{2 \times 0,73 \times (1 + 0,73) + \frac{4 \times 0,73 \times (2 + 0,73) \times 24000}{23,33 \times 27^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,73 \right] \quad \text{(d)} \\ 1,05 \times \frac{23,33 \times 113 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 2 \times 0,73} \left[\sqrt{2 \times 0,73^2 (1 + 0,73) + \frac{4 \times 0,73 \times (1 + 2 \times 0,73) \times 24000}{23,33 \times 113^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,73 \right] \quad \text{(e)} \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,73}{1 + 0,73}} \times \sqrt{2 \times 24000 \times 23,33 \times (5,2 \times 1,1)} \quad \text{(f)} \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3602 \text{ (a)} \\ 10994 \text{ (b)} \\ 3845 \text{ (c)} \\ 1925 \text{ (d)} \\ 4273 \text{ (e)} \\ 2673 \text{ (f)} \end{array} \right. = 1925 \text{ N (d)}$$

3.2.3.2 Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- Résistance à l'enfoncement**

$$\rho_{mean,LVL} = 510 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique LVL Q.}$$

$$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique G24.}$$

$$d_{ef} = d_{int} \times 1,1 \text{ selon la norme NF EN 1995-1-1}$$

$$f_{h,mean,LVL} = 0,082 \times \rho_{mean,LVL} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 510 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 24,78 \text{ MPa}$$

$$f_{h,mean,CLT} = 0,082 \times \rho_{mean,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 420 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 20,41 \text{ MPa}$$

- Moment plastique des pointes**

$$M_{y,r,mean} = \frac{M_{y,rk}}{e^{-1,64 \times COV_{acier}}} \text{ avec } COV_{acier} = 3\%$$

Fabricants	$M_{y,r,mean}$ (N.m)
HECO	21,00
SIMPSON	25,21
WURTH	24,16

$$\beta = \frac{f_{h,mean,CLT}}{f_{h,mean,LVL}} = \frac{20,41}{24,78} = 0,82$$

$$\ell_{h,1} = 27 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 27 = 113 \text{ mm}$$

$$F_{lat,R,mean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 24,78 \times 27 \times (5,2 \times 1,1) \quad (a) \\ 20,41 \times 113 \times (5,2 \times 1,1) \quad (b) \\ \frac{24,78 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 0,82} \left[\sqrt{0,82 + 2 \times 0,82^2 \left[1 + \frac{113}{27} + \left(\frac{113}{27} \right)^2 \right] + 0,82^3 \left(\frac{113}{27} \right)^2} - 0,82 \times \left(1 + \frac{113}{27} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \times \frac{24,78 \times 27 \times (5,2 \times 1,1)}{2 + 0,82} \left[\sqrt{2 \times 0,82 \times (1 + 0,82) + \frac{4 \times 0,82 \times (2 + 0,82) \times 25210}{24,78 \times 27^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,82 \right] \quad (d) \\ 1,05 \times \frac{24,78 \times 173 \times (5,2 \times 1,1)}{1 + 2 \times 0,82} \left[\sqrt{2 \times 0,82^2 (1 + 0,82) + \frac{4 \times 0,82 \times (1 + 2 \times 0,82) \times 25210}{24,78 \times 113^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 0,82 \right] \quad (e) \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,82}{1 + 0,82}} \times \sqrt{2 \times 25210 \times 24,78 \times (5,2 \times 1,1)} \quad (f) \end{array} \right.$$

$$F_{lat,R,mean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 3828 (a) \\ 13192 (b) \\ 4542 (c) \\ 2096 (d) \\ 5003 (e) \\ 2922 (f) \end{array} \right. = 2096 \text{ N} (d)$$

3.2.4. Vis chargées axialement

La Figure 3-5 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante axiale.

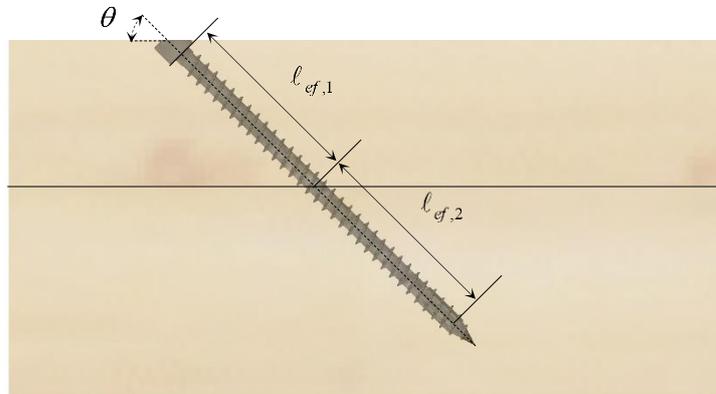


Figure 3-5 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°2

3.2.4.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{k,LVL} = 480 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique LVL Q.}$$

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETAs}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$l_{ef,LVL} = \frac{l_{h,1}}{\sin(\theta)} - a = \frac{27}{\sin(45)} - 10 = 28,2 \text{ mm}$$

$$l_{ef,CLT} = \frac{l_{h,2}}{\sin(\theta)} - l_{sp} = \frac{113}{\sin(45)} - 8,2 = 151,6 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rk,LVL} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,LVL}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,LVL}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 28,2^{0,9} \times 480^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 3770 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 151,6^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 13306 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} F_{ax,Rk,LVL} \\ F_{ax,Rk,CLT} \end{cases} = \min \begin{cases} 3770 \\ 13306 \end{cases} = 3770 \text{ N}$$

3.2.4.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{mean,LVL} = 510 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique moyenne LVL Q.}$$

$$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique moyenne C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETAs}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\ell_{ef,LVL} = \frac{\ell_{h,1}}{\sin(\theta)} - a = \frac{27}{\sin(45)} - 10 = 28,2 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,CLT} = \frac{\ell_{h,2}}{\sin(\theta)} - \ell_{sp} = \frac{113}{\sin(45)} - 8,2 = 151,61 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rmean,LVL} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,LVL}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,LVL}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 28,2^{0,9} \times 510^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 3958 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,CLT}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 151,6^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 15395 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean} = \min \begin{cases} F_{ax,R,mean,LVL} \\ F_{ax,R,mean,CLT} \end{cases} = \min \begin{cases} 3958 \\ 15395 \end{cases} = 3958 \text{ N}$$

3.2.5. Résistance plastique de l'assemblage des vis

3.2.5.1. Valeur caractéristique

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rk,U} &= (F_{lat,Rk,J} \times \sin(\theta) + F_{ax,Rk} \times \cos(\theta)) \\ &= (1925 \times \sin(45) + 3770 \times \cos(45)) \\ &= 1361 + 2666 \\ &= 4027 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rk,U} = 4027 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

3.2.5.2. Valeur moyenne

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rmean,U} &= (F_{lat,Rmean,J} \times \sin(\theta) + F_{ax,Rmean} \times \cos(\theta)) \\ &= (2096 \times \sin(45) + 3958 \times \cos(45)) \\ &= 1482 + 2799 \\ &= 4281 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rmean,U} = 4281 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe.

3.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage

3.2.6.1. Nombre efficace

Pour une file de n pointes parallèles au fil du bois, il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, à partir du nombre efficace d'organes n_{ef} où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

où :

- n_{ef} est le nombre efficace de pointes dans la file ;
- n est le nombre de pointes dans une file ;
- k_{ef} est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3-2: Valeurs de k_{ef}

Espacement ^{a)}	k_{ef}	
	Sans pré perçage	Avec pré perçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^{a)} Pour des espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de k_{ef} est autorisée

Vis-à-vis de la solution d'assemblage retenue, aucune rupture par fendage ne doit être observée puisque

$$a_1 = 250\text{mm} > 14 \times d = 14 \times 8 = 112\text{mm}$$

3.2.7. Raideur de l'assemblage des vis sollicitées axialement et latéralement

3.2.7.1. Raideur latérale

$\rho_{meanLVL} = 510 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique LVL Q.

$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{meanLVL} \times \rho_{meanCLT}} = \sqrt{510 \times 420} = 463 \text{ kg/m}^3$$

Raideur conventionnelle à l'état limite de service par plan de cisaillement et par organe :

$$K_{lat} = \frac{\rho_m^{1.5} d_{ef}}{23} = \frac{463^{1.5} (5,2 \times 1,1)}{23} = 2478 \text{ N/mm}$$

3.2.7.2. Raideur axiale

Raideurs axiales dans chacun des éléments constituant l'assemblage.

$$\begin{aligned} K_{ax,LVL} &= 25 \times d_{ext} \times l_{ef,LVL} \\ &= 25 \times 8 \times 28,2 \\ &= 5640 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{ax,CLT} &= 25 \times d_{ext} \times l_{ef,CLT} \\ &= 25 \times 8 \times 151,6 \\ &= 30320 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Détermination de la raideur axiale unitaire

$$\begin{aligned} K_{ax} &= \frac{K_{ax,LVL} \times K_{ax,CLT}}{K_{ax,LVL} + K_{ax,CLT}} \\ &= \frac{5640 \times 30320}{5640 + 30320} = 4755 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

3.2.7.3. Raideur de l'assemblage

$$\begin{aligned} K_{ass} &= n_{paire} \times 2 \times (K_{lat} \times \sin^2(\theta) + K_{ax} \times \cos^2(\theta)) \\ &= 4 \times 2 \times (2478 \times \sin^2(45) + 4755 \times \cos^2(45)) \\ &= 28932 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

L'assemblage global est constitué de deux assemblage de 8 vis mis en série. La raideur de l'assemblage complet s'écrit de la manière suivante :

$$\begin{aligned} K_{ass,total} &= \frac{K_{ass} \times K_{ass}}{K_{ass} + K_{ass}} \\ &= \frac{28932^2}{2 \times 28932} = 14466 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

4. - ASSEMBLAGE N°3

4.1. MODE CONSTRUCTIF

La troisième configuration retenue est la solution avec la plaque métallique pré-percée. Les vis à filetage total sont insérées à 90° par rapport au plan du panneau aux pinces minimales. Un jeu de 2 mm est produit au milieu des deux panneaux CLT, mais aucun jeu n'est prévu entre la plaque métallique et les panneaux CLT. Le type de vis pour ce type d'assemblage sont des vis à tête conique permettant de réaliser une connexion bois métal sans jeux.

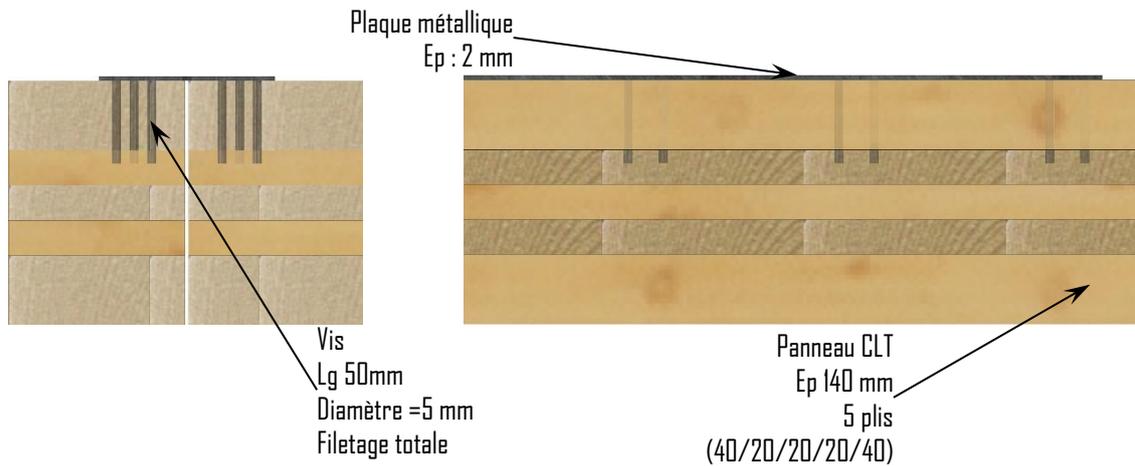


Figure 4-1 : Présentation de la conception de la configuration n°3 des assemblages vissés CLT

Le Tableau 4-1 présente les données géométriques de certaines vis dites « Génériques ». Ces données sont extraites des différentes ETA des fabricants de vis.

Tableau 4-1 : Caractéristiques des vis de quelques fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	d _i (mm)	d _k (mm)	k _l (mm)	a (mm)	l (mm)
SIMPSON	ETA 04/0013 [8]	CSA	5	3,15	8,3	2,6	6	50
WURTH	ETA 11/0190 [2]	ASSY 3	5	3,15	8	2,6	6	50

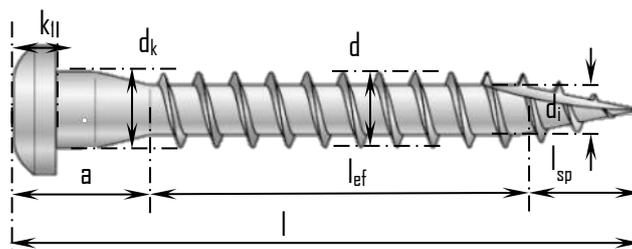


Figure 4-2 : Schéma d'une vis avec toutes ses dénominations

4.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE

4.2.1. Distances et pinces minimales

La Figure 4-3 présente les pinces pour la configuration n°3 des assemblages vissés CLT.

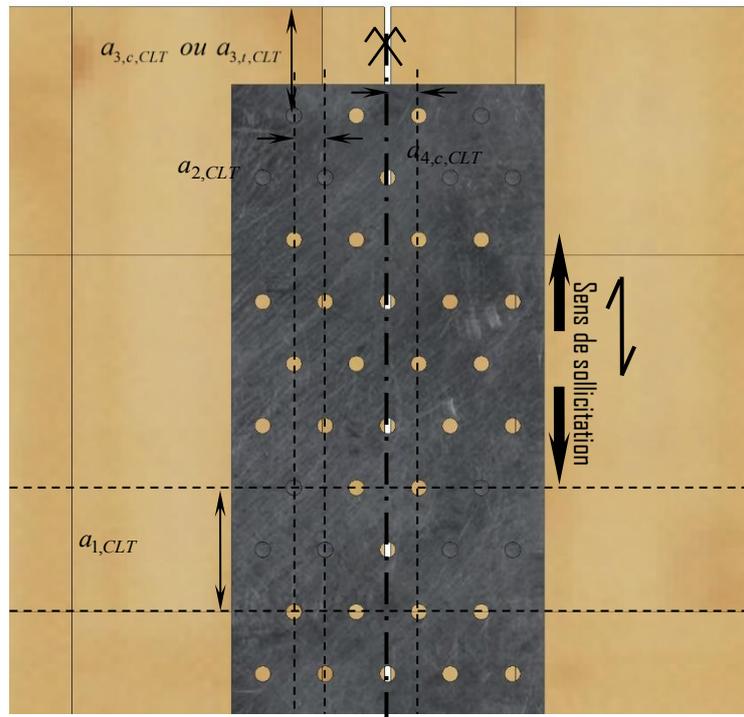


Figure 4-3 : Présentation des pinces de la configuration n°3 des assemblages vissés CLT

Les pinces minimales concernant le panneau CLT sont extraites de certains ETAs de fabricant de vis, elles-mêmes extraites d'un article scientifique [4].

- Pinces mini pour les vis dans le panneau CLT :

$$a_{1,CLT} = 4 \times d = 4 \times 5 = 20 \text{ mm}$$

$$a_{2,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 5 = 12,5 \text{ mm}$$

$$a_{3,c,CLT} = 6 \times d = 6 \times 5 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{3,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 5 = 30 \text{ mm}$$

$$a_{4,c,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 5 = 12,5 \text{ mm}$$

$$a_{4,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 5 = 30 \text{ mm}$$

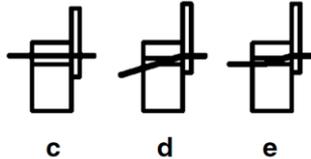
4.2.2. Dispositif de l'Assemblage

Pour la troisième configuration retenue, l'assemblage est constitué de trois rangées de vis. L'espacement a_2 retenu est celui imposé par la plaque métallique. La pince a_4 est prise à 20mm. La pince a_1 est prise à trois fois celle imposée par la plaque métallique c'est-à-dire $40 \times 3 = 120 \text{ mm}$.

4.2.3. Vis chargées latéralement

Pour la détermination de la valeur de la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques de ce type, les contributions respectives de la capacité plastique, de la portance locale, de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage doivent être considérées.

Il convient de déterminer la valeur de la capacité résistante latérale des vis par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimums spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes. Il est retenu étant donné l'épaisseur de la tôle, le jeu vis métal et le diamètre de la vis que la tôle est épaisse (vis encastrée dans la tôle).



$$F_{lat,Rk,J} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \ell_{h,1} d & \text{(c)} \\ f_{h,1,k} \ell_{h,1} d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,1}^2 d}} - 1 \right] & \text{(d)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} & \text{(e)} \end{cases}$$

La Figure 4-4 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante latérale.

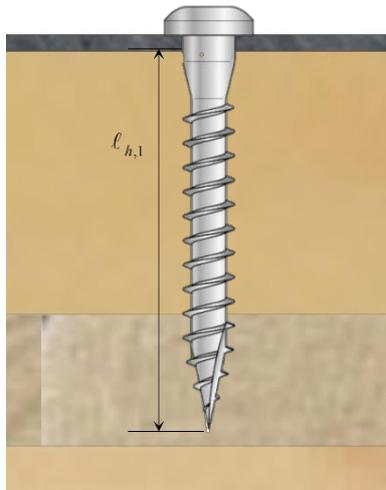


Figure 4-4 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°3

4.2.3.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,k,CLT} = 0,082 \times \rho_{k,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 350 \times (3,15 \times 1,1)^{-0,3} = 19,77 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

Fabricants	$M_{y,rk}$ (N.m)
SIMPSON	5
WURTH	5,9

$$\ell_{h,1} = 44 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \begin{cases} 19,77 \times 44 \times 3,15 \times 1,1 & \text{(c)} \\ 19,77 \times 44 \times 3,15 \times 1,1 \times \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 5000}{19,77 \times 44^2 \times 3,15 \times 1,1}} - 1 \right] & \text{(d)} \\ 2,3 \sqrt{5000 \times 19,77 \times 3,15 \times 1,1} & \text{(e)} \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 3014 \text{ (c)} \\ 1406 \text{ (d)} = 1346 \text{ N} \\ 1346 \text{ (e)} \end{cases}$$

4.2.3.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,mean,CLT} = 0,082 \times \rho_{mean,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 420 \times (3,15 \times 1,1)^{-0,3} = 23,72 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

$$M_{y,r,mean} = \frac{M_{y,rk}}{e^{-1,64 \times COV_{acier}}} \text{ avec } COV_{acier} = 3\%$$

Fabricants	$M_{y,rmean}$ (N.m)
SIMPSON	5,25
WURTH	6,20

$$\ell_{h,1} = 44 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \begin{cases} 23,72 \times 44 \times 3,15 \times 1,1 & \text{(c)} \\ 23,72 \times 44 \times 3,15 \times 1,1 \times \left[\sqrt{2 + \frac{4 \times 5250}{23,72 \times 44^2 \times 3,15 \times 1,1}} - 1 \right] & \text{(d)} \\ 2,3 \sqrt{5250 \times 23,72 \times 3,15 \times 1,1} & \text{(e)} \end{cases}$$

$$= \min \begin{cases} 3616 \text{ (c)} \\ 1664 \text{ (d)} = 1511 \text{ N} \\ 1511 \text{ (e)} \end{cases}$$

4.2.4. Vis chargées axialement

La Figure 4-5 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante axiale.

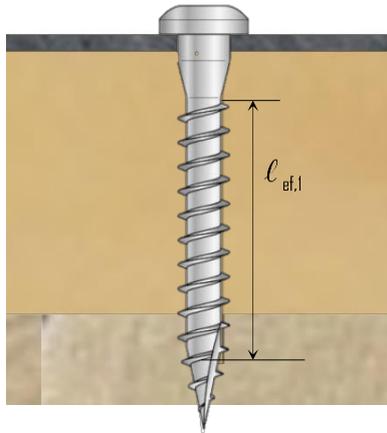


Figure 4-5 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°3

4.2.4.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$l_{ef,CLT} = l_{h,1} - l_{sp} = 44 - 6 = 38 \text{ mm}$$

$$F_{ax,R,k,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{0,52 \times 5^{0,5} \times 38^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 3331 \text{ N}$$

4.2.4.2. Valeur moyenne

Les hypothèses sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$l_{ef,CLT} = l_{h,1} - l_{sp} = 44 - 6 = 38 \text{ mm}$$

$$F_{ax,R,mean,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{0,52 \times 5^{0,5} \times 38^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 3854 \text{ N}$$

4.2.5. Résistance plastique de l'assemblage des vis

4.2.5.1. Valeur caractéristique

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$F_{v,Rk,U} = F_{lat,Rk,J} (Johansen) + \min \begin{cases} F_{ax,Rk} / 4 \\ F_{lat,Rk,J} \end{cases}$$

$$= 1346 + \min \begin{cases} 3331 / 4 \\ 1346 \end{cases} = 2179N$$

soit $F_{v,Rk,U} = 2179N$ par plan de cisaillement et par organe

4.2.5.2. Valeur moyenne

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$F_{v,Rmean,U} = F_{v,Rmean,J} (Johansen) + \min \begin{cases} F_{ax,Rmean} / 4 \\ F_{lat,Rmean,J} \end{cases}$$

$$= 1511 + \min \begin{cases} 3854 / 4 \\ 1511 \end{cases} = 2474N$$

soit $F_{v,Rmean,U} = 2474,3N$ par plan de cisaillement et par organe

4.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage

4.2.6.1. Nombre efficace

Pour une file de n pointes parallèles au fil du bois, il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, à partir du nombre efficace d'organes n_{ef} où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

où :

- n_{ef} est le nombre efficace de pointes dans la file ;
- n est le nombre de pointes dans une file ;
- k_{ef} est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4-2: Valeurs de k_{ef}

Espacement ^{a)}	k_{ef}	
	Sans préperçage	Avec préperçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^{a)} Pour des espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de k_{ef} est autorisée

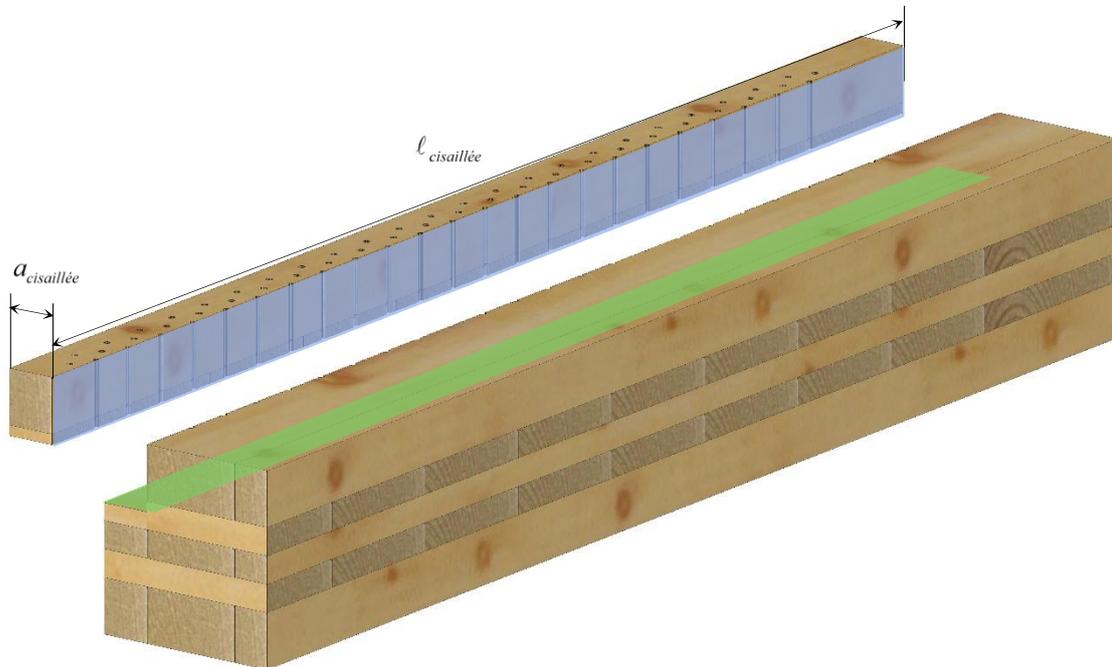
Vis-à-vis de la solution d'assemblage retenue, aucune rupture par fendage ne doit être observée puisque

$$a_1 = 120mm > 14 \times d = 14 \times 5 = 70mm$$

4.2.7. Résistance à la rupture de bloc

Hypothèses d'une rupture de bloc :

La résistance en cisaillement longitudinal du premier pli apporté par la zone bleue est négligée car les panneaux CLT retenus pour l'étude ne sont pas panneautés. Dans cette configuration, l'effort de cisaillement doit transiter jusqu'au niveau des plis croisés. Le plan qui définit la surface sollicitée en cisaillement est le plan qui se situe en extrémité de pointe de vis quel que soit le mode de rupture plastique des vis. Dans notre cas, la surface résistance est la surface verte. Elle est sollicitée en cisaillement roulant, il n'est pas considéré de fissuration



4.2.7.1. Valeur caractéristique

$$\begin{aligned} F_{bs,k} &= a_{cisaillée} \times l_{cisaillée} \times f_{r,k} \\ &= 39 \times 1000 \times 1,2 = 46800 N \end{aligned}$$

4.2.7.2. Valeur moyenne

$$\begin{aligned} F_{bs,mean} &= a_{cisaillée} \times l_{cisaillée} \times f_{r,mean} \\ &= 39 \times 1000 \times 1,66 = 64740 N \end{aligned}$$

4.2.8. Raideur de l'assemblage

4.2.8.1. Raideur latérale

$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

Raideur conventionnelle à l'état limite de service par plan de cisaillement :

$$K_{lat} = \frac{\rho_m^{1,5} d_{ef}}{23}$$

L'assemblage est bois/métal :

$$k_{type} = \begin{cases} 1 & \text{bois / bois} \\ 2 & \text{bois / métal ou bois / béton} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} K_{ass} &= \frac{\rho_m^{1,5} d_{ef}}{23} \times n_{plan} \times n_{org} \times k_{type} \\ &= \frac{420^{1,5} (3,15 \times 1,1) \times 1 \times 24 \times 2}{23} = 62243 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

L'assemblage global est constitué de deux assemblage de 24 vis mis en série. La raideur de l'assemblage complet s'écrit de la manière suivante :

$$\begin{aligned} K_{ass,total} &= \frac{K_{ass} \times K_{ass}}{K_{ass} + K_{ass}} \\ &= \frac{62243^2}{2 \times 62243} = 31121 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5. - ASSEMBLAGE N°4

5.1. MODE CONSTRUCTIF

La quatrième configuration retenue est la réalisation d'un assemblage sans usinage spécifique. Un jeu de 2 mm est également disposé entre les deux panneaux CLT. Les vis à filetage total et tête cylindrique sont mises selon la Figure 5-1 par paire aux pinces minimales exceptée la pince entre les organes dans le sens longitudinal du panneau.

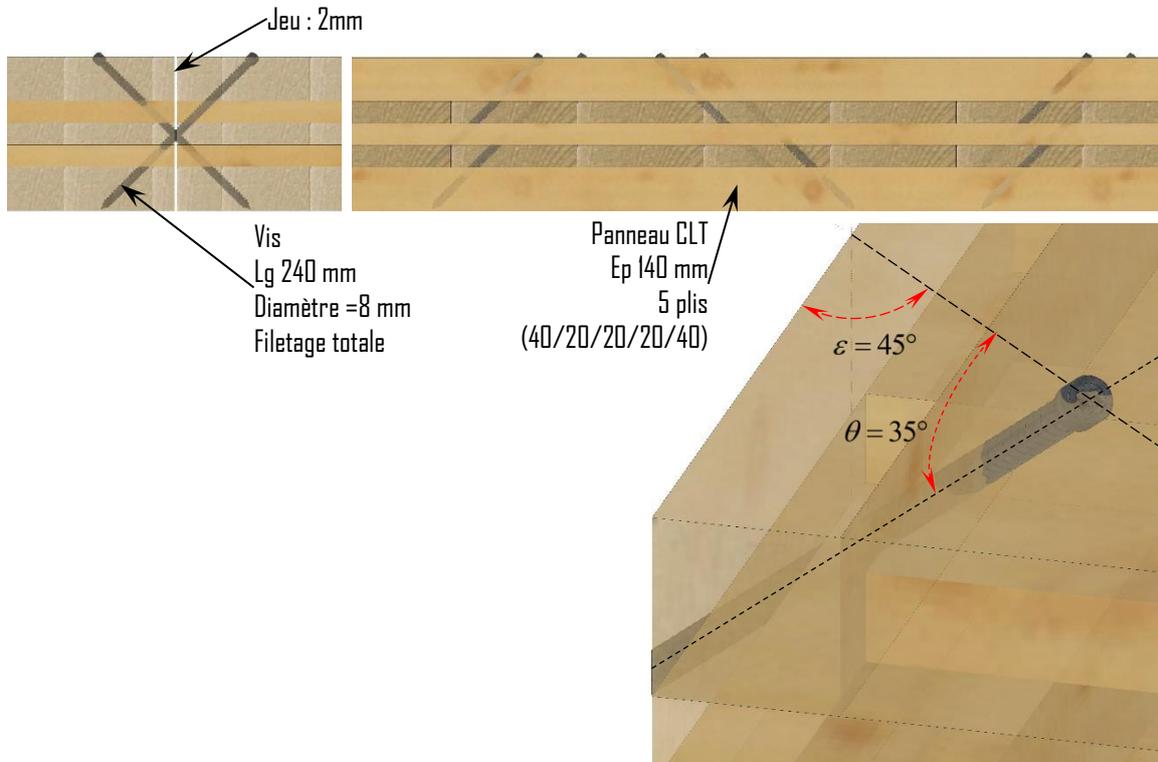


Figure 5-1 : Présentation de la conception de la configuration n°6 des assemblages vissées CLT

Le Tableau 5-1 présente les données géométriques de certaines vis dites « Génériques ». Ces données sont extraites des différentes ETA des fabricants de vis.

Tableau 5-1 : Caractéristiques des vis de certains fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	d _i (mm)	d _k (mm)	k _l (mm)	a (mm)	l _{sp} (mm)	l (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [1]	ESCRFTZ	8	5,2	10,2	7,5	10	8,2	240
WURTH	ETA 11/0190 [2]	ASSY Plus VG	8	5,0	10,0	7,5	11	0	240
HECO	ETA 11/0284 [3]	HECO TOPIX	8	5,25	12	5,2	8	??	240

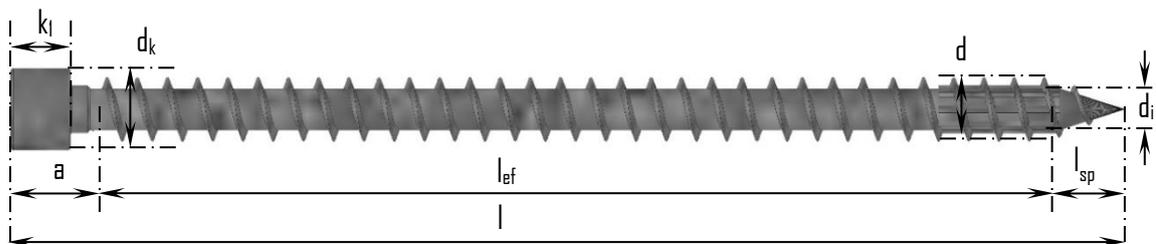


Figure 5-2 : Schéma d'une vis avec toutes ses dénominations

5.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE

5.2.1. Distances et pinces minimales

La Figure 5-3 présente les pinces pour la configuration n°4 des assemblages vissés CLT.

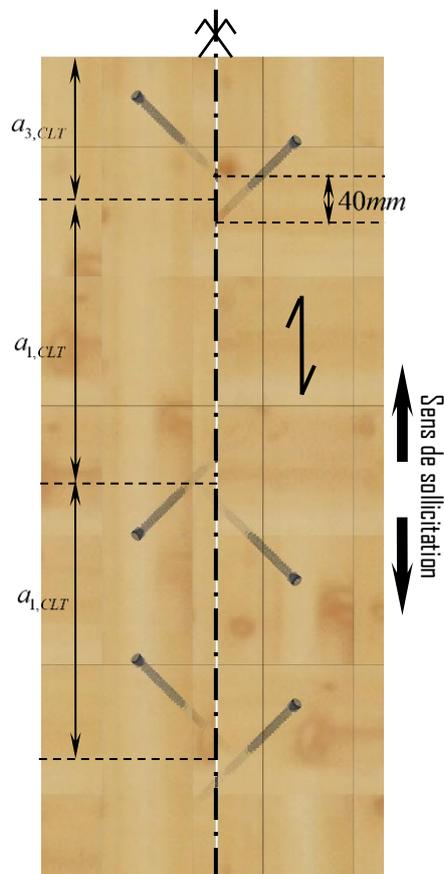


Figure 5-3 : Présentation des pinces de la configuration n°4 des assemblages vissés CLT

Les pinces minimales concernant le panneau CLT sont extraites de certains ETAs de fabricant de vis, elles-mêmes extraites d'un article scientifique [4].

- Pinces mini pour les vis dans le panneau CLT :

$$a_{1,CLT} = 4 \times d = 4 \times 8 = 32mm$$

$$a_{2,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20mm$$

$$a_{3,c,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

$$a_{3,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

$$a_{4,c,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20mm$$

$$a_{4,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

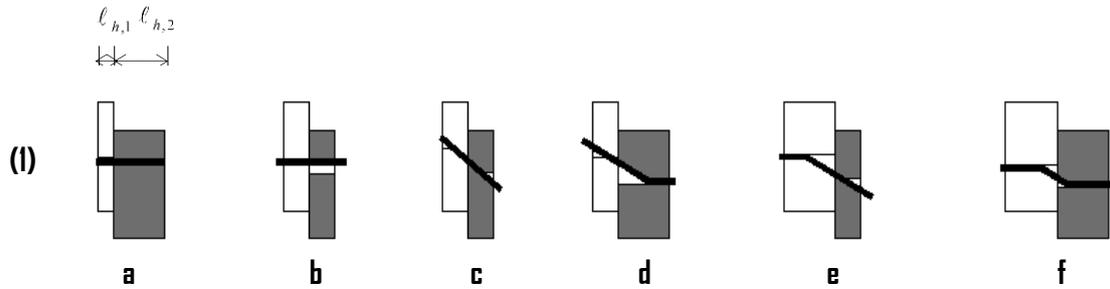
5.2.2. Dispositif de l'Assemblage

Pour la quatrième configuration retenue, l'assemblage est constitué d'une rangée de 4 paires de vis par plan de cisaillement. L'espacement a_1 retenu est un espacement de 250 mm entre chacune des paires de vis et une distance $a_{3,t}$ équivalent au demi-entraxe des paires en partie courante, c'est-à-dire 125 mm. La pince entre les deux vis d'une paire est prise à 40mm.

5.2.3. Vis chargées latéralement

Pour la détermination de la valeur de la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques de ce type, les contributions respectives de la capacité plastique, de la portance locale, de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage doivent être considérées.

Il convient de déterminer la valeur de la capacité résistante des vis par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimums spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes :



$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \ell_{h,1} d \quad (a) \\ f_{h,2,k} \ell_{h,2} d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} + \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,1}^2 d}} - \beta \right] \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,2}^2 d}} - \beta \right] \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} \quad (f) \end{array} \right.$$

La Figure 5-4 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante latérale.

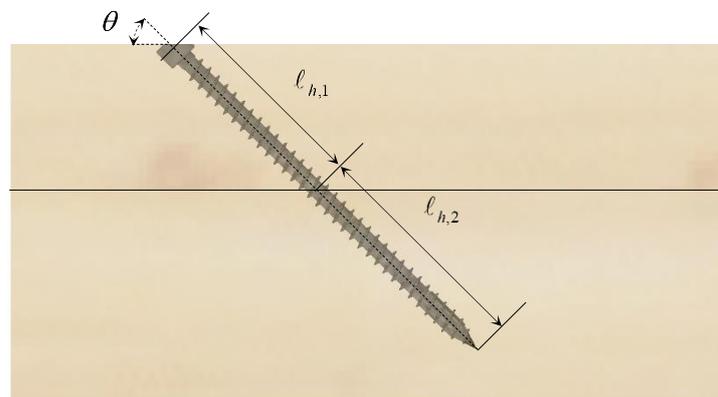


Figure 5-4 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°4

5.2.3.1 Valeur caractéristique

Les hypothèses sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,k,CLT} = 0,862 \times \rho_{k,CLT}^{0,56} \times d_{ef}^{-0,46} = 0,862 \times 350^{0,56} \times (5,2 \times 1,1)^{-0,46} = 10,28 \text{ MPa} \quad [7]$$

- **Moment plastique des pointes**

Fabricants	$M_{y,rk}$ (N.m)
HECO	20,0
SIMPSON	24,0
WURTH	23,0

$$\beta = \frac{f_{h,k,CLT}}{f_{h,k,CLT}} = 1$$

$$\ell_{h,1} = 70 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell \times \sin(35) - \ell_{h,1} = 240 \times \sin(35) - 70 = 68 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 10,28 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad (a) \\ 10,28 \times 68 \times (5,2 \times 1,1) \quad (b) \\ \frac{10,28 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+1} \left[\sqrt{1+2 \times 1^2 \left[1 + \frac{68}{70} + \left(\frac{68}{70} \right)^2 \right] + 1^3 \left(\frac{68}{70} \right)^2} - 1 \right] \times \left(1 + \frac{68}{70} \right) \quad (c) \\ 1,05 \times \frac{10,28 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 1 \times (1+1) + \frac{4 \times 1 \times (2+1) \times 24000}{10,28 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad (d) \\ 1,05 \times \frac{10,28 \times 68 \times (5,2 \times 1,1)}{1+2 \times 1} \left[\sqrt{2 \times 1^2 (1+1) + \frac{4 \times 0,73 \times (1+2 \times 1) \times 24000}{10,28 \times 68^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad (e) \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 24000 \times 10,28 \times (5,2 \times 1,1)} \quad (f) \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4114 (a) \\ 3997 (b) \\ 1680 (c) \\ 1780 (d) \\ 1748 (e) \\ 1932 (f) \end{array} \right. = 1680 \text{ N} \quad (c)$$

5.2.3.2 Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,mean,CLT} = 0,862 \times \rho_{mean,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,862 \times 420^{0,56} \times (5,2 \times 1,1)^{-0,46} = 11,38 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

$$M_{y,Rmean} = \frac{M_{y,Rk}}{e^{-1,64 \times COV_{acier}}} \quad \text{avec} \quad COV_{acier} = 3\%$$

Fabricants	$M_{y,rmean}$ (N.m)
HECO	21,00
SIMPSON	25,21
WURTH	24,16

$$\beta = \frac{f_{h,mean,CLT}}{f_{h,mean,CLT}} = 1$$

$$\ell_{h,1} = 70 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell \times \sin(35) - \ell_{h,1} = 240 \times \sin(35) - 70 = 68 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 11,38 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(a)} \\ 11,38 \times 68 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(b)} \\ \frac{11,38 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+1} \left[\sqrt{1+2 \times 1^2 \left[1 + \frac{68}{70} + \left(\frac{68}{70} \right)^2 \right]} + 1^3 \left(\frac{68}{70} \right) - 1 \times \left(1 + \frac{68}{70} \right) \right] \quad \text{(c)} \\ 1,05 \times \frac{11,38 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 1 \times (1+1) + \frac{4 \times 1 \times (2+1) \times 25210}{11,38 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad \text{(d)} \\ 1,05 \times \frac{11,38 \times 68 \times (5,2 \times 1,1)}{1+2 \times 1} \left[\sqrt{2 \times 1^2 (1+1) + \frac{4 \times 0,73 \times (1+2 \times 1) \times 25210}{11,38 \times 68^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad \text{(e)} \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 252100 \times 11,38 \times (5,2 \times 1,1)} \quad \text{(f)} \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4556 \text{ (a)} \\ 4426 \text{ (b)} \\ 1861 \text{ (c)} \\ 1953 \text{ (d)} \\ 1917 \text{ (e)} \\ 2083 \text{ (f)} \end{array} \right. = 1861 \text{ N (c)}$$

5.2.4. Vis chargées axialement

La Figure 5-5 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante axiale.

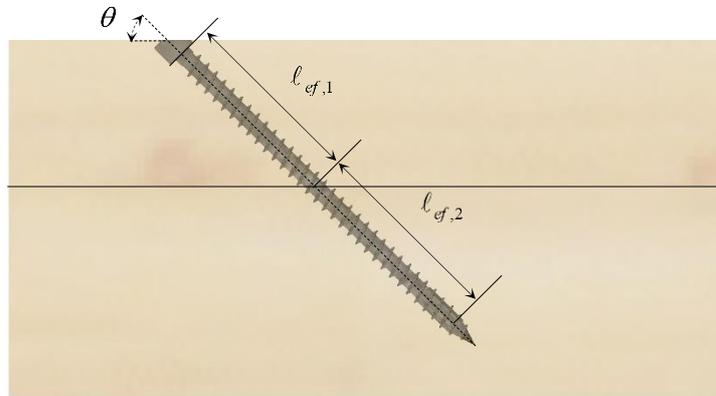


Figure 5-5 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°4

5.2.4.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$l_{ef,CLT} = \frac{l_{h,1}}{\sin(\theta)} - a = \frac{70}{\sin(35)} - 10 = 112 \text{ mm}$$

$$l_{ef,CLT} = \frac{l_{h,2}}{\sin(\theta)} - l_{sp} = \frac{68}{\sin(35)} - 8,2 = 110 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rk,CLT} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 112^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 35 + \sin^2 35} = 9827 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk,CLT,2} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 110^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 35 + \sin^2 35} = 9668 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,Rk,CLT,1} \\ F_{ax,Rk,CLT,2} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 9827 \\ 9668 \end{array} \right. = 9668 \text{ N}$$

5.2.4.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont rappelées ci-dessous.

$$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\ell_{ef,CLT} = \frac{\ell_{h,1}}{\sin(\theta)} - a = \frac{70}{\sin(35)} - 10 = 112 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,CLT} = \frac{\ell_{h,2}}{\sin(\theta)} - \ell_{sp} = \frac{68}{\sin(35)} - 8,2 = 110 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT,1} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 112^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 35 + \sin^2 35} = 11370 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT,2} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 110^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 11187 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,Rmean,CLT,1} \\ F_{ax,Rmean,CLT,2} \end{array} \right. = \min \left\{ \begin{array}{l} 11370 \\ 11187 \end{array} \right. = 11187 \text{ N}$$

5.2.5. Résistance plastique de l'assemblage des vis

5.2.5.1. Valeur caractéristique

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rk,U} &= \left(F_{lat,Rk,J} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon)} + F_{ax,Rk} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) \right) \\ &= \left(1680 \times \sqrt{(1 - \cos^2 45 \times \sin^2 35)} + 9668 \times \cos(45) \times \sin(35) \right) \\ &= 1536 + 3921 \\ &= 5457 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rk,U} = 5457 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

5.2.5.2. Valeur moyenne

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rmean,U} &= \left(F_{v,Rmean,J} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon)} + F_{ax,Rmean} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon) \right) \\ &= \left(1861 \times \sqrt{(1 - \cos^2 45 \times \sin^2 35)} + 11370 \times \cos(45) \times \sin(35) \right) \\ &= 1701 + 4611 \\ &= 6312 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rmean,U} = 6312 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

5.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage

5.2.6.1. Nombre efficace

Pour une file de n pointes parallèles au fil du bois, il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, à partir du nombre efficace d'organes n_{ef} où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

où :

- n_{ef} est le nombre efficace de pointes dans la file ;
- n est le nombre de pointes dans une file ;
- k_{ef} est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5-2 : Valeurs de k_{ef}

Espacement ^{a)}	k_{ef}	
	Sans pré perçage	Avec pré perçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^{a)} Pour des espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de k_{ef} est autorisée

Vis-à-vis de la solution d'assemblage retenue, aucune rupture par fendage ne doit être observée puisque

$$a_1 = 250\text{mm} > 14 \times d = 14 \times 8 = 112\text{mm}$$

5.2.7. Raideur de l'assemblage

5.2.7.1. Raideur latérale

$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

Raideur conventionnelle à l'état limite de service par plan de cisaillement et par organe :

$$K_{lat} = \frac{\rho_m^{1,5} d_{ef}}{23} = \frac{420^{1,5} (5,2 \times 1,1)}{23} = 2141 \text{ N/mm}$$

5.2.7.2. Raideur axiale

Raideurs axiales dans chacun des éléments constituant l'assemblage.

$$\begin{aligned} K_{ax,CLT,1} &= 25 \times d_{ext} \times l_{ef,1} \\ &= 25 \times 8 \times 112 \\ &= 22400 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{ax,CLT,2} &= 25 \times d_{ext} \times l_{ef,2} \\ &= 25 \times 8 \times 110 \\ &= 22000 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Détermination de la raideur axiale unitaire

$$\begin{aligned} K_{ax} &= \frac{K_{CLT,1} \times K_{CLT,2}}{K_{CLT,1} + K_{CLT,2}} \\ &= \frac{22400 \times 22000}{22400 + 22000} = 11099 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

5.2.7.3. Raideur de l'assemblage

$$\begin{aligned} K_{ass} &= 2 \times n_{paire} \times (K_{lat} \times (1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon) + K_{ax} \times \cos^2(\theta) \times \sin^2(\varepsilon)) \\ &= 2 \times 4 \times (2140 \times (1 - \cos^2 45 \times \sin^2 35) + 11099 \times \cos^2(45) \times \sin^2(35)) \\ &= 2 \times 4 \times (1788 + 1826) \\ &= 28912 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

L'assemblage global est constitué d'un assemblage de 8 vis. La raideur de l'assemblage complet s'écrit de la manière suivante :

$$K_{ass,total} = K_{ass} = 28912 \text{ N/mm}$$

6. - ASSEMBLAGE N°5

6.1. MODE CONSTRUCTIF

La cinquième configuration retenue est la réalisation d'un mi-bois de la demi-épaisseur du panneau CLT. Un jeu de 2mm est également disposé entre les deux mi-bois permettant d'intégrer les joints d'étanchéité. Ce dispositif justifie ainsi le type de vis retenu pour caractériser l'assemblage. Les vis à filetage total et tête cylindrique sont mises à 45° par paire aux pinces minimales exceptée la pince entre les paires dans le sens longitudinal du panneau.

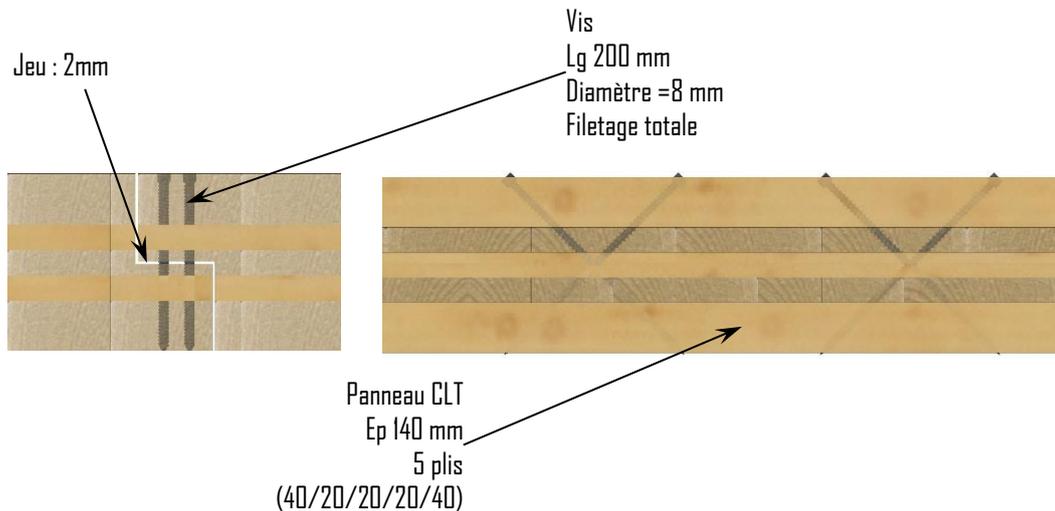


Figure 6-1 : Présentation de la conception de la configuration n°5 des assemblages vissées CLT

Le Tableau 6-1 présente les données géométriques de certaines vis dites « Génériques ». Ces données sont extraites des différentes ETA des fabricants de vis.

Tableau 6-1 : Caractéristiques des vis de certains fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	d _i (mm)	d _k (mm)	k _l (mm)	a (mm)	l _{sp} (mm)	l (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [1]	ESCRFTZ	8	5,2	10,2	7,5	10	8,2	200
WURTH	ETA 11/0190 [2]	ASSY Plus VG	8	5,0	10,0	7,5	11	0	200
HECO	ETA 11/0284 [3]	HECO TOPIX	8	5,25	12	5,2	8	??	200

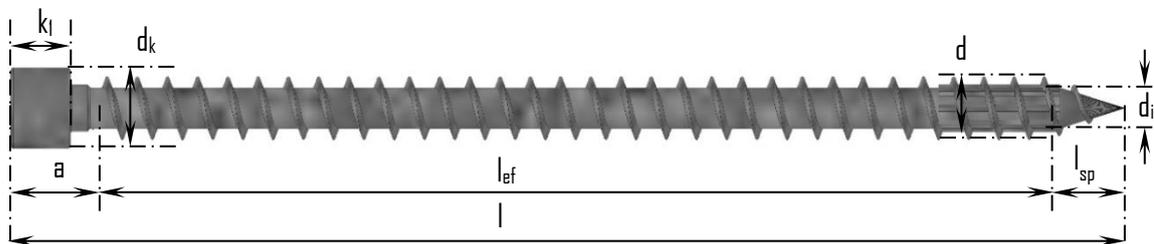


Figure 6-2 : Schéma d'une vis avec toutes les dénominations

6.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE

6.2.1. Distances et pinces minimales

La Figure 6-3 présente les pinces pour la configuration n°5 des assemblages vissés CLT.

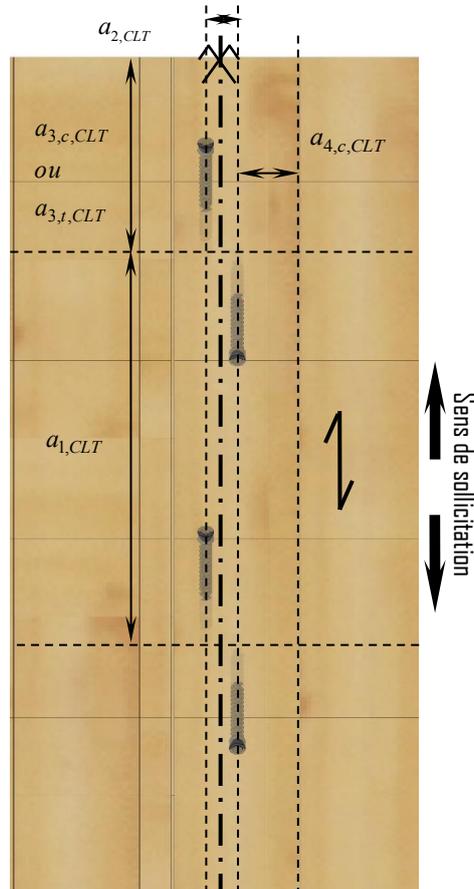


Figure 6-3 : Présentation des pinces de la configuration n°1 des assemblages vissées CLT

Les pinces minimales concernant le panneau CLT sont extraites de certains ETAs de fabricant de vis, elles-mêmes extraites d'un article scientifique [4].

- Pinces mini pour les vis dans le panneau CLT :

$$a_{1,CLT} = 4 \times d = 4 \times 8 = 32mm$$

$$a_{2,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20mm$$

$$a_{3,c,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

$$a_{3,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

$$a_{4,c,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20mm$$

$$a_{4,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48mm$$

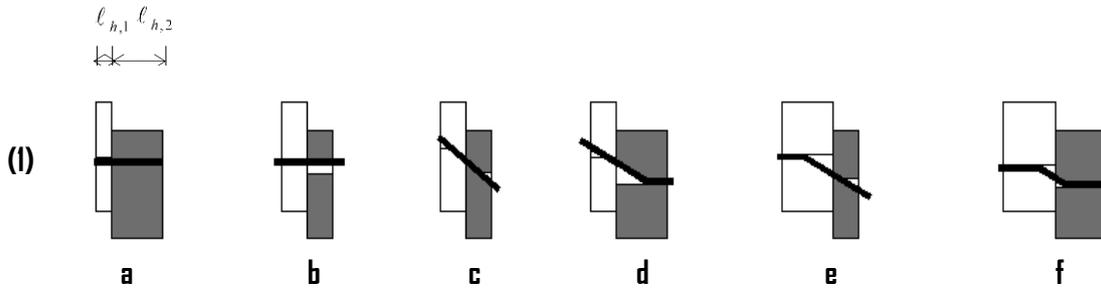
6.2.2. Dispositif de l'Assemblage

Pour la cinquième configuration retenue, l'assemblage est constitué d'une rangée de 4 paires de vis. Suite aux différents échanges dans l'atelier, l'espacement a_1 retenu est un espacement de 250 mm entre chacune des paires de vis et une distance $a_{3,t}$ équivalent au demi-entraxe des paires en partie courante, c'est-à-dire 125 mm. Les pinces a_4 sont prises au minimum. L'assemblage testé mesurera ainsi 1000 mm de longueur.

6.2.3. Vis chargées latéralement

Pour la détermination de la valeur de la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques de ce type, les contributions respectives de la capacité plastique, de la portance locale, de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage doivent être considérées.

Il convient de déterminer la valeur de la capacité résistante latérale des vis par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimums spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes :



$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \ell_{h,1} d \quad (a) \\ f_{h,2,k} \ell_{h,2} d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} + \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,1}^2 d}} - \beta \right] \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,2}^2 d}} - \beta \right] \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} \quad (f) \end{array} \right.$$

La Figure 6-4 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante latérale.

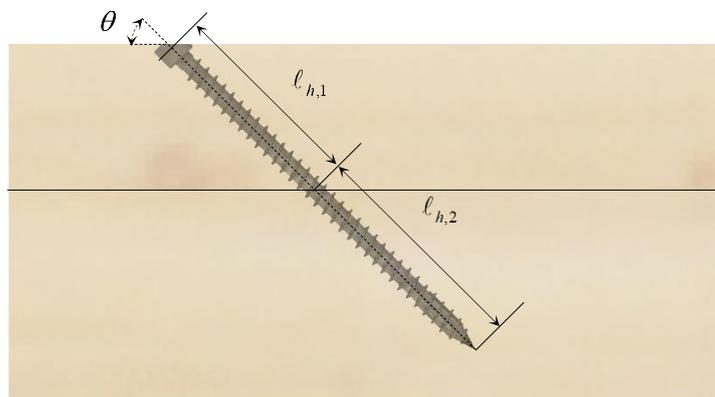


Figure 6-4 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°5

6.2.3.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique G24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,k,CLT} = 0,082 \times \rho_{k,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 350 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 17,01 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

Fabricants	$M_{y,rk}$ (N.m)
HECO	20,0
SIMPSON	24,0
WURTH	23,0

$$\beta = \frac{f_{h,k,CLT}}{f_{h,k,CLT}} = 1$$

$$\ell_{h,1} = 70 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 70 = 70 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(a)} \\ 17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(b)} \\ \frac{17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+1} \left[\sqrt{1+2 \times 1^2 \left[1 + \frac{70}{70} + \left(\frac{70}{70} \right)^2 \right] + 1^3 \left(\frac{70}{70} \right)^2} - 1 \times \left(1 + \frac{70}{70} \right) \right] \quad \text{(c)} \\ 1,05 \times \frac{17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 1 \times (1+1) + \frac{4 \times 1 \times (2+1) \times 24000}{17,01 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad \text{(d)} \\ 1,05 \times \frac{17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+2 \times 1} \left[\sqrt{2 \times 1^2 (1+1) + \frac{4 \times 0,73 \times (1+2 \times 1) \times 24000}{17,01 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad \text{(e)} \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 24000 \times 17,01 \times (5,2 \times 1,1)} \quad \text{(f)} \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6810 \text{ (a)} \\ 6810 \text{ (b)} \\ 2821 \text{ (c)} \\ 2731 \text{ (d)} \\ 2731 \text{ (e)} \\ 2485 \text{ (f)} \end{array} \right. = 2485 \text{ N (f)}$$

6.2.3.2 Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,mean,CLT} = 0,082 \times \rho_{mean,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 420 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 20,41 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

$$M_{y,Rmean} = \frac{M_{y,Rk}}{e^{-1,64 \times COV_{acier}}} \quad \text{avec} \quad COV_{acier} = 3\%$$

Fabricants	$M_{y,rmean}$ (N.m)
HECO	21,00
SIMPSON	25,21
WURTH	24,16

$$\beta = \frac{f_{h,mean,CLT}}{f_{h,mean,CLT}} = 1$$

$$\ell_{h,1} = 70 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 70 = 70 \text{ mm}$$

$$F_{lat,R,mean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad (a) \\ 20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad (b) \\ \frac{20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+1} \left[\sqrt{1+2 \times 1^2 \left[1 + \frac{70}{70} + \left(\frac{70}{70} \right)^2 \right] + 1^3 \left(\frac{70}{70} \right)^2} - 1 \times \left(1 + \frac{70}{70} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \times \frac{20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 1 \times (1+1) + \frac{4 \times 1 \times (2+1) \times 25210}{20,41 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad (d) \\ 1,05 \times \frac{20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+2 \times 1} \left[\sqrt{2 \times 1^2 (1+1) + \frac{4 \times 0,73 \times (1+2 \times 1) \times 25210}{20,41 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad (e) \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 252100 \times 20,41 \times (5,2 \times 1,1)} \quad (f) \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 8172 (a) \\ 8172 (b) \\ 3385 (c) \\ 3227 (d) \\ 3227 (e) \\ 2790 (f) \end{array} \right. = 2790 \text{ N} (f)$$

6.2.4. Vis chargées axialement

La Figure 6-5 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante axiale.

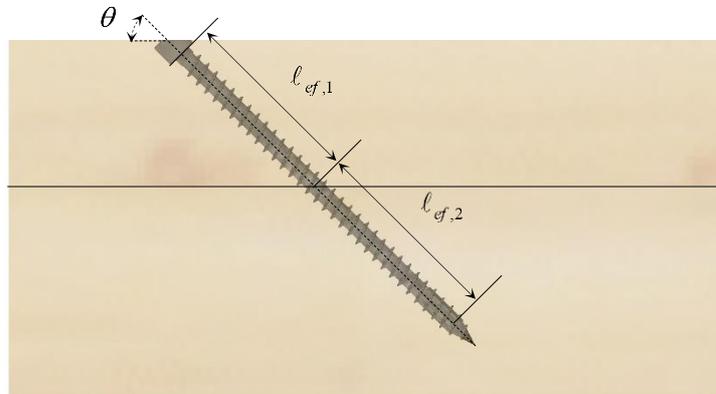


Figure 6-5 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°5

6.2.4.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$l_{ef,CLT,1} = \frac{l_{h,1}}{\sin(\theta)} - a = \frac{70}{\sin(45)} - 10 = 89 \text{ mm}$$

$$l_{ef,CLT,2} = \frac{l_{h,2}}{\sin(\theta)} - l_{sp} = \frac{70}{\sin(45)} - 8,2 = 90,8 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rk,CLT,1} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT,1}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 89^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 8239 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk,CLT,2} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT,2}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 90,8^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 8389 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} F_{ax,Rk,CLT,1} \\ F_{ax,Rk,CLT,2} \end{cases} = \min \begin{cases} 8239 \\ 8389 \end{cases} = 8239 \text{ N}$$

6.2.4.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\ell_{ef,CLT,1} = \frac{\ell_{h,1}}{\sin(\theta)} - a = \frac{70}{\sin(45)} - 10 = 89 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,CLT,2} = \frac{\ell_{h,2}}{\sin(\theta)} - \ell_{sp} = \frac{70}{\sin(45)} - 8,2 = 90,8 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT,1} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,CLT,1}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 89^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 9532 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT,2} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,CLT,2}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 90,8^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 45 + \sin^2 45} = 9706 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean} = \min \begin{cases} F_{ax,Rmean,CLT,1} \\ F_{ax,Rmean,CLT,2} \end{cases} = \min \begin{cases} 9532 \\ 9706 \end{cases} = 9532 \text{ N}$$

6.2.5. Résistance plastique de l'assemblage des vis**6.2.5.1. Valeur caractéristique**

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rk,U} &= (F_{v,Rk,J} \times \sin(\theta) + F_{ax,Rk} \times \cos(\theta)) \\ &= (2485 \times \sin(45) + 8239 \times \cos(45)) \\ &= 1757 + 5826 \\ &= 7583 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rk,U} = 7583 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

6.2.5.2. Valeur moyenne

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rmean,U} &= (F_{v,Rmean,J} \times \sin(\theta) + F_{ax,Rmean} \times \cos(\theta)) \\ &= (2790 \times \sin(45) + 9532 \times \cos(45)) \\ &= 1973 + 6740 \\ &= 8713 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rmean,U} = 8713 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

6.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage

6.2.6.1. Nombre efficace

Pour une file de n pointes parallèles au fil du bois, il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, à partir du nombre efficace d'organes n_{ef} où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

où :

- n_{ef} est le nombre efficace de pointes dans la file ;
- n est le nombre de pointes dans une file ;
- k_{ef} est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau G-2 : Valeurs de k_{ef}

Espacement ^{a)}	k_{ef}	
	Sans préperçage	Avec préperçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^{a)} Pour des espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de k_{ef} est autorisée

Vis-à-vis de la solution d'assemblage retenue, aucune rupture par fendage ne doit être observée puisque

$$a_1 = 250\text{mm} > 14 \times d = 14 \times 8 = 112\text{mm}$$

6.2.7. Raideur de l'assemblage

6.2.7.1. Raideur latérale

$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

Raideur conventionnelle à l'état limite de service par plan de cisaillement et par organe :

$$K_{lat} = \frac{\rho_m^{1,5} d_{ef}}{23} = \frac{420^{1,5} (5,2 \times 1,1)}{23} = 2141 \text{ N/mm}$$

6.2.7.2. Raideur axiale

Raideurs axiales dans chacun des éléments constituant l'assemblage.

$$\begin{aligned} K_{ax,CLT,1} &= 25 \times d_{ext} \times l_{ef,CLT,1} \\ &= 25 \times 8 \times 89 \\ &= 17800 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{ax,CLT,2} &= 25 \times d_{ext} \times l_{ef,CLT,2} \\ &= 25 \times 8 \times 90,8 \\ &= 18160 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

Détermination de la raideur axiale unitaire

$$\begin{aligned} K_{ax} &= \frac{K_{CLT,1} \times K_{CLT,2}}{K_{CLT,1} + K_{CLT,2}} \\ &= \frac{17800 \times 18160}{17800 + 18160} = 8989 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

6.2.7.3. Raideur de l'assemblage

$$\begin{aligned} K_{ass} &= n_{paire} \times 2 \times (K_{lat} \times \sin^2(\theta) + K_{ax} \times \cos^2(\theta)) \\ &= 4 \times 2 \times (2141 \times \sin^2(45) + 8989 \times \cos^2(45)) \\ &= 44520 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

L'assemblage global est constitué d'un assemblage de 8 vis. La raideur de l'assemblage complet s'écrit de la manière suivante :

$$K_{ass,total} = K_{ass} = 44520 \text{ N/mm}$$

7. - ASSEMBLAGE N°6

7.1. MODE CONSTRUCTIF

La sixième configuration retenue est la réalisation d'un mi-bois de la demi-épaisseur du panneau CLT. Un jeu de 2 mm est également disposé entre les deux mi-bois permettant d'intégrer les joints d'étanchéité. Ce dispositif justifie ainsi le type de vis retenu pour caractériser l'assemblage. Les vis à filetage total et tête cylindrique sont mises à 90° aux pinces minimales exceptée la pince entre les organes dans le sens longitudinal du panneau.

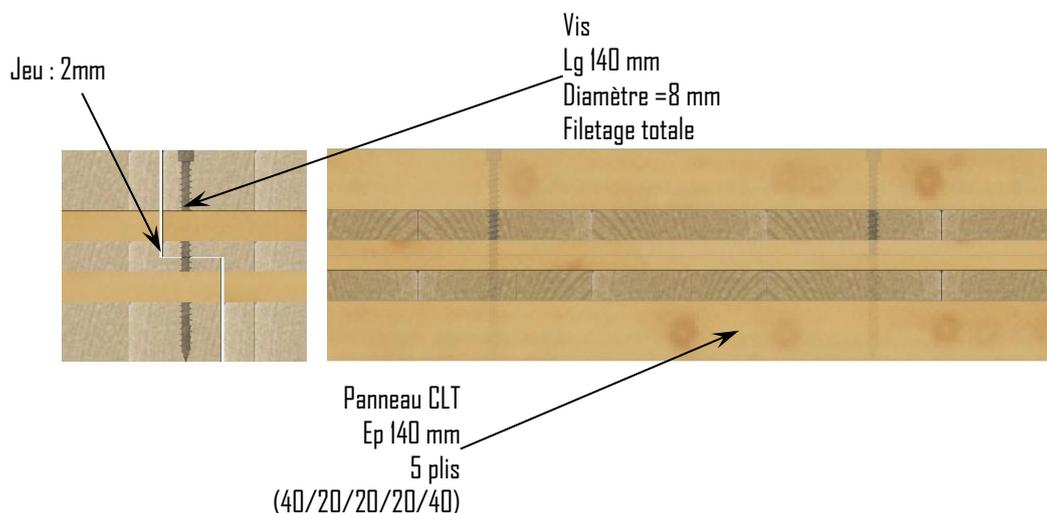


Figure 7-1 : Présentation de la conception de la configuration n°6 des assemblages vissées CLT

Le Tableau 7-1 présente les données géométriques de certaines vis dites « Génériques ». Ces données sont extraites des différentes ETA des fabricants de vis.

Tableau 7-1 : Caractéristiques des vis de certains fournisseurs

Fabricants	ETA	Type de vis	d (mm)	d _i (mm)	d _k (mm)	k _l (mm)	a (mm)	l _{sp} (mm)	l (mm)
SIMPSON	ETA 13/0796 [1]	ESCRFTZ	8	5,2	10,2	7,5	10	8,2	140
WURTH	ETA 11/0190 [2]	ASSY Plus VG	8	5,0	10,0	7,5	11	0	140
HECO	ETA 11/0284 [3]	HECO TOPIX	8	5,25	12	5,2	8	??	140

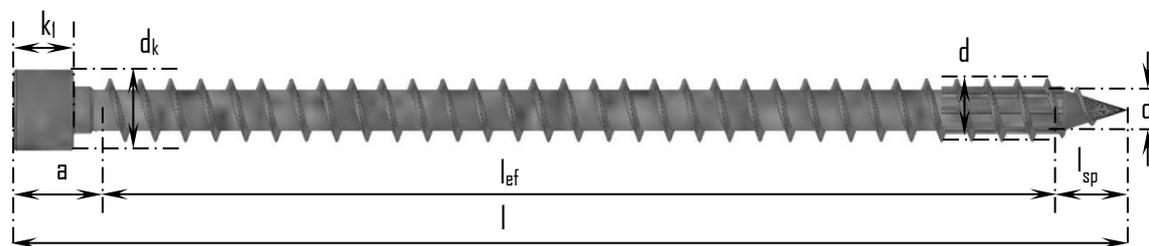


Figure 7-2 : Schéma d'une vis avec toutes les dénominations

7.2. DIMENSIONNEMENT DE L'ASSEMBLAGE

7.2.1. Distances et pinces minimales

La Figure 7-3 présente les pinces pour la configuration n°6 des assemblages vissés CLT.

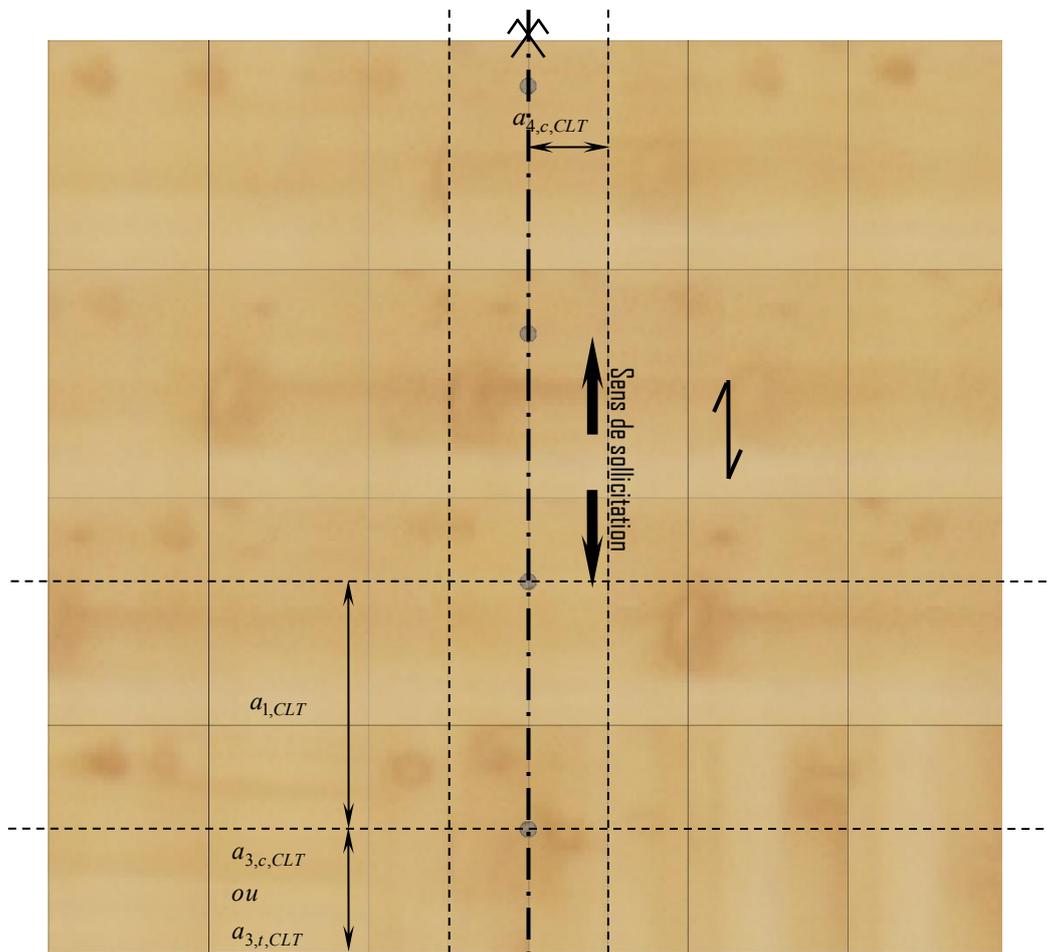


Figure 7-3 : Présentation des pinces de la configuration n°6 des assemblages vissés CLT

Les pinces minimales concernant le panneau CLT sont extraites de certains ETAs de fabricant de vis, elles-mêmes extraites d'un article scientifique [4].

- Pinces mini pour les vis dans le panneau CLT :

$$a_{1,CLT} = 4 \times d = 4 \times 8 = 32 \text{ mm}$$

$$a_{2,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20 \text{ mm}$$

$$a_{3,c,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{3,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{4,c,CLT} = 2,5 \times d = 2,5 \times 8 = 20 \text{ mm}$$

$$a_{4,t,CLT} = 6 \times d = 6 \times 8 = 48 \text{ mm}$$

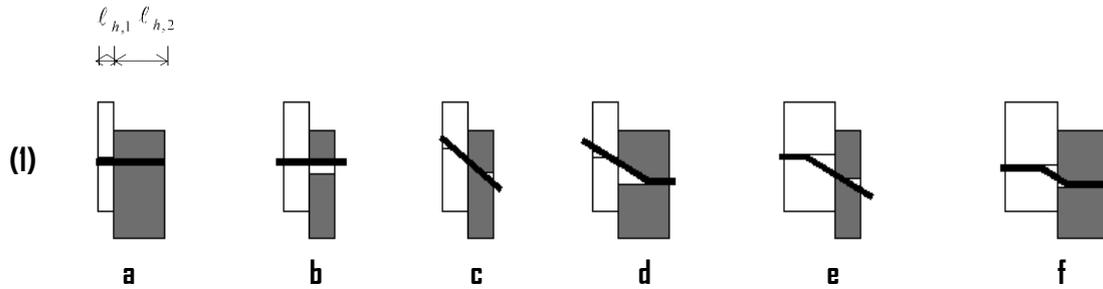
7.2.2. Dispositif de l'Assemblage

Pour la sixième configuration retenue, l'assemblage est constitué d'une rangée de 4 vis. Suite aux différents échanges dans l'atelier, l'espacement a_1 retenu est un espacement de 250 mm entre chacune des paires de vis et une distance $a_{3,t}$ équivalent au demi-entraxe des paires en partie courante, c'est-à-dire 125 mm. Les pinces a_4 sont prises au minimum. L'assemblage testé mesurera ainsi 1000 mm de long.

7.2.3. Vis chargées latéralement

Pour la détermination de la valeur de la capacité résistante d'assemblages par organes métalliques de ce type, les contributions respectives de la capacité plastique, de la portance locale, de la résistance à l'arrachement de l'organe d'assemblage doivent être considérées.

Il convient de déterminer la valeur de la capacité résistante latérale des vis par plan de cisaillement et par organe, ceci pour les espacements minimums spécifiés, comme la valeur minimale issue des équations suivantes :



$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \ell_{h,1} d \quad (a) \\ f_{h,2,k} \ell_{h,2} d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} + \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{\ell_{h,2}}{\ell_{h,1}} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,1} d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,1}^2 d}} - \beta \right] \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} \ell_{h,2} d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \ell_{h,2}^2 d}} - \beta \right] \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} \quad (f) \end{array} \right.$$

La Figure 7-4 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante latérale.

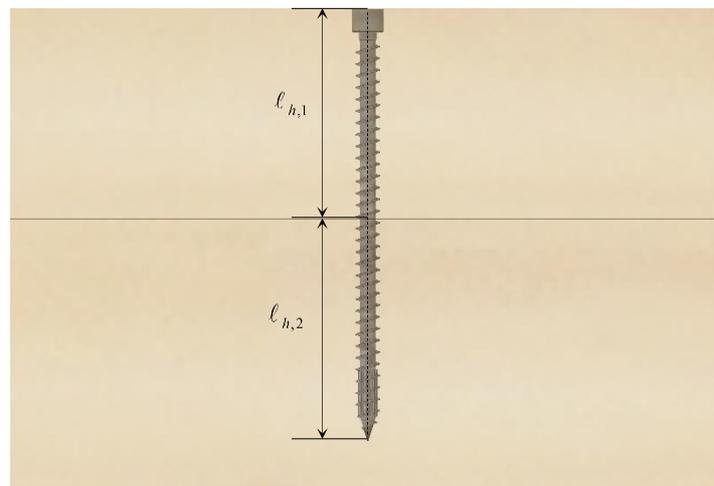


Figure 7-4 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°6

7.2.3.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calcul sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique G24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,k,CLT} = 0,082 \times \rho_{k,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 350 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 17,01 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

Fabricants	$M_{y,rk}$ (N.m)
HECO	20,0
SIMPSON	24,0
WURTH	23,0

$$\beta = \frac{f_{h,k,CLT}}{f_{h,k,CLT}} = 1$$

$$\ell_{h,1} = 70 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 70 = 70 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(a)} \\ 17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad \text{(b)} \\ \frac{17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+1} \left[\sqrt{1+2 \times 1^2 \left[1 + \frac{70}{70} + \left(\frac{70}{70} \right)^2 \right] + 1^3 \left(\frac{70}{70} \right)^2} - 1 \times \left(1 + \frac{70}{70} \right) \right] \quad \text{(c)} \\ 1,05 \times \frac{17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 1 \times (1+1) + \frac{4 \times 1 \times (2+1) \times 24000}{17,01 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad \text{(d)} \\ 1,05 \times \frac{17,01 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+2 \times 1} \left[\sqrt{2 \times 1^2 (1+1) + \frac{4 \times 0,73 \times (1+2 \times 1) \times 24000}{17,01 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad \text{(e)} \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 24000 \times 17,01 \times (5,2 \times 1,1)} \quad \text{(f)} \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rk,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 6810 \text{ (a)} \\ 6810 \text{ (b)} \\ 2821 \text{ (c)} \\ 2731 \text{ (d)} \\ 2731 \text{ (e)} \\ 2485 \text{ (f)} \end{array} \right. = 2485 \text{ N (f)}$$

7.2.3.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

- **Résistance à l'enfoncement**

$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

$d_{ef} = d_{int} \times 1,1$ selon la norme NF EN 1995-1-1

$$f_{h,mean,CLT} = 0,082 \times \rho_{mean,CLT} \times d_{ef}^{-0,3} = 0,082 \times 420 \times (5,2 \times 1,1)^{-0,3} = 20,41 \text{ MPa}$$

- **Moment plastique des pointes**

$$M_{y,Rmean} = \frac{M_{y,Rk}}{e^{-1,64 \times COV_{acier}}} \quad \text{avec} \quad COV_{acier} = 3\%$$

Fabricants	$M_{y,rmean}$ (N.m)
HECO	21,00
SIMPSON	25,21
WURTH	24,16

$$\beta = \frac{f_{h,mean,CLT}}{f_{h,mean,CLT}} = 1$$

$$\ell_{h,1} = 70 \text{ mm}$$

$$\ell_{h,2} = \ell - \ell_{h,1} = 140 - 70 = 70 \text{ mm}$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad (a) \\ 20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1) \quad (b) \\ \frac{20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+1} \left[\sqrt{1+2 \times 1^2 \left[1 + \frac{70}{70} + \left(\frac{70}{70} \right)^2 \right] + 1^3 \left(\frac{70}{70} \right)^2} - 1 \times \left(1 + \frac{70}{70} \right) \right] \quad (c) \\ 1,05 \times \frac{20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 1 \times (1+1) + \frac{4 \times 1 \times (2+1) \times 25210}{20,41 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad (d) \\ 1,05 \times \frac{20,41 \times 70 \times (5,2 \times 1,1)}{1+2 \times 1} \left[\sqrt{2 \times 1^2 (1+1) + \frac{4 \times 0,73 \times (1+2 \times 1) \times 25210}{20,41 \times 70^2 \times (5,2 \times 1,1)}} - 1 \right] \quad (e) \\ 1,15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 252100 \times 20,41 \times (5,2 \times 1,1)} \quad (f) \end{array} \right.$$

$$F_{lat,Rmean,J} = \min \left\{ \begin{array}{l} 8172 (a) \\ 8172 (b) \\ 3385 (c) \\ 3227 (d) \\ 3227 (e) \\ 2790 (f) \end{array} \right. = 2790 \text{ N} (f)$$

7.2.4. Vis chargées axialement

La Figure 7-5 présente les longueurs caractéristiques de la vis nécessaires au calcul de la capacité résistante axiale.

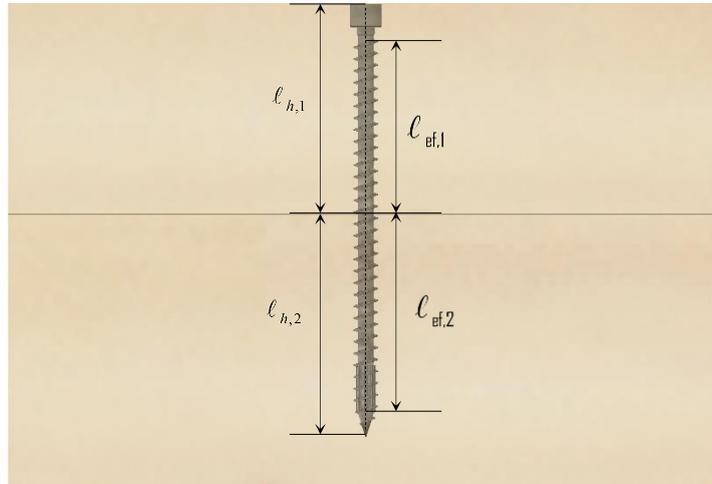


Figure 7-5 : Présentation des longueurs caractéristiques retenues de la vis en configuration n°6

7.2.4.1. Valeur caractéristique

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{k,CLT} = 350 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$l_{ef,CLT,1} = l_{h,1} - a = 70 - 10 = 60 \text{ mm}$$

$$l_{ef,CLT,2} = l_{h,2} - l_{sp} = 70 - 8,2 = 61,8 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rk,CLT,1} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT,1}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 60^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 6355 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk,CLT,2} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times l_{ef,CLT,2}^{0,9} \times k_d \times \rho_{k,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 61,8^{0,9} \times 350^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 6527 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} F_{ax,Rk,CLT,1} \\ F_{ax,Rk,CLT,2} \end{cases} = \min \begin{cases} 6355 \\ 6527 \end{cases} = 6355 \text{ N}$$

7.2.4.2. Valeur moyenne

Les hypothèses de calculs sont présentées ci-dessous.

$$\rho_{mean,CLT} = 420 \text{ kg/m}^3 \text{ masse volumique caractéristique C24.}$$

$$d = d_{ext} \text{ selon les ETA}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\ell_{ef,CLT,1} = \ell_{h,1} - a = 70 - 10 = 89 \text{ mm}$$

$$\ell_{ef,CLT,2} = \ell_{h,2} - \ell_{sp} = 70 - 8,2 = 61,8 \text{ mm}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT,1} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,CLT,1}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 60^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 7353 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean,CLT,2} = \frac{0,52 \times d^{0,5} \times \ell_{ef,CLT,2}^{0,9} \times k_d \times \rho_{mean,CLT}^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 \theta + \sin^2 \theta} = \frac{0,52 \times 8^{0,5} \times 61,8^{0,9} \times 420^{0,8}}{1,2 \times \cos^2 90 + \sin^2 90} = 7552 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rmean} = \min \begin{cases} F_{ax,Rmean,CLT,1} \\ F_{ax,Rmean,CLT,2} \end{cases} = \min \begin{cases} 7353 \\ 7552 \end{cases} = 7353 \text{ N}$$

7.2.5. Résistance plastique de l'assemblage des vis

7.2.5.1. Valeur caractéristique

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rk,U} &= F_{lat,Rk,J} (\text{Johansen}) + \min \begin{cases} F_{ax,Rk} / 4 \\ F_{lat,Rk,J} \end{cases} \\ &= 2485 + \min \begin{cases} 6355 / 4 \\ 2485 \end{cases} = 4074 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rk,U} = 4074 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

7.2.5.2. Valeur moyenne

La détermination de la résistance plastique de l'assemblage est effectuée selon les équations suivantes :

$$\begin{aligned} F_{v,Rmean,U} &= F_{lat,Rmean,J} (\text{Johansen}) + \min \begin{cases} F_{ax,Rmean} / 4 \\ F_{lat,Rmean,J} \end{cases} \\ &= 2790 + \min \begin{cases} 7353 / 4 \\ 2790 \end{cases} = 4628 \text{ N} \end{aligned}$$

soit $F_{v,Rmean,U} = 4628 \text{ N}$ par plan de cisaillement et par organe

7.2.6. Résistance au fendage de l'assemblage

7.2.6.1. Nombre efficace

Pour une file de n pointes parallèles au fil du bois, il convient de calculer la capacité résistante parallèle au fil, à partir du nombre efficace d'organes n_{ef} où :

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

où :

- n_{ef} est le nombre efficace de pointes dans la file ;
- n est le nombre de pointes dans une file ;
- k_{ef} est donné dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7-2: Valeurs de k_{ef}

Espacement ^{a)}	k_{ef}	
	Sans préperçage	Avec préperçage
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	-	0,5

^{a)} Pour des espacements intermédiaires, une interpolation linéaire de k_{ef} est autorisée

Vis-à-vis de la solution d'assemblage retenue, aucune rupture par fendage ne doit être observée puisque

$$a_1 = 250\text{mm} > 14 \times d = 14 \times 8 = 112\text{mm}$$

7.2.7. Raideur de l'assemblage

7.2.7.1. Raideur latérale

$\rho_{meanCLT} = 420 \text{ kg/m}^3$ masse volumique caractéristique C24.

Raideur conventionnelle à l'état limite de service par plan de cisaillement et par organe :

$$K_{lat} = \frac{\rho_m^{1.5} d_{ef}}{23} = \frac{420^{1.5} (5,2 \times 1,1)}{23} = 2141 \text{ N/mm}$$

$$K_{ass} = n_{plan} \times n_{org} \times K_{lat} \times k_{type}$$

L'assemblage est bois/bois :

$$k_{type} = \begin{cases} 1 & \text{bois / bois} \\ 2 & \text{bois / métal ou bois / béton} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} K_{ass} &= \frac{\rho_m^{1.5} d_{ef}}{23} \times n_{plan} \times n_{org} \times k_{type} \\ &= \frac{420^{1.5} (5,2 \times 1,1) \times 1 \times 4 \times 1}{23} = 8562 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

L'assemblage global est constitué d'un assemblage de 4 vis. La raideur de l'assemblage complet s'écrit de la manière suivante :

$$K_{ass, total} = K_{ass} = 8562 \text{ N/mm}$$

8. – SYNTHÈSE

Tableau 8-1 : Synthèse des capacités portantes d'assemblage et des raideurs d'assemblage ainsi que les capacités portantes d'assemblage et des raideurs ramenées au nombre de vis total de l'assemblage

Configuration	Résistance caractéristique assemblage [kN]	Raideur d'assemblage [kN/mm]	Nombre de vis	Résistance caractéristique par vis [kN]	Raideur par vis [kN/mm]
1	10,40	4,95	8	2,60	0,62
2	32,22	14,66	16	4,03	0,92
3	52,30	31,12	48	6,54	0,64
4	43,66	28,91	8	5,46	3,61
5	60,66	44,52	8	7,58	5,56
6	16,3	8,56	4	4,07	2,14

9.- BIBLIOGRAPHIE :

- [1] SIMPSON, "European technical approval-13/0796." 2017.
- [2] WURTH, "European technical approval-11/0190." 2013.
- [3] HECO, "European technical approval-11/0284." 2019.
- [4] R. Brandner, G. Flatscher, A. Ringhofer, G. Schickhofer, and A. Thiel, "Cross laminated timber (CLT): overview and development," *European Journal of Wood and Wood Products*, vol. 74, no. 3, pp. 331-351, May 2016, doi: 10.1007/s00107-015-0999-5.
- [5] AFNOR, *NF EN 1995-1-1: EC 5 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois - Partie 1-1 - Règles générales et règles pour les bâtiments*. 2005.
- [6] SIMPSON, "European technical approval-04/0013." 2019.
- [7] T. Uibel and H. J. Blass, "Edge joints with dowel type fasteners in cross laminated timber," in *Proceedings of International Council for Building Research and Innovation Working 18*, Bled, Slovenia, 2007, p. Paper 40-7-2.

3. PRO-1.1

Protocole d'essais d'arrachement de vis



Laboratoire d'Etudes et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 4370 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

PRO-1.1 : Protocole d'essais d'arrachement de vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

Ecole Nationale Supérieure
des Technologies et Industries du Bois
27, rue Philippe SEGUIN
CS60036
88026 EPINAL

Tél : 03-72-74-96-11
Fax : 03-72-74-96-38
e-mail : jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - ESSAIS DE CARACTERISATION D'ARRACHEMENT DE VIS	3
1.1. DEFINITION DES ECHANTILLONS	3
1.2. DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE	4
1.3. PROTOCOLE DES ESSAIS	5
1.3.1. <i>La chaîne d'acquisition</i>	5
1.3.2. <i>Dispositif de montage d'essai</i>	6
1.3.3. <i>Dispositif de mesure</i>	7
1.3.3.1. Mesure sans contact	7
1.3.4. <i>Cycle de chargement</i>	8
1.4. RESULTATS	9
2. - BIBLIOGRAPHIE :	11

1. – ESSAIS DE CARACTERISATION D'ARRACHEMENT DE VIS

Les essais seront effectués sur la machine universelle ZWICK du CAMPUS BOIS située à Epinal (Vosges, 88). Pour ce type d'essai d'arrachement de vis, un lot de 15 échantillons sera testé afin de déterminer la valeur caractéristique de la résistance à l'arrachement de la vis selon la configuration retenue ainsi que la raideur axiale.

1.1. DEFINITION DES ECHANTILLONS

La campagne d'essais sera constituée d'un lot de 15 échantillons de CLT comprenant des vis à filetage total à tête cylindrique disposées à 45° au regard de la face du panneau. Cette configuration aura pour but de caractériser l'arrachement d'une vis disposée de la même manière que celle constituant l'éprouvette de cisaillement 9.1 qui est un mi-bois assemblé par vis à 45° comme sur la Figure 1-1.

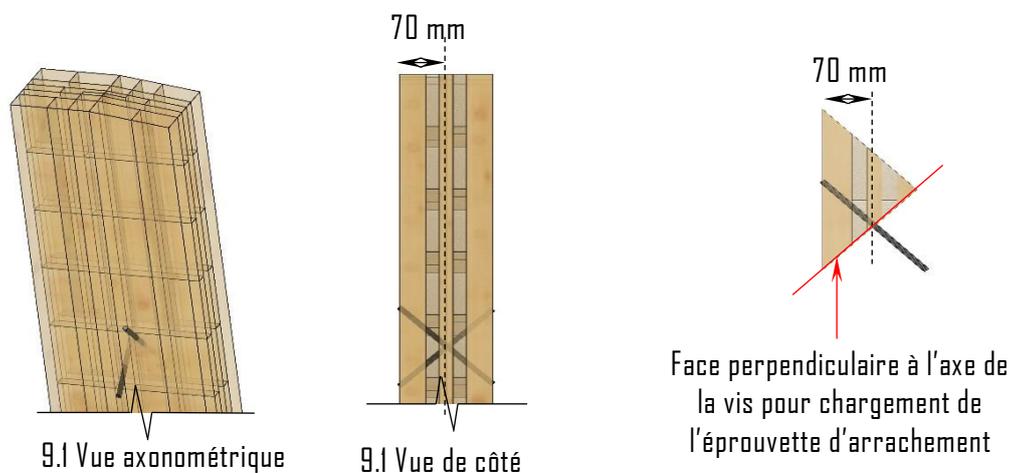


Figure 1-1 : Eprouvettes de cisaillement et d'arrachement

Les vis retenues seront des vis à filetage total à tête cylindrique ESCRFTZ8.0x200 de la société Simpson.



Figure 1-2 : Vis à filetage total à tête cylindrique ESCRFTZ8.0x200

Les dimensions de l'éprouvette d'arrachement se baseront sur les recommandations de la norme NF EN 1382 [1] tout en tenant compte des dimensions de l'éprouvette 9.1 de cisaillement. Les dimensions de l'éprouvette sont présentées sur la Figure 1-3.

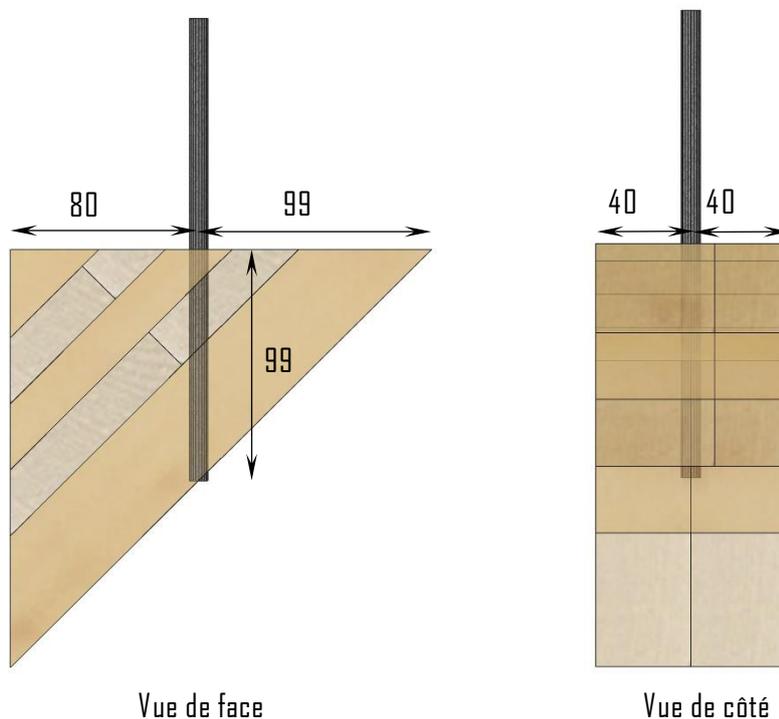


Figure 1-3 : Dimensions des éprouvettes d'arrachement

1.2. DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE

Pour l'ensemble des échantillons, la masse volumique sera déterminée avant essai, sur l'élément entier avec une prise d'humidité par la méthode électrique par résistance selon la norme NF EN 13183-2 [2] au milieu de l'élément, une prise de masse à l'aide d'une balance précise au centième de gramme et une prise de dimensions réalisée au pied à coulisse. Les valeurs de masse volumique seront répertoriées dans un tableau du type Tableau 1-1.

Tableau 1-1 : Synthèse des masses volumiques et humidité pour la configuration n^o1.

Désignation des éléments	ρ [kg/m ³]	H [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]
1-1			
1-2			
1-3			
[...]			
1-15			
Minimum			
Maximum			
Moyenne			
Ecart type			
COV			

1.3. PROTOCOLE DES ESSAIS

1.3.1. La chaîne d'acquisition

Sur chacun des essais d'arrachement de vis, un dispositif de mesure constitué de deux chaînes d'acquisition sera mis en place.

La première chaîne de mesures enregistrera en continu le déplacement de la traverse ainsi que la valeur de la charge sur la cellule de force en fonction du temps. Cette chaîne d'acquisition sera intégrée dans le système d'asservissement de la machine.

La deuxième chaîne de mesures sera composée de 2 caméras 2D. L'acquisition des données enregistrées par cette caméra sera faite par le logiciel VDM_acqui. Pour permettre l'acquisition des données pour cette deuxième chaîne de mesures, des cibles d'une taille adaptée seront disposées sur l'échantillon (cf. partie : 1.3.3.1).

La synchronisation des deux chaînes de mesures sera donnée par un signal de type trigger, permettant une synchronisation instantanée temporelle des données issues des caméras et celles issues de la machine ZWICK. Après analyse, cette démarche permettra de déterminer la résistance à l'arrachement de la vis ainsi que la raideur axiale de l'arrachement de la vis.

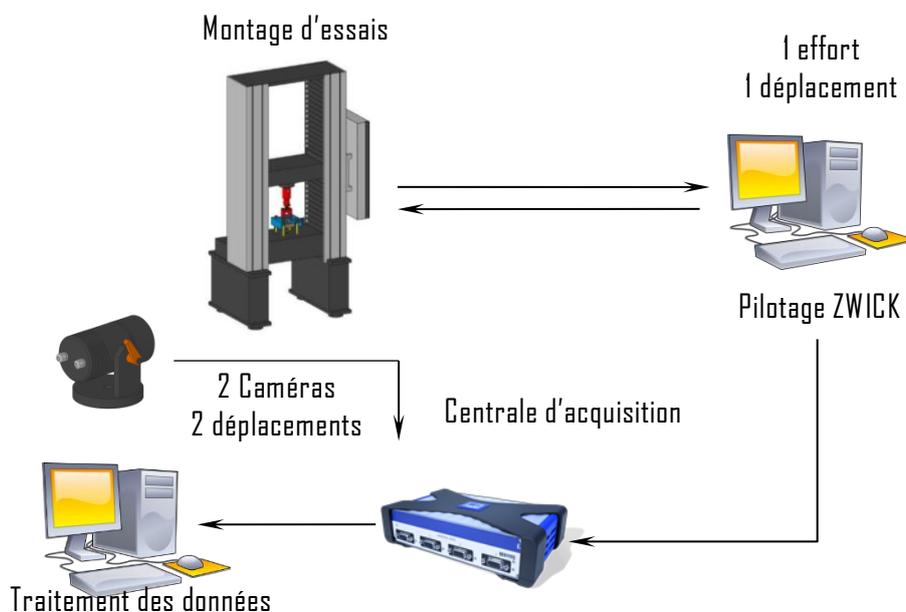


Figure I-4 : Schéma de principe de la chaîne d'acquisition

1.3.2. Dispositif de montage d'essai

Les essais d'arrachement de vis seront effectués selon le principe de montage présenté en Figure 1-5.

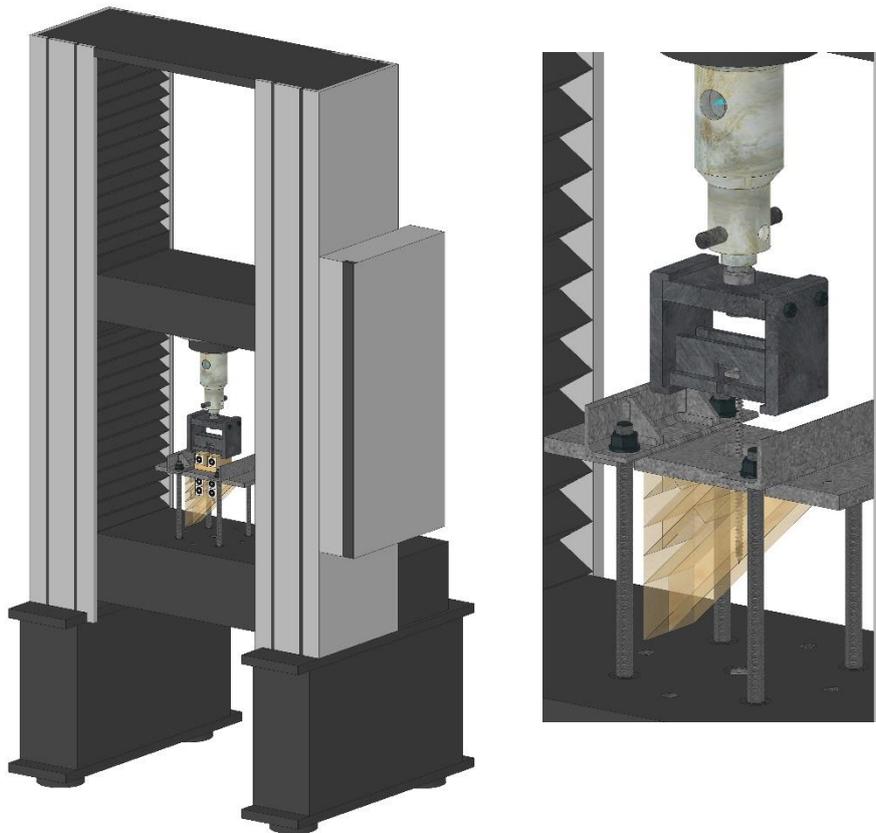


Figure 1-5 : Principe de montage de l'essai d'arrachement de vis

Le montage se composera de deux parties, l'une fixe et l'autre mobile. La première partie, fixe, se composera d'un système de maintien comportant des profilés métalliques de type cornières (cf. Figure 1-5) ainsi que d'une plaque métallique. Cette plaque métallique aura une réservation d'un trou de diamètre 6 fois le diamètre de la vis conformément à la norme NF EN 1382 [1]. Ce système de maintien sera bloqué en position par quatre boulons M16, eux-mêmes boulonnés à la table de la ZWICK.

La seconde partie, mobile, sera fixée à la traverse, elle permettra de tirer sur la tête de vis jusqu'à la rupture. Elle sera composée d'un mors de traction (cf. Figure 1-5), disposant d'une plaque amovible, percée d'une gorge permettant le passage puis le maintien de la vis.

1.3.3. Dispositif de mesure

1.3.3.1. Mesure sans contact

Le dispositif de mesure sera constitué de deux caméras 2D et du logiciel VDM_acqui. Ces caméras seront positionnées avec un recul d'environ 1 mètre de la face de mesure, afin d'obtenir une précision de l'ordre du 0,02 mm. Ce dispositif de mesure permettra de suivre les déplacements sans contact au cours du temps des cibles collées sur l'échantillon. Ce dispositif, après l'analyse des images des caméras, permettra de connaître les coordonnées spatiales de chacune des cibles. Dans notre cas d'étude, cette analyse déterminera la raideur d'arrachement axiale dans le CLT.

En associant plusieurs cibles formant un corps dit « rigide », ici au nombre de 2, il sera possible de connaître les déplacements relatifs entre les différents objets. Ceci permettra d'éliminer les mouvements parasites sur la distance séparant les objets de l'étude. Les corps dits « rigides » seront constitués pour l'un, d'une cale bois visée à la vis d'essai (Objet n°1), pour l'autre les cibles seront collées sur l'éprouvette (Objet n°2). Les cibles de ces deux corps dit « rigides » seront placées dans le même plan de mesure. La Figure 1-4 présente le principe de positionnement des cibles constituant les objets sur une face de l'échantillon. Le même positionnement sera effectué sur l'autre face de l'échantillon. Par l'intermédiaire de ce dispositif, le déplacement relatif moyen de la vis au regard de l'éprouvette bois sera connu. Il sera considéré comme l'arrachement dans le bois.

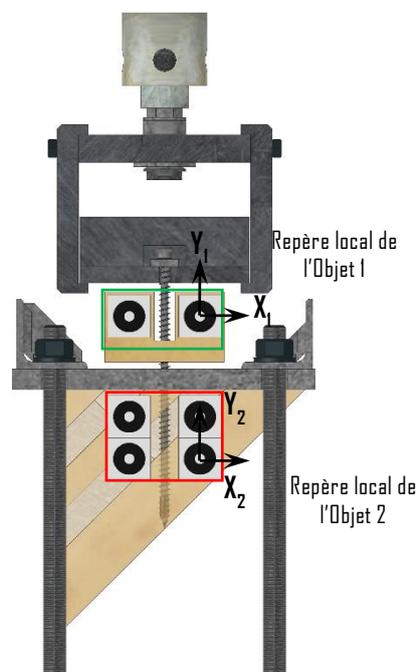


Figure 1-6 : Principe de positionnement des cibles, des repères locaux et identification des paramètres de calcul.

1.3.4. Cycle de chargement

Le cycle de chargement sera effectué sur la base des essais d'assemblage. Pour rappel, le cycle de chargement des assemblages sera adapté à celui donné dans la norme NF EN 26891:1991 [19]. Le cycle sera composé de deux seuils d'effort et d'une montée à rupture. Le premier seuil sera atteint par une montée en charge jusqu'à 40% de l'effort estimé à rupture de l'arrachement pour ensuite être maintenu pendant 30s. Puis la charge diminuera jusqu'à 10% de l'effort moyen estimé à rupture pour être de nouveau maintenu pendant 30s. Le second palier sera atteint par une montée en charge jusqu'à l'effort ELU estimé de l'arrachement avec un k_{mod} égal à 1,1 pour ensuite être maintenu pendant 30s. Puis la charge diminuera de nouveau jusqu'à 10% de l'effort moyen estimé à rupture pour être maintenu pendant 30s. Enfin, le cycle se terminera par une montée en charge jusqu'à rupture.

La vitesse de chargement sera calculée de manière à obtenir un temps sur la dernière montée, permettant de passer de 10% à 100% de l'effort à rupture estimé, en $300s \pm 120s$. Cette même vitesse sera imposée sur l'ensemble du cycle de chargement.

Au regard de la note de calculs de la configuration 9.1, les efforts servant au cycle sont l'effort axial dans la vis selon cette même configuration. Ces efforts sont synthétisés dans le Tableau 1-2 selon les équations suivantes :

$$F_{\text{vérin,mean,rupt}} = F_{\text{ax,Rmean}} = 6,74kN$$

$$F_{\text{vérin,ELU}} = F_{\text{ax,Rk,45}} \times \frac{k_{\text{mod}}}{\gamma_m} = 5,83 \times \frac{1,1}{1,3} = 4,93kN$$

Tableau 1-2 : Valeur à rupture des différents types d'essais

Configuration	$F_{\text{ax,R,mean,45}}$ [kN]	$F_{\text{ax,R,ELU,45}}$ [kN]
9.1	6,74	4,95

1.4. RESULTATS

Pour l'ensemble des résultats des essais d'arrachement de vis, il sera présenté les données géométriques, les résultats expérimentaux, les photos de rupture de chacune des éprouvettes ainsi que la courbe expérimentale décrite ci-dessous de chacun des essais résumés en une page par essai.

La présentation des résultats des essais sera réalisée de la manière suivante :

- ✓ Courbe de l'effort axial (F) en fonction du déplacement relatif de l'objet au regard de l'objet 2 (u) (cf. Figure 1-7)

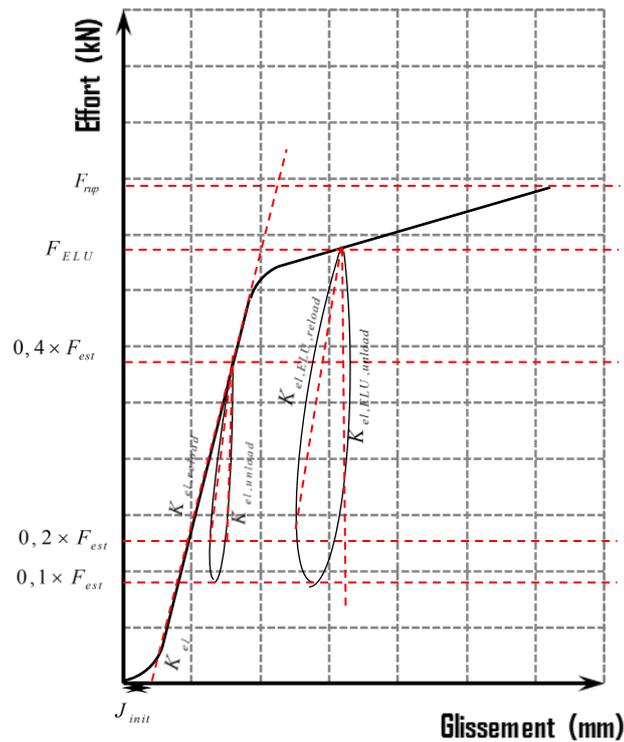


Figure 1-7 : Courbe expérimentale idéalisée

- ✓ F_{rup} : Valeur maximale de l'effort d'arrachement de l'échantillon en [kN]
- ✓ ρ : Valeur de la masse volumique en [kg/m^3]
- ✓ H : Valeur de l'humidité en [%]
- ✓ Le mode rupture de l'échantillon
- ✓ J_{init} : Valeur du jeu initial [mm]
- ✓ K_{el} : Valeur de la raideur d'assemblage de la première montée en charge en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre les seuils de 10% et 40% de la valeur estimée de la résistance à l'arrachement
- ✓ $K_{el,unload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la décharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre les seuils de 20% et 40% de la valeur estimée de la résistance à l'arrachement

- ✓ $K_{el, reload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la recharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre les seuils de 20% et 40% de la valeur estimée de la résistance à l'arrachement
- ✓ $K_{el, ELU, unload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la décharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre le seuil ELU et le seuil de 20% de la valeur estimée de la résistance à l'arrachement
- ✓ $K_{el, ELU, reload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la recharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre le seuil ELU et le seuil de 20% de la valeur estimée de la résistance à l'arrachement

A la suite des campagnes d'essais, il sera présenté un tableau de synthèse.

Tableau I-3 : Synthèse des valeurs déterminées par les essais pour les essais d'arrachement

Configuration	F_{rup} [kN]	ρ [kg/m ³]	H [%]	Type de rupture	J_{init} [mm]	K_{el} [kN/mm]	$K_{el, unload}$ [kN/mm]	$K_{el, reload}$ [kN/mm]	$K_{el, ELU, unload}$ [kN/mm]	$K_{el, ELU, reload}$ [kN/mm]
6.1-1										
6.1-2										
6.1-3										
6.1-4										
6.1-5										
Minimum										
Maximum										
Moyenne										
Ecart type										
COV										

2.- BIBLIOGRAPHIE :

- [1] AFNOR, NF EN 1382: Structures en bois - Méthodes d'essai - Résistance à l'arrachement dans le bois d'éléments de fixation. 1999.
- [2] AFNOR, NF EN 13183-2: Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 2 - Estimation par méthode électrique par résistance. 2002.

4. PRO-1.2

Protocole d'essais des assemblages par vis



Laboratoire d'Etudes et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 4370 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

PRO-1.2 : Protocole d'essais des assemblages par vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

Ecole Nationale Supérieure
des Technologies et Industries du Bois
27, rue Philippe SEGUIN
CS60036
88026 EPINAL

Tél : 03-72-74-96-11
Fax : 03-72-74-96-38
e-mail : jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr
web : www.enstib.uhp-nancy.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - ESSAIS DE CARACTERISATION DE COUTURAGE PAR VIS DE PANNEAUX CLT	3
1.1. PRINCIPE DE L'ESSAI	3
1.2. DEFINITION DES ECHANTILLONS	4
1.3. DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE	7
1.4. PROTOCOLE DES ESSAIS	8
1.4.1. <i>La chaîne d'acquisition</i>	8
1.4.2. <i>Dispositif de montage</i>	9
1.4.3. <i>Dispositif de mesure</i>	10
1.4.3.1. Mesure sans contact	10
1.4.4. <i>Cycle de chargement</i>	11
1.5. RESULTATS	12
2. - BIBLIOGRAPHIE :	15

1. – ESSAIS DE CARACTERISATION DE COUTURAGE PAR VIS DE PANNEAUX CLT

Les essais seront effectués sur la dalle d'essais mécanique du CAMPUS BOIS située à Epinal (Vosges, 88). Pour la caractérisation, 6 lots de 5 échantillons seront testés afin de déterminer la raideur et la résistance en cisaillement des assemblages vissés sur CLT pour chacune des configurations retenues par la commission Adiv'bois dans son cahier des charges.

1.1. PRINCIPE DE L'ESSAI

Le principe des essais de caractérisation est de solliciter l'assemblage en cisaillement par compression. Les mesures prises seront la distorsion de cisaillement permettant de remonter à une raideur de cisaillement d'assemblage.

Aujourd'hui, dans la littérature, il existe trois grands principes de caractérisation du cisaillement par compression. Le premier d'entre eux se caractérise par la forme de l'éprouvette définie par la norme NF EN 408 [1]. Le deuxième est basé sur le principe qui a été adopté pour la caractérisation du cisaillement roulant et qui est présenté dans la norme NF EN 16351 [2]. Le dernier est la caractérisation des assemblages avec l'éprouvette type « Arc de Triomphe » tel que défini dans l'Eurocode 4 [3]. Les formes d'éprouvettes issues de ces principes sont présentées selon la Figure 1-1.

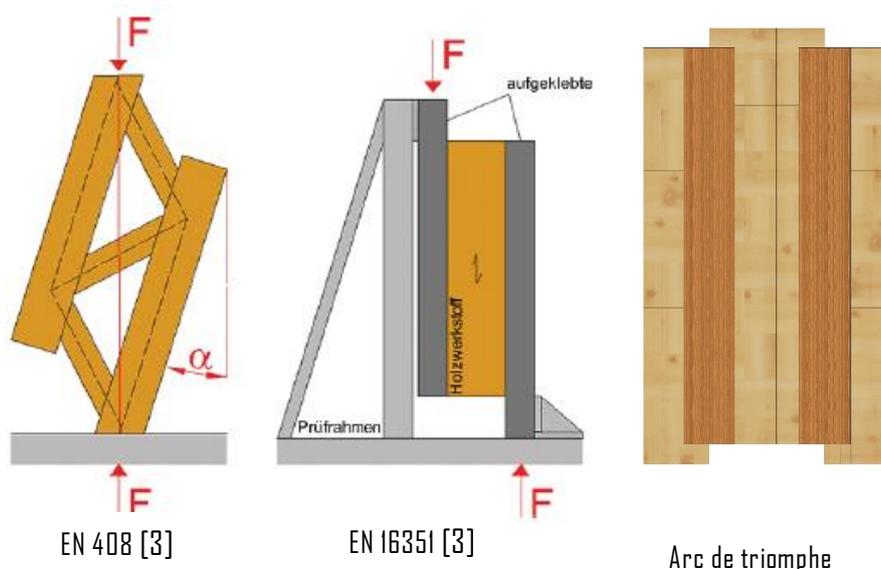


Figure 1-1 : Principes d'essais pour caractériser la raideur en cisaillement par compression [4].

Dans la littérature, plusieurs études de caractérisation d'assemblages CLT ont été réalisées selon ces différentes formes d'éprouvettes [5]–[17].

La forme de l'éprouvette la plus fréquemment retenue est celle de la norme NF EN 408 [1]. C'est celle qui avait été initialement prévue dans le cahier des charges. Cette forme d'éprouvette a l'avantage de caractériser la liaison simple tout en maîtrisant l'effort dans l'assemblage par la projection de l'effort du vérin selon le plan de cisaillement. Pour s'approcher au mieux de ce qui peut être rencontré sur chantier, des jeux d'assemblages seront intégrés entre les différents éléments constituant l'assemblage. En effet le frottement n'étant pas maîtrisable, il doit être supprimé de l'essai.

Ainsi, il est proposé de réaliser les essais d'assemblages à l'aide de la forme d'éprouvette de la norme NF EN 408 [1]. Cette forme d'éprouvette permettra d'intégrer les jeux d'assemblage. La rédaction du protocole d'essai est donc rédigée pour servir au mieux ce principe de réalisation d'essais.

1.2. DEFINITION DES ECHANTILLONS

Six configurations différentes d'assemblages vissés ont été retenues dans le cahier des charges en vue d'évaluer leur raideur ; 1 Bois-Métal et 5 en Bois-Bois. Ces liaisons sont composées de vis et de bois lamellé croisé. Le bois lamellé croisé est composé de 5 plis 40/20/20/20/40 mesurant ainsi 140mm d'épais. Quatre types de jonction différentes sont présentes, elles sont repérées (6, 7, 8, 9).

La première jonction (6) est une configuration avec couvre joint en LVL de 27mm d'épaisseur pour laquelle deux configurations de vissage ont été retenues (6.1 et 6.2). La configuration (6.1) souhaitée est réalisée avec des vis à filetage total à tête à cylindrique introduite à 90° par rapport au plan du panneau. La configuration (6.2) souhaitée est une configuration avec des vis à filetage total à tête cylindrique mises en œuvre à 45° et parallèlement au plan de la jonction.

La deuxième jonction (7) est une configuration avec un couvre joint métallique pour laquelle seule une configuration (7.1) est testée avec des vis à 90° par rapport au plan du panneau. Les vis utilisées sont des vis du même type que celles utilisées pour assembler des connecteurs ou des ancrages métalliques : ces vis limitent par leur forme le jeu dans l'acier.

La troisième jonction (8) s'effectue sur une configuration bord à bord sans usinage. Pour cette jonction, il est proposé de tester une disposition de vis à filetage total à tête cylindrique à 45° dans deux plans.

La dernière jonction (9) est une jonction présentant un usinage mi-bois. Pour cette jonction, deux configurations sont demandées. Pour la configuration (9.1), les vis à filetage total à tête cylindrique sont disposées à 45° alors que pour la configuration (9.2), les vis à filetage total à tête cylindrique sont disposées à 90°.

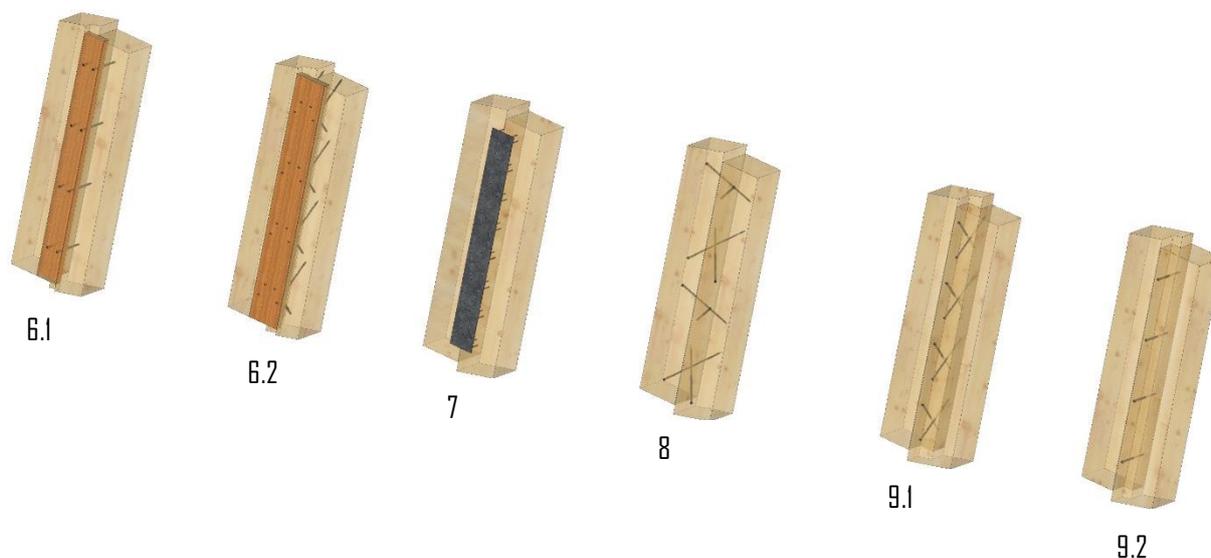


Figure 1-2 : Schémas des différentes configurations d'assemblages mécaniques de type vis en bois lamellé croisé.

Pour effectuer la caractérisation des raideurs d'assemblage de ces 6 configurations, l'éprouvette de référence adoptée pour l'ensemble des essais est présentée en Figure 1-3. Les deux largeurs de 100mm correspondent à la zone d'appui. La largeur de 138mm correspond à l'assemblage le plus large. La largeur totale de l'échantillon de 342mm (100+100+138+4 de jeu) est adoptée pour l'intégralité des éprouvettes même si la largeur de la connexion est réduite sur certaines configurations d'assemblages.

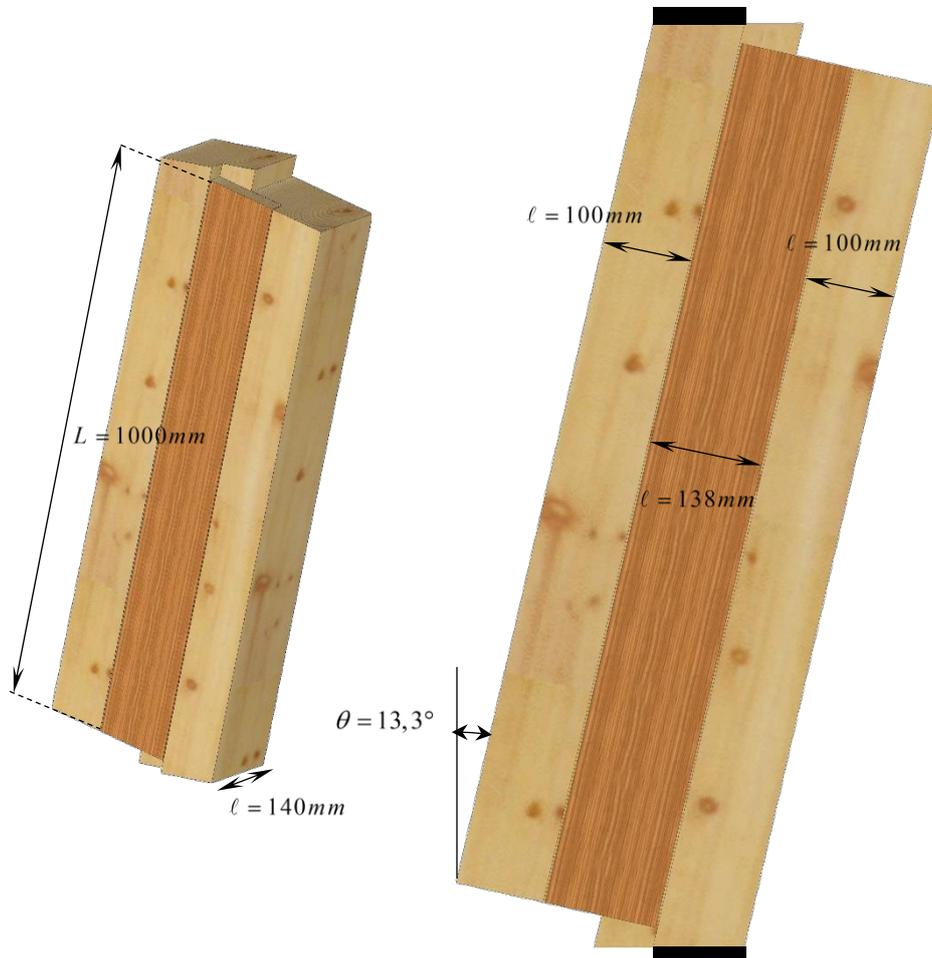


Figure 1-3: L'éprouvette de référence

Les distances au bords et espacements des différents organes sont présentés dans les notes de calculs établies pour chaque type d'assemblage. Les jeux d'assemblages sont eux présentés en Figure 1-4. Un jeu d'assemblage proche de 2 mm est imposé pour l'ensemble des configurations entre les deux panneaux CLT. Cependant, ce jeu pose un problème pour la configuration de sollicitation au regard de l'assemblage lorsque l'échantillon sera sollicité en compression. Afin de palier à ce problème, deux tôles graissées seront intégrées lors de l'assemblage des échantillons pour solliciter l'assemblage dans une seule et même direction. Un autre jeu de 2mm sera mis en place entre le LVL et le CLT ou pour le Mi-Bois selon la Figure 1-4.

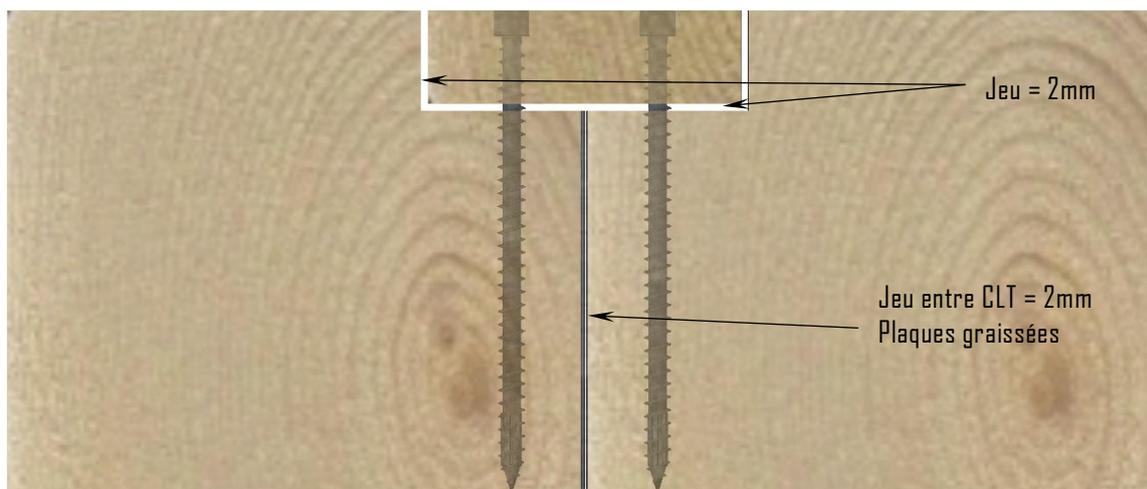


Figure 1-4 : Jeux d'assemblage et mise en place de tôles graissées

Pour les assemblages où le centre de raideur de l'assemblage est désaxé par rapport à la résultante de l'effort du vérin c'est-à-dire pour les configurations n°6.1, 6.2 et 7, un moment parasite est engendré. Une déformation hors plan est donc observée (cf. Figure 1-5). Afin de palier à cette observation, un deuxième assemblage sera mis par opposition permettant de s'affranchir de ce moment parasite par le deuxième assemblage selon l'échantillon (cf. Figure 1-5). L'échantillon sera donc constitué d'un double assemblage, où les CLT seront collées entre eux.



Figure 1-5 : Observation du moment parasite [8], proposition de configuration d'éprouvette

1.3. DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE

Pour les 2 éléments CLT constituant les échantillons, la masse volumique sera déterminée avant l'usinage, sur l'élément entier avec une prise d'humidité par la méthode électrique par résistance selon la norme NF EN 13183-2 [18] au milieu de l'élément. Toutes ces valeurs seront répertoriées dans un tableau du type Tableau 1-1. Pour les échantillons présentant un panneau LVL, la masse volumique sera également prise selon le même protocole et répertoriées dans un tableau du type Tableau 1-2.

Tableau 1-1 : Synthèse des masses volumiques et humidité des panneaux CLT pour la configuration n°6.1.

Désignation des éléments	ρ [kg/m ³]	H [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]
6.1.-1-1/2			
6.1.-1-2/2			
6.1.-2-1/2			
6.1.-2-2/2			
6.1.-3-1/2			
6.1.-3-2/2			
6.1.-4-1/2			
6.1.-4-2/2			
6.1.-5-1/2			
6.1.-5-2/2			
Minimum			
Maximum			
Moyenne			
Écart type			
COV			

Tableau 1-2 : Synthèse des masses volumiques et humidité des panneaux LVL pour la configuration n°6.1.

Désignation des éléments	ρ [kg/m ³]	H [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]
6.1.-1-LVL			
6.1.-2-LVL			
6.1.-3-LVL			
6.1.-4-LVL			
6.1.-5-LVL			
Minimum			
Maximum			
Moyenne			
Écart type			
COV			

1.4. PROTOCOLE DES ESSAIS

1.4.1. La chaîne d'acquisition

Sur chacun des essais, les déplacements de l'échantillon ainsi que la charge dans les vérins seront enregistrés. Ces enregistrements seront ensuite analysés pour déterminer la raideur de cisaillement des assemblages et la résistance caractéristique. Pour cela un dispositif de mesure constitué de deux chaînes d'acquisition sera mis en place.

Une première chaîne de mesures enregistrera en continu le déplacement, la charge sur les vérins. Cette chaîne d'acquisition sera intégrée dans le système d'asservissement des vérins (cf. partie : 1.4.2).

La deuxième chaîne de mesures sera composée de deux caméras 2D. L'acquisition des données enregistrées par ces caméras sera réalisée par le logiciel VDM_acqui. Pour permettre l'acquisition des données pour cette deuxième chaîne de mesures, des cibles d'une taille adaptée seront disposées sur chaque face de l'échantillon bois (cf. partie : 1.4.3).

La synchronisation des deux chaînes de mesures sera donnée par un signal de type trigger. Ceci permettra une synchronisation instantanée temporelle des données issues des caméras et celles issues des vérins.

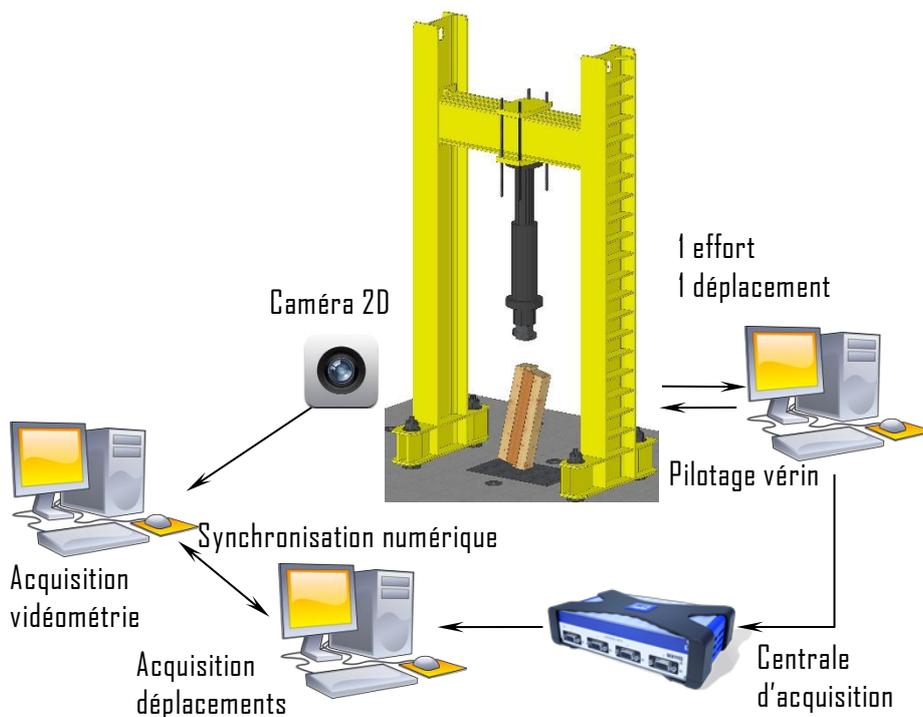


Figure 1-6 : Schéma de la chaîne d'acquisition

1.4.2. Dispositif de montage

Les essais de cisaillement seront effectués selon le principe du montage présenté en Figure 1-7. La surface de chargement mesurera environ 100 mm de largeur, l'autre dimension sera donnée par l'épaisseur propre à chaque échantillon. Pour mesurer de façon précise la raideur en évitant tout déséquilibre de l'échantillon, l'axe du point de chargement sera positionné au droit de l'axe de l'appui inférieur. A la rupture, cet équilibre pourra avoir légèrement évolué.

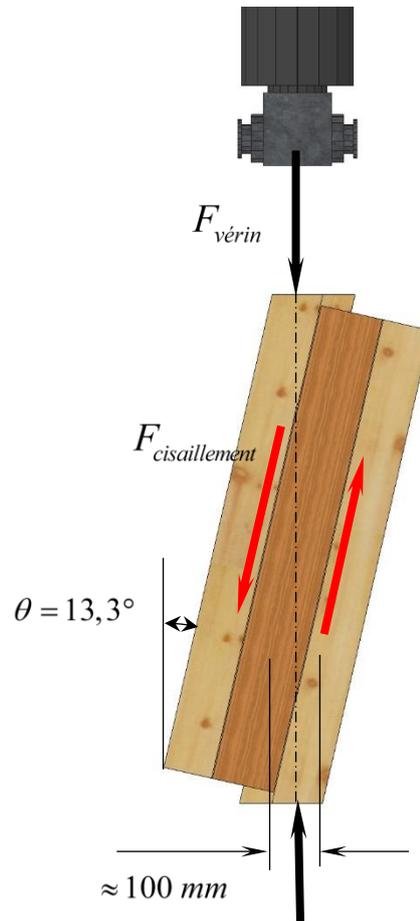


Figure 1-7 : Principe de montage de l'essai de cisaillement

1.4.3. Dispositif de mesure

1.4.3.1. Mesure sans contact

Le dispositif de mesure sera constitué de deux caméras 2D et du logiciel VDM_acqui. Ces caméras seront positionnées avec un recul d'environ 1,5 mètre de la face à mesurer, afin d'obtenir une précision de l'ordre du 0,02 mm dans les directions X et Y. Ce dispositif de mesure permettra de suivre les déplacements sans contact au cours du temps des cibles collées sur l'échantillon. Ce dispositif, après l'analyse des images des caméras, permettra de connaître les coordonnées spatiales de chacune des cibles. Dans notre cas d'étude, cette analyse déterminera la raideur d'assemblage en cisaillement des vis.

En associant plusieurs cibles formant un corps dit « rigide », ici au nombre de 2, il sera possible de connaître les déplacements relatifs entre les différents objets. Ceci permettra d'éliminer les mouvements parasites sur la distance séparant les objets de l'étude. Les corps dits « rigides » seront constitués de contreplaqués, fixés à l'aide de deux vis espacées de 250 mm et d'écarteurs. Ils auront pour objectif de mettre l'ensemble des cibles dans le même plan. La Figure 1-8 présente le positionnement des cibles sur les contreplaqués constituant les objets.

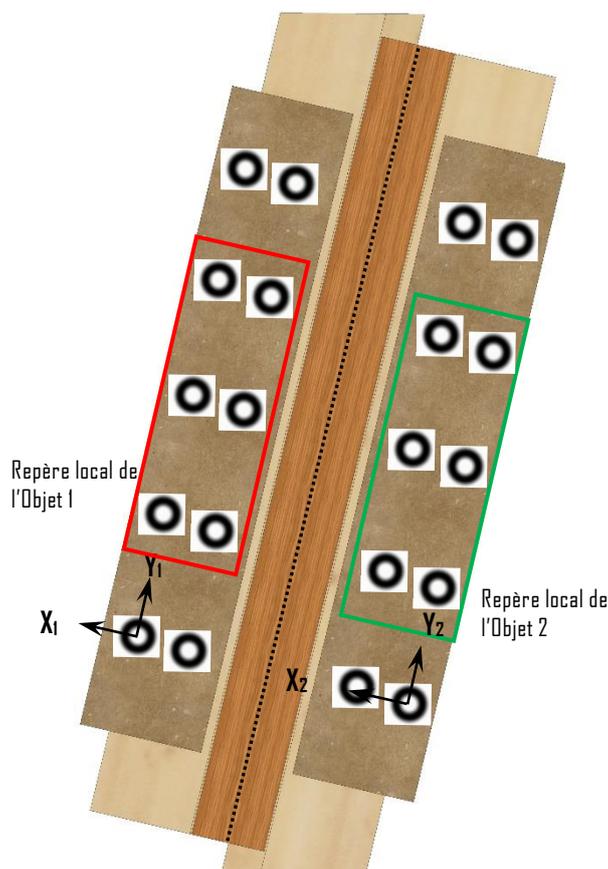


Figure 1-8 : Principe de positionnement des cibles et des repères locaux.

1.4.4. Cycle de chargement

Le cycle de chargement sera effectué conformément à celui proposé dans le cahier des charges. Pour rappel, le cycle de chargement des assemblages sera adapté à celui donné dans la norme NF EN 26891:1991 [19]. Le cycle sera composé de deux seuils d'effort et d'une montée à rupture. Le premier seuil sera atteint par une montée en charge jusqu'à 40% de l'effort estimé à rupture de l'assemblage pour ensuite être maintenue pendant 30s. Puis la charge diminuera jusqu'à 10% de l'effort moyen estimé à rupture pour être de nouveau maintenue pendant 30s. Le second palier sera atteint par une montée en charge jusqu'à l'effort ELU estimé de l'assemblage avec un k_{mod} égal à 1,1 pour ensuite être maintenue pendant 30s. Puis la charge diminuera de nouveau jusqu'à 10% de l'effort moyen estimé à rupture pour être maintenue pendant 30s. Enfin, le cycle se terminera par une montée en charge jusqu'à rupture.

La vitesse de chargement sera calculée de manière à obtenir un temps sur la dernière montée, permettant de passer de 10% à 100% de l'effort à rupture estimé, en $300s \pm 120s$. Cette même vitesse sera imposée sur l'ensemble du cycle de chargement.

Au regard de la note de calcul, les différents efforts servant au cycle sont synthétisés dans le Tableau 1-3 selon les équations suivantes :

$$F_{\text{vérin,mean,rupt}} = \frac{F_{v,R,mean,U} \times n_{org}}{\cos(\theta)} = \frac{F_{v,R,mean,U} \times n_{org}}{\cos(13,3)}$$

$$F_{\text{vérin,ELU}} = \frac{F_{v,Rk,U} \times n_{org}}{\cos(\theta)} \times \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{F_{v,Rk,U} \times n_{org}}{\cos(13,3)} \times \frac{1,1}{1,3}$$

Tableau 1-3: Valeur à rupture des différents types d'essais

Configuration	n_{org}	$F_{v,R,mean,U}$ [kN]	$F_{\text{vérin,mean,rupt}}$ [kN]	$F_{v,Rk,U}$ [kN]	$F_{\text{vérin,ELU}}$ [kN]
6.1	8	2,81	23,05	2,60	18,05
6.2	16	4,29	70,39	4,04	59,09
7	48	2,47	121,58	2,18	90,80
8	8	6,60	54,15	5,47	37,97
9.1	8	8,73	71,62	7,60	52,76
9.2	4	4,67	19,16	4,09	14,20

1.5. RESULTATS

Pour l'ensemble des essais de cisaillement, il sera présenté les données géométriques, les résultats expérimentaux, les photos de rupture de chacune des faces ainsi que la courbe expérimentale décrite ci-dessous de chacun des essais résumés en deux pages par essai.

La présentation des résultats des essais sera réalisée de la manière suivante :

- ✓ Courbe de l'effort de cisaillement (F) en fonction du glissement longitudinal (u).
- (F) : Valeur totale de l'effort de cisaillement dans l'échantillon [kN]

$$F = \frac{F_{\text{vérin}}}{\cos \theta}$$

- **Définition du glissement moyen des essais expérimentaux**

Le valeur moyenne du glissement d'assemblage est définie comme étant la moyenne des déplacements relatifs de l'objet n°1 par rapport à l'objet n°2 sur chacune des faces A et B dénommée respectivement u_A et u_B

$$u_{\text{moyen}} = \frac{u_A + u_B}{2}$$

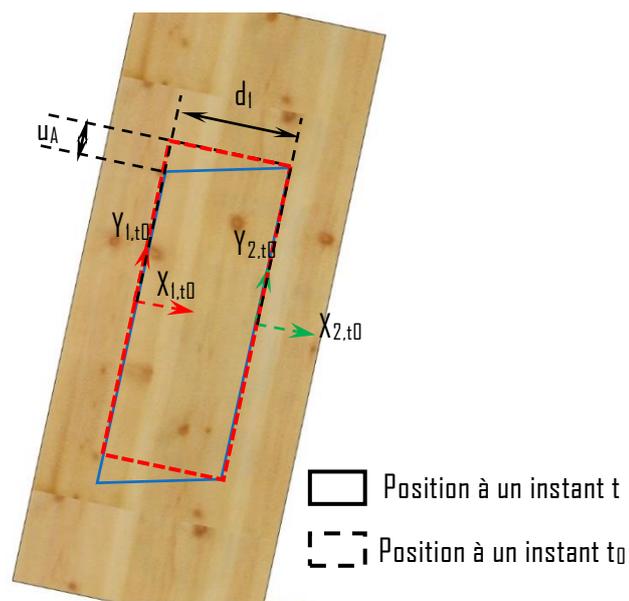


Figure 1-9 : Définition du glissement d'assemblage : identification des paramètres de calcul.

- ✓ $K_{el,ELU,reload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la recharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre le seuil ELU et le seuil de 20% de la valeur estimée de la résistance de l'assemblage du lot considéré

A la suite des campagnes d'essais, il sera présenté un tableau de synthèse par configuration d'essai. Ici à titre d'exemple, le Tableau 1-4 présente les résultats de la configuration n°6.1.

Tableau 1-4 : Synthèse des valeurs déterminées par les essais pour la configuration n°6.1

Configuration	F_{rup} [kN]	ρ [kg/m ³]	H [%]	Type de rupture	J_{simul} [mm]	K_{el} [kN/mm]	$K_{el,unload}$ [kN/mm]	$K_{el,reload}$ [kN/mm]	$K_{el,ELU,unload}$ [kN/mm]	$K_{el,ELU,reload}$ [kN/mm]
6.1-1										
6.1-2										
6.1-3										
6.1-4										
6.1-5										
Minimum										
Maximum										
Moyenne										
Ecart type										
COV										

Différentes analyses seront être effectuées à partir de l'ensemble des données. Une comparaison des valeurs de raideurs par organes mesurées seront comparées entre elles ainsi qu'avec la raideur par organe déterminée conformément à la note de calculs. Il sera également comparé les efforts à rupture expérimentaux et ceux analytique par organe. Le Tableau 1-5 pourrait être le type de tableau permettant de synthétiser les valeurs.

Tableau 1-5 : Valeurs déterminées par organes de la configuration n°6.1

Configuration	n_{org}	$F_{rup,U}$ [kN]	$(K_{tot,1})$ [kN/mm]
6.1 Expérimentale	8		
6.1 Analytique		2,81	2,517
Ratio Exp/Ana			

2.- BIBLIOGRAPHIE :

- [1] AFNOR, NF EN 408+A1: Structures en bois - Bois de structure et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques. 2012.
- [2] AFNOR, NF EN 16351: Structures en bois - Bois lamellé croisé - Exigences. 2015.
- [3] AFNOR, NF EN 1994-1-1: EC4 - Eurocode 4 - Calcul des structures mixtes acier-béton - Partie 1-1 Règles générales et règles pour les bâtiments. 2005.
- [4] N. Meyer and H. J. Blaß, "Eine neue Prüfmethode für Fachwerkknoten aus Holz," *Bautechnik*, vol. 95, no. 11, pp. 793-800, Nov. 2018, doi: 10.1002/bate.201800061.
- [5] A. Hossain, M. Popovski, and T. Tannert, "Cross-laminated timber connections assembled with a combination of screws in withdrawal and screws in shear," *Engineering Structures*, vol. 168, pp. 1-11, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.04.052.
- [6] R. Tomasi, M. Piazza, A. Angeli, and M. Mores, "A new ductile approach design of joints assembled with screws connectors.," Portland, Oregon, 2006.
- [7] K. Sullivan, T. H. Miller, and R. Gupta, "Behavior of cross-laminated timber diaphragm connections with self-tapping screws," *Engineering Structures*, vol. 168, pp. 505-524, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.04.094.
- [8] A. Hossain, I. Danzig, and T. Tannert, "Cross-Laminated Timber Shear Connections with Double-Angled Self-Tapping Screw Assemblies," *Journal of Structural Engineering*, vol. 142, no. 11, p. 04016099, 2016, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001572.
- [9] G. Flatscher, K. Bratulic, and G. Schickhofer, "Experimental tests on cross-laminated timber joints and walls," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Structures and Buildings*, vol. 168, no. 11, pp. 868-877, 2015, doi: 10.1680/stbu.13.00085.
- [10] S. Ashtari, "In-plane Stiffness of Cross-laminated Timber Floors," 2012.
- [11] H. J. Blass and I. Bejtka, "Joints with inclined screws," in *Proceedings of International Council for Building Research and Innovation Working 18*, Kyoto, Japan, 2002, p. Paper 35-7-4.
- [12] A. Kevarinmäki, "Joints with inclined screws," in *Proceedings of International Council for Building Research and Innovation Working 18*, Bled, Slovenia, 2002, p. Paper 35-7-3.
- [13] W. Muñoz, M. Mohammad, and S. Gagnon, "LATERAL AND WITHDRAWAL RESISTANCE OF TYPICAL CLT CONNECTIONS," in *Proceedings of World Conference on Timber Engineering*, Trento, Italy, 2010, p. 10.
- [14] T. Joyce, M. Ballerini, and I. Smith, "Mechanical behaviour of in-plane shear connections between CLT wall panels," p. 3, 2011.
- [15] A. Hossain, R. Lakshman, and T. Tannert, "Shear Connections with Self-Tapping Screws for Cross-Laminated Timber Panels," in *Structures Congress 2015*, Portland, Oregon, 2015, pp. 2251-2259, doi: 10.1061/9780784479117.195.
- [16] C. Loss, A. Hossain, and T. Tannert, "Simple cross-laminated timber shear connections with spatially arranged screws," *Engineering Structures*, vol. 173, pp. 340-356, 2018, doi: 10.1016/j.engstruct.2018.07.004.
- [17] R. Tomasi, A. Crosatti, and M. Piazza, "Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws," *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 9, pp. 1560-1571, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.03.007.
- [18] AFNOR, NF EN 13183-2: Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 2 - Estimation par méthode électrique par résistance. 2002.
- [19] AFNOR, NF EN 26891: Structure en bois Assemblages réalisés avec des éléments de fixation - Principes généraux pour la détermination des caractéristiques de résistance et de déformation. 1991.
- [20] AFNOR, NF EN 1995-1-1: EC 5 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois - Partie 1-1 - Règles générales et règles pour les bâtiments. 2005.

5. PRO-1.3

Protocole d'essais alternés d'assemblages par vis



Laboratoire d'Etudes et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 4370 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

PRO-1.3 : Protocole d'essais
alternés d'assemblages CLT par
vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

Ecole Nationale Supérieure
des Technologies et Industries du Bois
27, rue Philippe SEGUIN
CS60036
88026 EPINAL

Tél : 03-72-74-96-11
Fax : 03-72-74-96-38
e-mail : jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr
web : www.enstib.uhp-nancy.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - ESSAIS DE CARACTERISATION DE COUTURAGE PAR VIS DE PANNEAUX CLT SOUS UNE SOLLICITATION ALTERNEE	3
1.1. PRINCIPE DE L'ESSAI	3
1.2. DEFINITION DES ECHANTILLONS	4
1.3. DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE	6
1.4. PROTOCOLE DES ESSAIS	7
1.4.1. <i>La chaîne d'acquisition</i>	7
1.4.2. <i>Dispositif de montage</i>	8
1.4.3. <i>Dispositif de mesure</i>	8
1.4.3.1. <i>Mesure par contact</i>	8
1.4.4. <i>Cycle de chargement</i>	9
1.5. RESULTATS	12
2. - BIBLIOGRAPHIE :	14

1. – ESSAIS DE CARACTERISATION DE COUTURAGE PAR VIS DE PANNEAUX CLT SOUS UNE SOLLICITATION ALTERNÉE

Les essais seront effectués sur la dalle d'essais mécanique du CAMPUS BOIS située à Epinal (Vosges, 88). Pour la caractérisation, 3 lots de 5 échantillons seront testés. Ces essais ont pour but de définir les pertes de raideur d'assemblages à la suite d'une sollicitation alternée Traction/Compression.

1.1. PRINCIPE DE L'ESSAI

Le principe des essais de caractérisation est de solliciter l'assemblage en cisaillement par compression puis par traction permettant d'observer la modification de la raideur sous une charge alternée du type « Charge de vent ». Les mesures prises seront la distorsion de cisaillement permettant de remonter à une raideur de cisaillement d'assemblage pour une sollicitation alternée.

Aujourd'hui, dans la littérature, il existe trois grands principes de caractérisation du cisaillement par compression. Le premier d'entre eux se caractérise par la forme de l'éprouvette définie par la norme NF EN 408 [1]. Le deuxième est basé sur le principe qui a été adopté pour la caractérisation du cisaillement roulant et qui est présenté dans la norme NF EN 16351 [2]. Le dernier est la caractérisation des assemblages avec une éprouvette type « Arc de Triomphe » tel que défini dans l'Eurocode 4 [3]. Les formes d'éprouvettes issues de ces principes sont présentées selon la Figure 1-1.

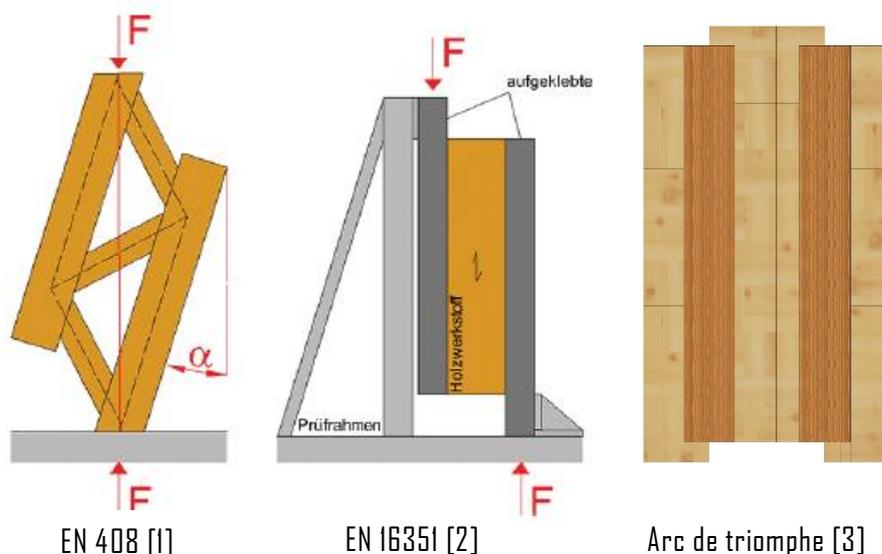


Figure 1-1: Principes d'essai pour caractériser la raideur en cisaillement par compression.

Pour des raisons de maintien de l'éprouvette, il est proposé de réaliser les essais d'assemblages sous sollicitation alternée avec la forme d'éprouvette en « Arc de triomphe ». Cette forme d'éprouvette permettra d'intégrer les jeux d'assemblage comme pour les essais de caractérisation de la raideur. La rédaction du protocole d'essai est donc écrite pour définir au mieux ce principe d'essai de cisaillement.

1.2. DEFINITION DES ECHANTILLONS

Trois des six configurations d'assemblages vissés initiales du cahier des charges ont été retenues. Ces liaisons sont composées de vis à 90° et à 45° et de bois lamellé croisé. Le bois lamellé croisé est composé de 5 plis 40/20/20/20/40 mesurant ainsi 140mm d'épaisseur. Deux types de jonction différentes sont présentes, elles sont repérées (6, 9).

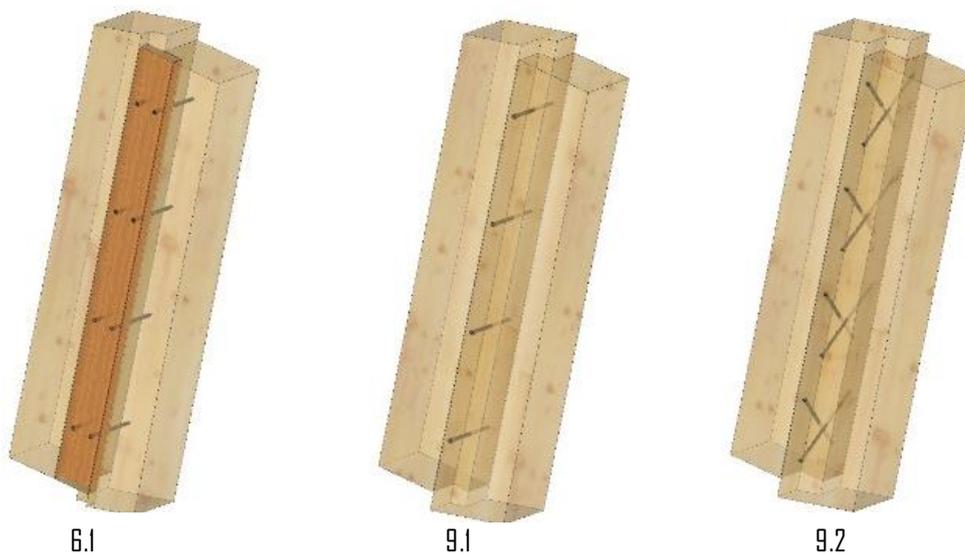


Figure 1-2 : Schémas des différentes configurations d'assemblages mécaniques de type vis en bois lamellé croisé.

Pour effectuer la caractérisation des raideurs d'assemblage de ces 3 configurations, l'éprouvette de référence adoptée pour l'ensemble des essais est présentée en Figure 1-3. Afin de comparer les résultats des essais statiques avec ceux alternés, il a été retenu la même longueur cisillée avec le même nombre de vis. La seule différence est que l'éprouvette possède deux plans de cisaillement contrairement aux essais monotones.



Figure 1-3 : L'éprouvette de référence

Les dispositions constructives restent inchangées au regard des essais monotones. Les distances au bords et espacements des différents organes sont présentés dans les notes de calculs. Les jeux d'assemblages sont eux présentés en Figure 1-4. Un jeu d'assemblage proche de 2 mm est imposé pour l'ensemble des configurations entre les deux panneaux CLT. Comme pour les essais de caractérisation de raideur, deux tôles graissées seront intégrées lors de l'assemblage des échantillons pour solliciter l'assemblage dans une seule et même direction. Un autre jeu de 2mm sera mis en place entre le LVL et le CLT ou pour le Mi-Bois selon la Figure 1-4.

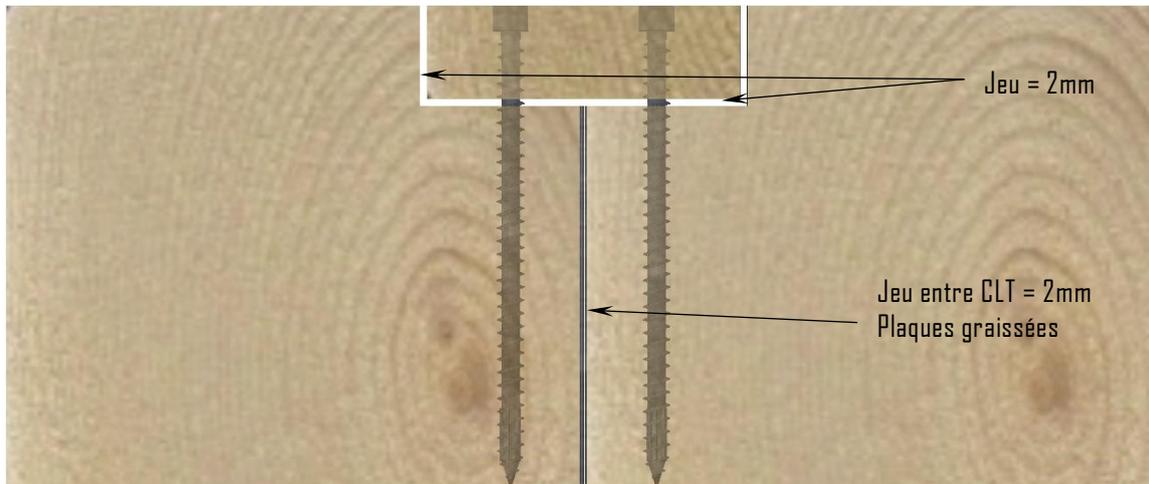


Figure 1-4 : Jeux d'assemblage et mise en place des tôles graissées

Pour les assemblages où le centre de raideur de l'assemblage est désaxé par rapport à la résultante de l'effort du vérin c'est-à-dire pour les échantillons de la configuration n°6.1, il a été décidé de ne pas doubler l'éprouvette contrairement aux essais monotones. Cette stratégie a été prise puisque les déplacements sont très faibles.

1.3. DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE

Pour les éléments CLT constituant les échantillons, la masse volumique sera déterminée avant l'usage, sur l'élément entier avec une prise d'humidité par la méthode électrique par résistance selon la norme NF EN 13183-2 [18] au milieu de l'élément. Toutes ces valeurs seront répertoriées dans un tableau du type Tableau 1-1. Pour les échantillons présentant un panneau LVL, la masse volumique sera également prise selon le même protocole et répertoriée dans un tableau du type Tableau 1-2.

Tableau 1-1 : Synthèse des masses volumiques et humidité des panneaux CLT pour la configuration n°6.1.

Désignation des éléments	ρ [kg/m ³]	H [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]
6.1.-1-1/3			
6.1.-1-2/3			
6.1.-1-3/3			
6.1.-2-1/3			
6.1.-2-2/3			
6.1.-2-3/3			
6.1.-3-1/3			
6.1.-3-2/3			
6.1.-3-3/3			
6.1.-4-1/3			
6.1.-4-2/3			
6.1.-4-3/3			
6.1.-5-1/3			
6.1.-5-2/3			
6.1.-5-3/3			
Minimum			
Maximum			
Moyenne			
Ecart type			
COV			

Tableau 1-2 : Synthèse des masses volumiques et humidité des panneaux LVL pour la configuration n°6.1.

Désignation des éléments	ρ [kg/m ³]	H [%]	$\rho_{12\%}$ [kg/m ³]
6.1.-1-LVL			
6.1.-2-LVL			
6.1.-3-LVL			
6.1.-4-LVL			
6.1.-5-LVL			
Minimum			
Maximum			
Moyenne			
Ecart type			
COV			

1.4. PROTOCOLE DES ESSAIS

1.4.1. La chaîne d'acquisition

Sur chacun des essais, les déplacements de l'échantillon ainsi que la charge dans les vérins seront enregistrés. Ces enregistrements seront ensuite analysés pour déterminer l'influence de la raideur au regard d'une sollicitation alternée de l'assemblage. Pour cela un dispositif de mesure constitué de deux chaînes d'acquisition sera mis en place.

Une première chaîne de mesures enregistrera en continu le déplacement, la charge sur les vérins. Cette chaîne d'acquisition sera intégrée dans le système d'asservissement des vérins (cf. partie : 1.4.2).

La deuxième chaîne de mesures sera constituée de quatre capteurs du type LVDT, lesquels seront positionnés sur des points caractéristiques de l'échantillon. Les valeurs de déplacement de ces capteurs seront enregistrées par une centrale d'acquisition (cf. paragraphe 1.4.3), elle-même branchée à la baie de pilotage. Ce dispositif permettra une synchronisation temporelle simultanée des données.

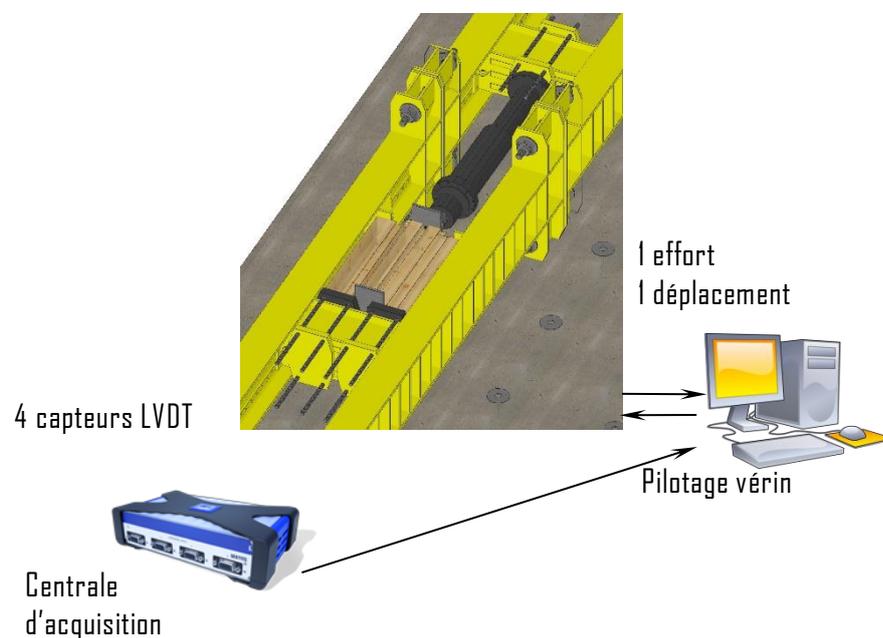


Figure I-5 : Schéma de la chaîne d'acquisition

1.4.2. Dispositif de montage

Les essais de cisaillement seront effectués selon le principe du montage présenté en Figure 1-6. L'échantillon est maintenu à l'aide de plaques et ferrures métalliques, elles-mêmes fixées au bâti.

Deux plaques métalliques sont mises de part et d'autre d'une traverse (en premier-plan de la Figure 1-6). Elles sont positionnées dans l'alignement des pièces latérales. Ces plaques sont maintenues en place par un système de 4 tiges filetées par dispositif.

Au niveau du point de chargement, deux ferrures métalliques sont disposées afin de bloquer les deux parties latérales lors de la phase de traction. Le point de chargement est constitué d'une ferrure métallique fixée au vérin. Celle-ci est percée pour permettre l'intégration de deux tiges filetées disposées de part et d'autre de l'échantillon. Une autre plaque métallique, elle-même percée, recevra les tiges filetées permettant de prendre en étau la partie centrale.

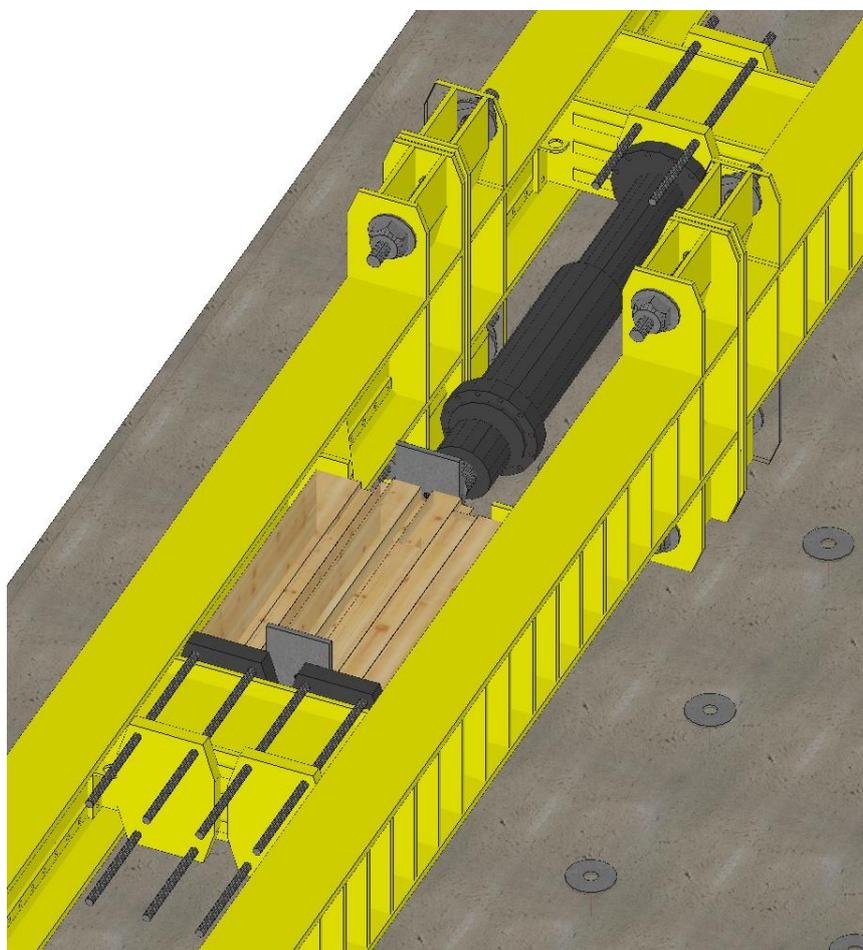


Figure 1-6 : Principe de montage de l'essai de cisaillement pour une sollicitation alternée

1.4.3. Dispositif de mesure

1.4.3.1. Mesure par contact

Comme évoqué précédemment, un dispositif de mesure de déplacement sera mis en place. Il sera constitué de quatre capteurs du type LVDT positionnés de part et d'autre de l'échantillon. Un système de fixation sera créé permettant d'obtenir le glissement moyen des deux pièces latérales vis-à-vis de la pièce centrale. Ce dispositif, après l'analyse, permettra de tracer l'évolution de l'effort axial en fonction du glissement.

1.4.4. Cycle de chargement

Pour les essais sous une sollicitation alternée, le cycle de chargement est emprunté à la norme NF EN 12512 [5] et à la norme ISO 16670 [6]. Pour rappel, ici le but de l'essai est d'identifier la perte de raideur sous une sollicitation alternée équivalente à une charge dite « ELS ».

Le cycle effectué est un chargement alterné piloté en force avec une vitesse constant permettant d'accroître de 10% l'effort limite en 5s. Cette vitesse revient à une vitesse en déplacement comprise entre 0.02mm/s et 0.2mm/s conformément aux normes NF EN 12512 [5] et ISO 16670 [6]. A chaque seuil, un palier de 5 s est maintenu. Pour le cas d'étude, le glissement seuil est calculée comme étant le glissement moyen. Ainsi la procédure de chargement est la suivante :

- ✓ Le premier seuil de chargement consiste à appliquer la charge en compression jusqu'à l'obtention d'un effort seuil de 20% de l'effort limite estimé (F_y). Ce dernier sera évalué à partir des essais monotones. Ensuite, l'assemblage sera déchargé et rechargé en traction jusqu'à un effort seuil de 20% de l'effort limite estimé (F_y). Pour finir, l'assemblage sera déchargé et rechargé jusqu'à un glissement nul. Ce cycle sera effectué 3 fois.

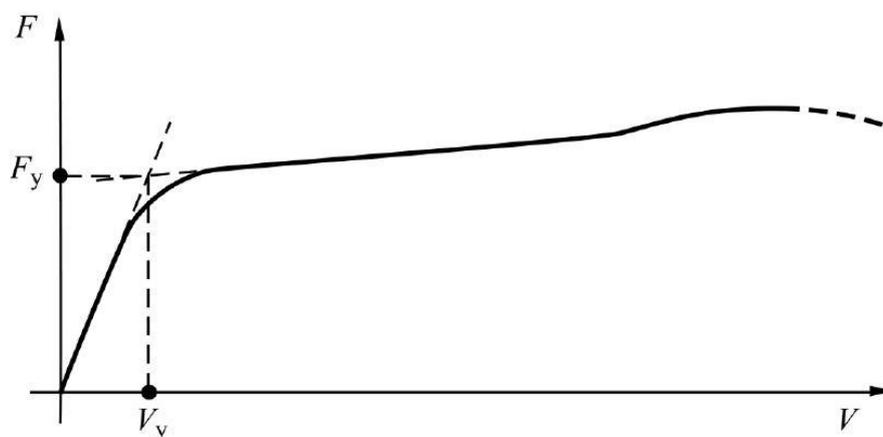


Figure 1-7 : Définition de l'effort limite pour une courbe force/flèche avec deux parties linéaires bien définies

- ✓ Le deuxième seuil consiste à reproduire le même cycle que précédemment jusqu'à un effort seuil de 40% de l'effort limite estimé.
- ✓ La suite de l'essai consiste à augmenter l'effort seuil à 60% puis 80% et 100% de l'effort limite estimé. Ces seuils de chargement seront cyclés 3 fois de manière consécutive.

Ainsi le cycle de chargement est représenté par la Figure 1-8.

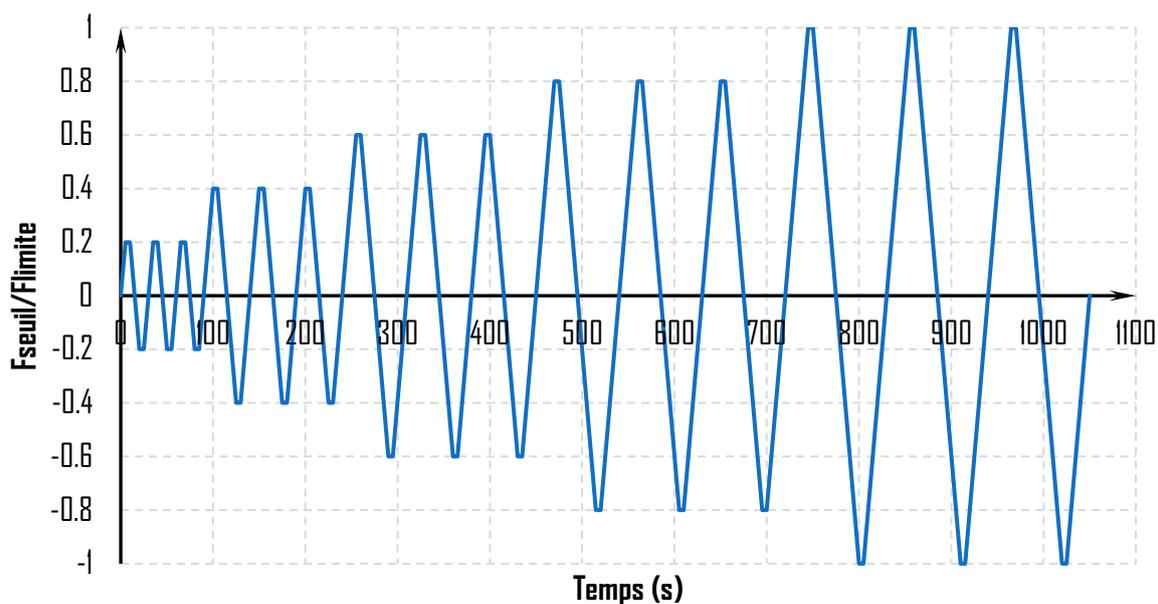


Figure 1-8 : Cycle de chargement d'un essai cyclique

Pour rappel, les figures ci-dessous présentent les résultats des essais monotones des trois configurations. Selon la norme NF EN 12512 [5], les efforts limites sont :

- Pour la configuration 6-1, l'effort limite est de 18 kN pour 8 vis
- Pour la configuration 9-1, l'effort limite est de 9,5 kN pour 4 vis
- Pour la configuration 9-2, l'effort limite est de 100 kN pour 8 vis

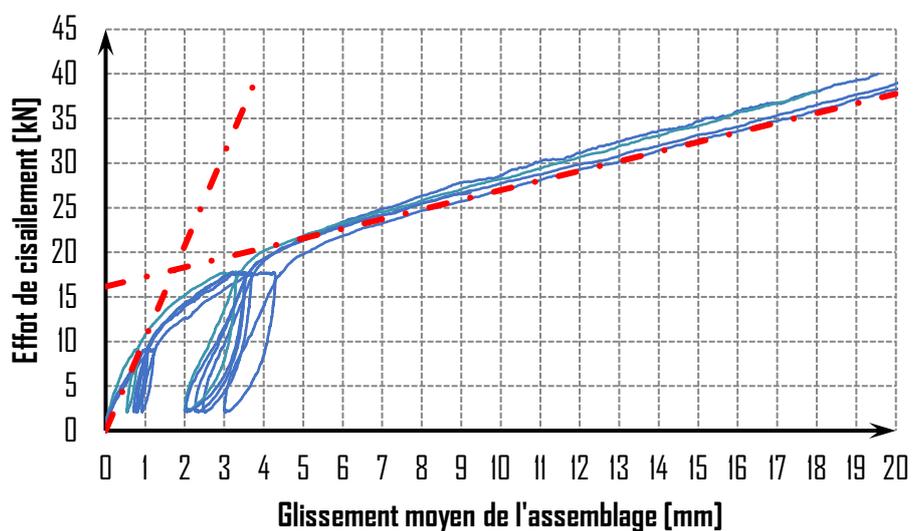


Figure 1-9 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-6-1

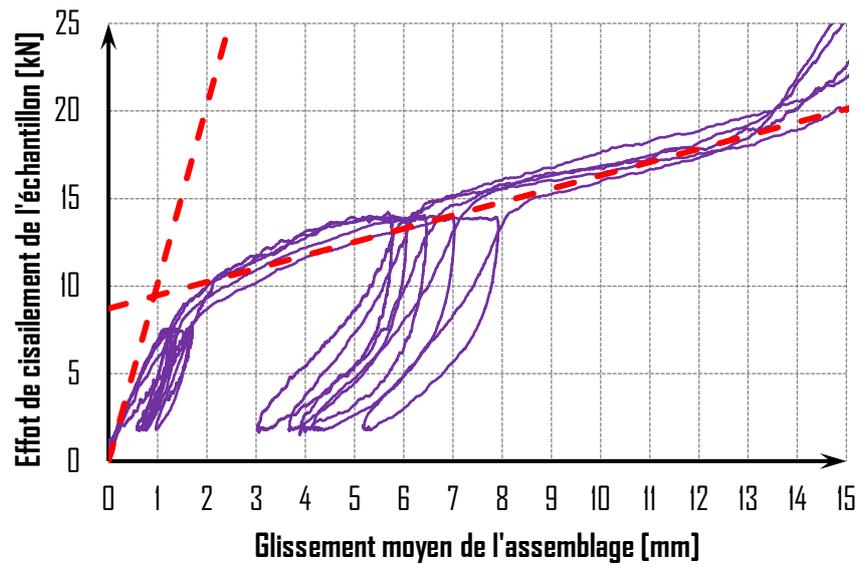


Figure I-10 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-9-1

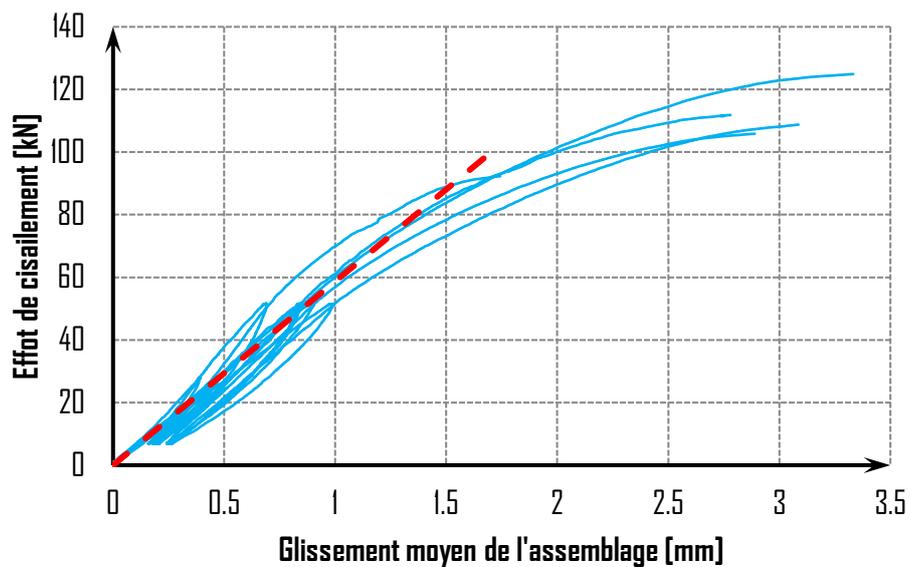


Figure I-11 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-9-2

1.5. RESULTATS

Pour chacun des essais de cisaillement sous une sollicitation alternée, il sera présenté les données matériaux et les courbes de l'effort de cisaillement (F_v) en fonction du glissement moyen longitudinal (u_{moyen})

- (F_v) : **Valeur de l'effort de cisaillement comparable à l'effort d'assemblage obtenu par essai statique [kN]** (ceci est fait afin de pouvoir comparer en direct les courbes ci-dessous aux courbes obtenues par essais statiques)
 - Pour la configuration CIS-CYCL-6-1, testée avec 8 assemblages unitaires (4 par plan de cisaillement), l'effort vérin sera directement comparable à l'effort vérin statique CIS-6-1).
 - Pour les configurations CIS-CYCL-9-1 et CIS-CYCL-9-2 testées avec 8 assemblages unitaires, l'effort vérin sera divisé par deux afin d'avoir un effort comparable aux configurations CIS-9-1 et CIS-9-2 respectives.
- **Définition du glissement moyen sur les essais expérimentaux**

Le valeur moyenne du glissement d'assemblage est définie comme étant la moyenne des déplacements des 4 capteurs LVDT.

La Figure 1-12 présente un type de courbe obtenu lors des essais alternés.

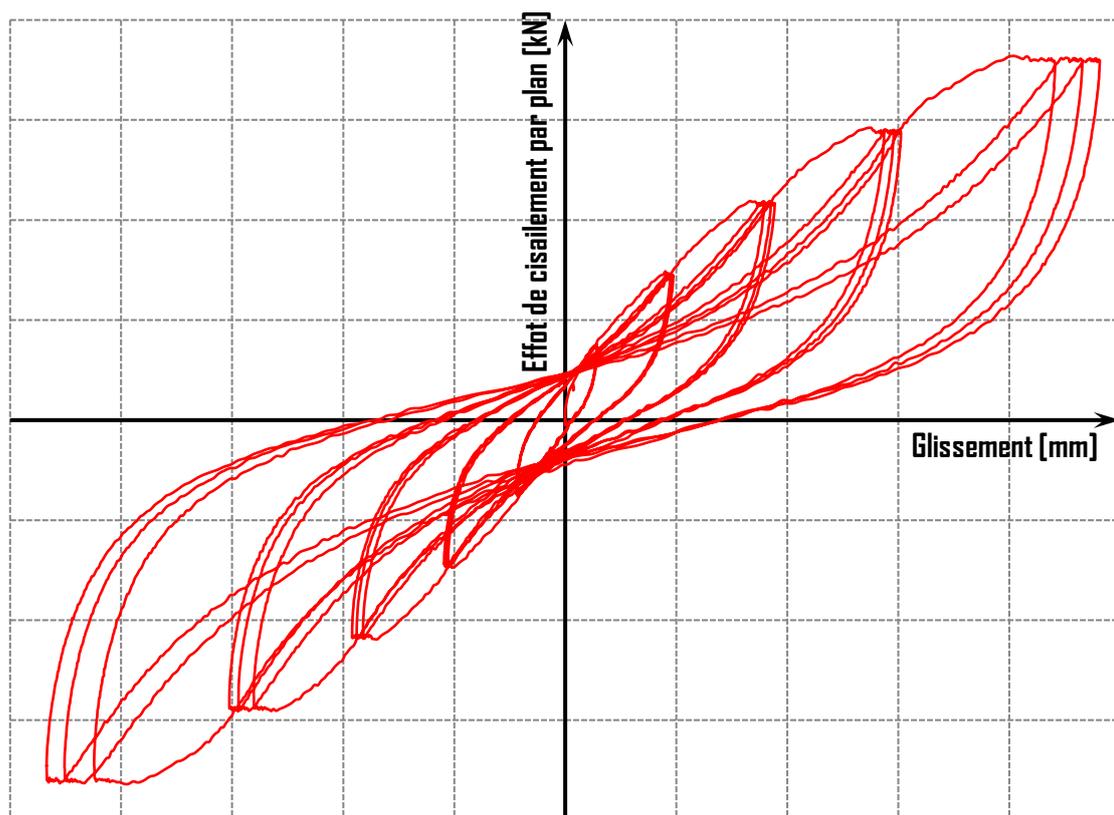


Figure 1-12 : Courbe expérimentale

1.5.1. Dépouillement des essais alternés

Conformément à l'analyse bibliographique présenté par Richard & al. [1], il est proposé d'établir des fonctions analytiques pour caractériser les courbes d'essais. Ces dernières permettent d'établir un modèle « hystérétique » du comportement de l'assemblage. Pour notre cas d'étude, il est choisi d'établir ce modèle « hystérétique » pour un assemblage unitaire, c'est-à-dire que les courbes présentées seront les courbes d'essais divisées par 8 en termes de charge, 8 étant le nombre d'assemblages unitaires testés dans chaque configuration. Le modèle « hystérétique » sera composé de deux formules, une pour décrire le comportement en chargement, l'autre pour établir le comportement en décharge.

Eu égard au cycle de chargement, il sera possible de définir les paramètres de ces deux équations pour chaque seuil de sollicitation, dans notre cas, ils seront aux nombres de 5. Ces paramètres sont identifiés sur la Figure 1-13.

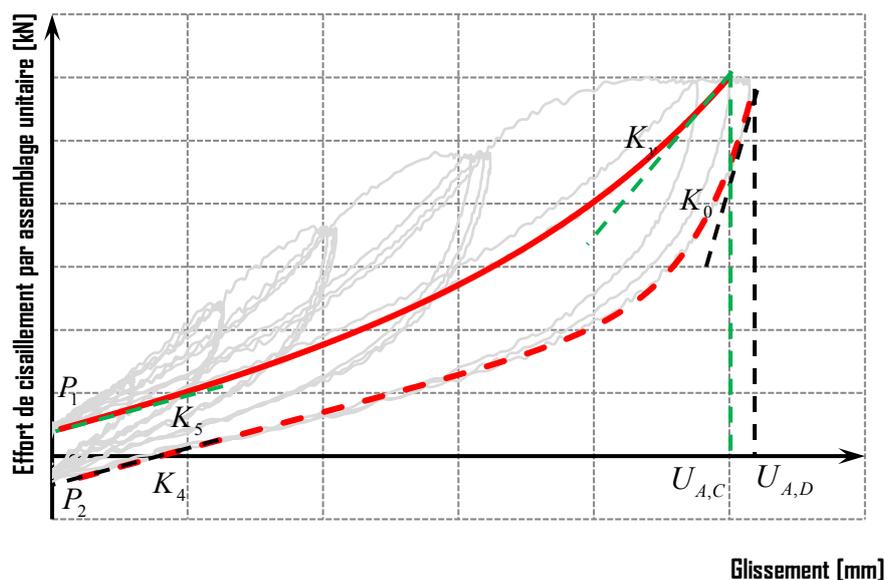


Figure 1-13 : Courbe expérimentale idéalisée

- ✓ P_1 : Valeur de l'effort de cisaillement définie à l'intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées pour le comportement en charge en [kN]
- ✓ K_5 : Valeur de la raideur initiale d'assemblage du comportement en charge en [kN/mm]
- ✓ K_y : Valeur de la raideur finale d'assemblage du comportement en charge en [kN/mm]
- ✓ $U_{A,C}$: Valeur maximale du glissement d'assemblage obtenu lors de la phase de charge en [mm]
- ✓ P_2 : Valeur de l'effort de cisaillement défini à l'intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées pour le comportement en décharge en [kN]
- ✓ K_4 : Valeur de la raideur finale d'assemblage du comportement en décharge en [kN/mm]
- ✓ K_0 : Valeur de la raideur initiale d'assemblage du comportement en décharge en [kN/mm]
- ✓ $U_{A,D}$: Valeur maximale du glissement d'assemblage obtenu lors de la phase de décharge en [mm]

Ces 8 paramètres seront définis à l'aide de la minimisation des moindres carrés sur l'ensemble du comportement étudiée.

2.- BIBLIOGRAPHIE :

- [1] AFNOR, NF EN 408+A1: Structures en bois - Bois de structure et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques. 2012.
- [2] AFNOR, NF EN 16351: Structures en bois - Bois lamellé croisé - Exigences. 2015.
- [3] AFNOR, NF EN 1994-1-1: EC4 - Eurocode 4 - Calcul des structures mixtes acier-béton - Partie 1-1 Règles générales et règles pour les bâtiments. 2005.
- [4] AFNOR, NF EN 13183-2: Teneur en humidité d'une pièce de bois scié - Partie 2 - Estimation par méthode électrique par résistance. 2002.
- [5] AFNOR, NF EN 12512 : Structures en bois - Méthodes d'essais - Essais cycliques d'assemblages réalisés par organes mécaniques. 2002.
- [6] ISO, ISO 16670: Structures en bois - Joints réalisés avec des connecteurs mécaniques - Méthode d'essai cyclique réversible quasi-statique. 2003.

1. RAP-1.1

Rapport d'essais des assemblages de panneau CLT par vis



Laboratoire d'Études et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 4370 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

RAP-1.1 : Rapport d'essais des
assemblages de panneau CLT par
vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

Ecole Nationale Supérieure
des Technologies et Industries du Bois
27, rue Philippe SEGUIN
CS60036
88026 EPINAL

Tél : 03-72-74-96-11
Fax : 03-72-74-96-38
e-mail : jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr
web : www.enstib.uhp-nancy.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - CONFECTION DES EPROUVETTES	3
2. - RESULTATS DES ESSAIS MONOTONES	5
2.1. DEMARCHE DE DEPOUILLEMENT	5
2.2. CONFIGURATION CIS-6-1	7
2.2.1. <i>Echantillon</i>	7
2.2.2. <i>Résultats</i>	10
2.2.3. <i>Analyse statistique</i>	12
2.3. - CONFIGURATION CIS-6-2	13
2.3.1. <i>Echantillon</i>	13
2.3.2. <i>Résultats</i>	16
2.3.3. <i>Analyse statistique</i>	18
2.4. - CONFIGURATION CIS-7	19
2.4.1. <i>Echantillon</i>	19
2.4.2. <i>Résultats</i>	22
2.4.3. <i>Analyse statistique</i>	24
2.5. - CONFIGURATION CIS-8	25
2.5.1. <i>Echantillon</i>	25
2.5.2. <i>Résultats</i>	28
2.5.3. <i>Analyse statistique</i>	30
2.6. - CONFIGURATION CIS-9-1	31
2.6.1. <i>Echantillon</i>	31
2.6.2. <i>Résultats</i>	34
2.6.3. <i>Analyse statistique</i>	36
2.7. - CONFIGURATION CIS-9-2	37
2.7.1. <i>Echantillon</i>	37
2.7.2. <i>Résultats</i>	40
2.7.3. <i>Analyse statistique</i>	42
3. - REACTUALISATION DU DEPOUILLEMENT	43
4. - COMPARAISON DES SOLUTIONS D'ASSEMBLAGES	44
5. - COMPARAISON ENTRE LA THEORIE ET L'EXPERIMENTAL	49
5.1. DEFINITION DU DEPLACEMENT DE REFERENCE	49
5.2. VIS PERPENDICULAIRE AU PLAN DE CISAILLEMENT	50
5.2.1. <i>Configuration 6-1</i>	51
5.2.2. <i>Configuration 7</i>	52
5.2.3. <i>Configuration 9-1</i>	53
5.3. VIS INCLINEE AU PLAN DE CISAILLEMENT	54
5.3.1. <i>Projection de l'effort latéral</i>	56
5.3.2. <i>Projection de l'effort axial</i>	57
5.3.3. <i>Détermination du comportement global</i>	58
5.3.4. <i>Comparaison des essais expérimentaux et de la démarche proposée</i>	60
6. - DEMARCHE POUR DEFINIR LA RAIDEUR SECANTE APPROPRIEE A LA SOLLICITATION D'UN ORGANE	62
7. - CONCLUSIONS	63
8. - BIBLIOGRAPHIE	64

1. – CONFECTION DES EPROUVETTES

Pour confectionner les éprouvettes, il a été décidé d'usiner les deux ou quatre éléments constituant l'assemblage de manière séparée. Un montage d'usinage a été créé sur la table du robot pour assurer le positionnement et le maintien des pièces à l'aide de serre-joints. La mise à longueur ainsi que la coupe à l'angle des surfaces d'appui ont été usinées à l'aide du portique robot 6 axes possédant une lame de scie de diamètre 400mm (cf. Figure 1-1).



Figure 1-1 : Découpe à l'angle de la face d'appui.

Un calibre à plaquettes de diamètre 120mm a été utilisé pour l'usinage des rainures et des mi-bois (cf. Figure 1-2).



Figure 1-2 : Usinage des rainures avec le calibre.

Lors du montage des échantillons d'essais, deux plaques métalliques graissées d'une épaisseur de 1 mm chacune ont été intégrées entre les faces parallèles des éléments afin de limiter le frottement induit par la composante normale de l'effort de cisaillement appliquée (cf. Figure 1-3).



Figure 1-3 : Intégration des plaques métalliques graissées.

Pour également limiter le frottement en début de chargement, un jeu de 2 mm a été intégré dans les assemblages mi-bois (cf. Figure 1-4). Pour les assemblages à rainures et languettes, 3 cales d'une épaisseur de 2 mm ont été introduites entre les éléments CLT et LVL afin de ménager ce même jeu.



Figure 1-4 : Jeu d'assemblage pour les échantillons possédant un mi-bois.

2. – RESULTATS DES ESSAIS MONOTONES

2.1. DEMARCHE DE DEPOUILLEMENT

Un rappel de la démarche de dépouillement des essais extrait du protocole d'essais monotones [1] est tout d'abord présenté. La présentation des résultats des essais est réalisée de la manière suivante :

- ✓ Courbe de l'effort de cisaillement de l'assemblage complet testé (F_v) en fonction du glissement moyen longitudinal (u_{moyen}).
- (F_v) : **Valeur totale de l'effort de cisaillement dans l'échantillon** [kN]

$$F_v = F_{vérin} \times \cos 12,8^\circ$$

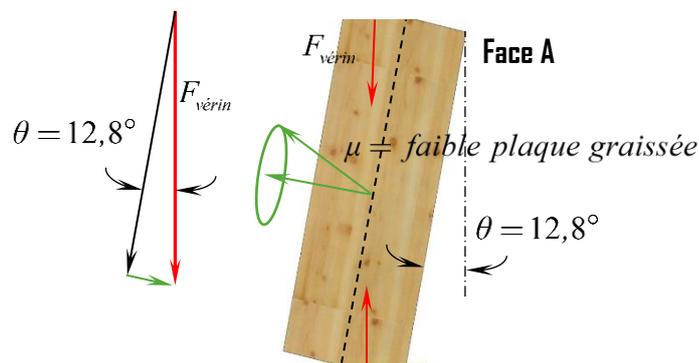


Figure 2-1 : Définition du glissement d'assemblage : identification des paramètres de calcul.

- **Définition du glissement moyen sur les essais expérimentaux**

La valeur moyenne du glissement d'assemblage est définie comme étant la moyenne des déplacements relatifs de l'objet n°1 par rapport à l'objet n°2 sur chacune des faces A et B dénommée respectivement u_A et u_B .

$$u_{moyen} = \frac{u_A + u_B}{2}$$

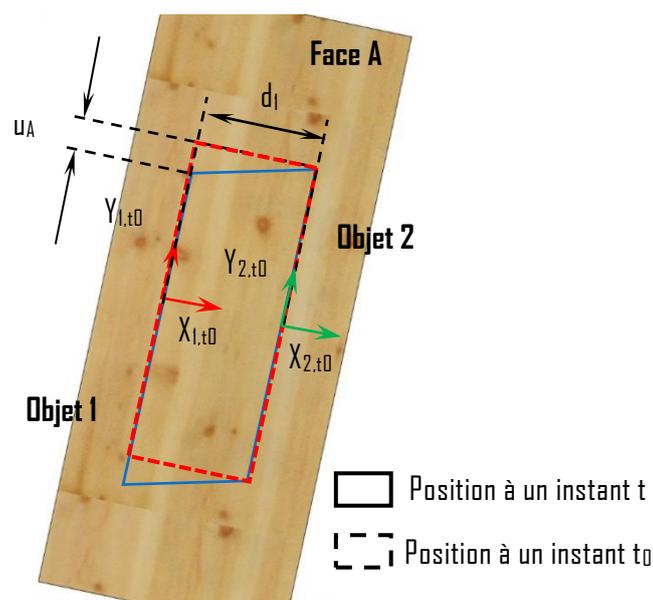


Figure 2-2 : Définition du glissement d'assemblage : identification des paramètres de calcul.

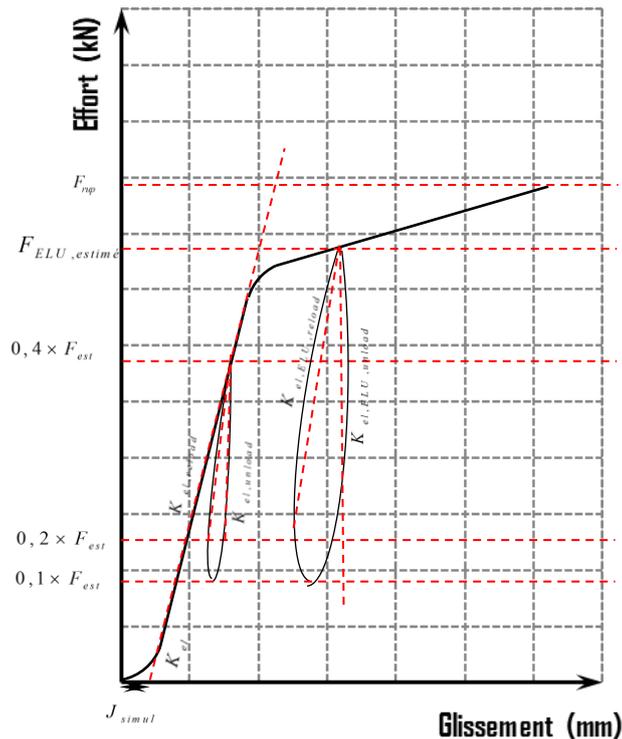


Figure 2-3 : Courbe expérimentale idéalisée

- ✓ F_{rup} : Valeur maximale de l'effort de cisaillement dans l'échantillon en [kN]
 $(F_{rup} = F_{vérin} \times \cos(12,8))$
- ✓ K_{ser} : Valeur de la raideur d'assemblage de la première montée en charge en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre les seuils de 10% et 40% de la valeur estimée de la résistance de l'assemblage du lot considéré
- ✓ $K_{el,unload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la décharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre les seuils de 20% et 40% de la valeur estimée de la résistance de l'assemblage du lot considéré
- ✓ $K_{el,reload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la recharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre les seuils de 20% et 40% de la valeur estimée de la résistance de l'assemblage du lot considéré
- ✓ $K_{el,ELU,unload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la décharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre le seuil ELU et le seuil de 20% de la valeur estimée de la résistance de l'assemblage du lot considéré
- ✓ $K_{el,ELU,reload}$: Valeur de la raideur d'assemblage de la recharge élastique en [kN/mm] définie par la valeur du coefficient directeur de la droite de régression linéaire entre le seuil ELU et le seuil de 20% de la valeur estimée de la résistance de l'assemblage du lot considéré

2.2. CONFIGURATION CIS-6-1

2.2.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-6-1 reproduit le comportement d'un assemblage rainure et languette en LVL d'une épaisseur de 27 mm avec des vis à filetage total de diamètre 8 mm et d'une longueur de 140 mm positionnées perpendiculairement au plan de cisaillement. Comme il a été évoqué dans le protocole d'essais [1], cette configuration a été doublée d'un deuxième assemblage afin d'éviter le décalage hors plan. Ainsi, l'assemblage est constitué de deux assemblages en parallèle, composés chacun de 8 vis en série. Une vue CAO est également présentée afin de visualiser la composition (cf. Figure 2-4).



Figure 2-4 : Echantillon de la configuration CIS-6-1 (Rainure et languette LVL vissée à 90°)

Pour compléter cette vue, un plan de mise en œuvre des vis est présenté en Figure 2-5. Les pincées (a_3) sont les pincées minimales au regard de la note de calculs. Les pincées (a_1) et (a_4) sont les pincées courantes de mise en œuvre discutées et validées au sein de l'atelier structure de l'ADIVBOIS.

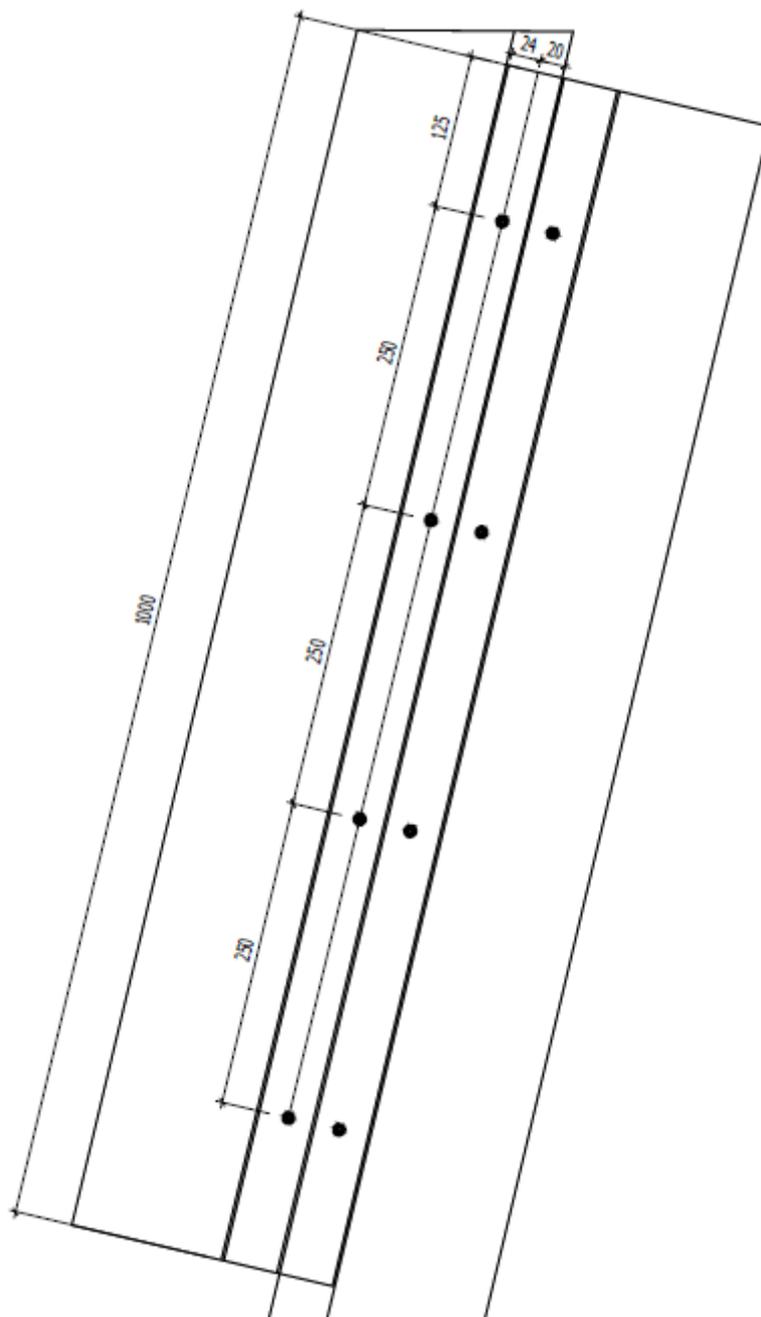


Figure 2-5 : Pinces de mise en œuvre pour la configuration G-1

Le Tableau 2-1 présente la masse volumique des éléments d'un échantillon et la moyenne de la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité.

Tableau 2-1 : Masse volumique des éléments de la configuration 6-1

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique par élément [kg/m ³]	Masse volumique moyenne [kg/m ³]
6-1	1	437	427
		419	
		426	
		428	
	2	448	455
		445	
		424	
		502	
	3	454	452
		469	
		450	
		434	
	4	408	442
		467	
		430	
		463	
	5	450	444
		456	
		421	
		450	

2.2.2. Résultats

La Figure 2-6 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage complet en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. Un comportement pseudo-linéaire est observé jusqu'à 12 kN puis un comportement plastique permettant d'aller au-delà des 15 mm de glissement comme souhaité par la norme EN 26891 [2].

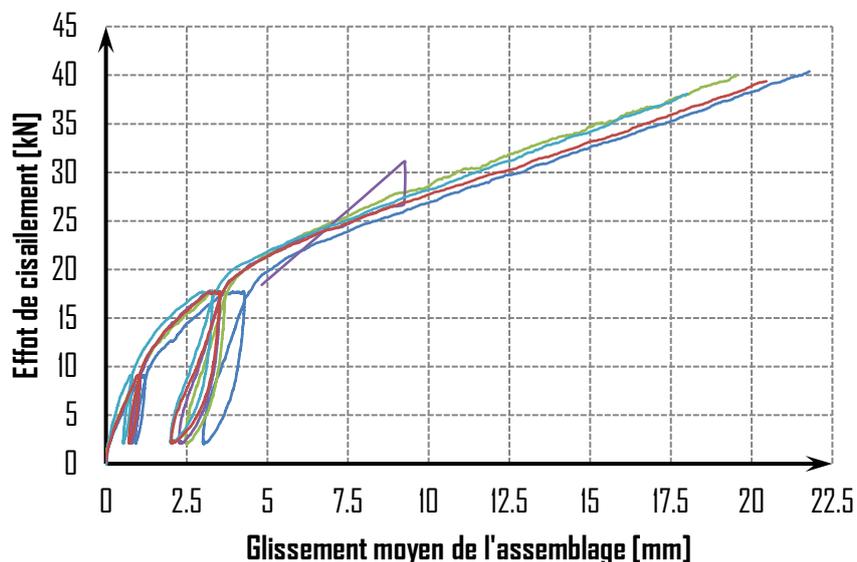


Figure 2-6 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-G-1

La Figure 2-7 présente le mode de rupture apparent observé pour ces assemblages. Ceci se traduit par une flexion des vis puis un arrachement du filetage dans la partie LVL.



Figure 2-7 : Mode de rupture extérieur des assemblages de la configuration CIS-G-1 par l'arrachement du côté de la tête

La Figure 2-8 présente un zoom sur les comportements des échantillons pour les cycles de chargement et de déchargement. Le premier cycle se situe entre 0,5 mm et 1,2 mm de glissement. Le deuxième cycle se situe entre 2 mm et 4,5 mm de glissement. Les valeurs de raideurs d'assemblage sont répertoriées dans le Tableau 2-2 selon la démarche rappelée dans ce présent rapport.

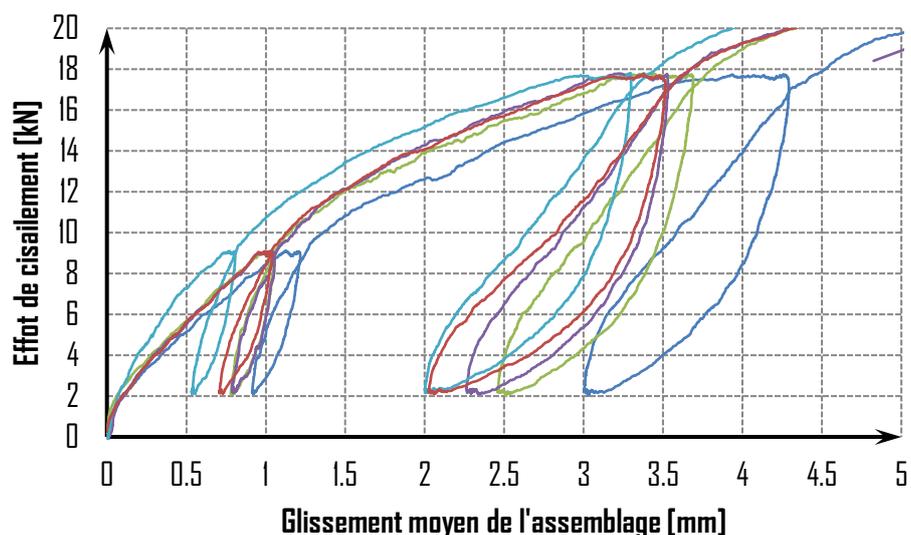


Figure 2-8 : Zoom sur les cycles de chargement et de déchargement des échantillons de la configuration CIS-6-1

Tableau 2-2 : Résultats des raideurs d'assemblage des échantillons de la configuration CIS-6-1 (kN/mm)

Echantillon	K_{ser}	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-6-1-1	6.9	39.1	15.7	18.0	9.4
CIS-6-1-2	7.5	44.3	18.5	21.0	10.4
CIS-6-1-3	7.8	45.1	18.5	19.7	10.1
CIS-6-1-4	10.6	41.0	19.7	19.6	9.9
CIS-6-1-5	7.9	37.0	16.4	17.3	8.7
Moyenne	8.15	41.31	17.75	19.11	9.70
Maximum	10.59	45.09	19.75	20.96	10.44
Minimum	6.92	36.95	15.70	17.28	8.73
Ecart type	1.42	3.44	1.67	1.48	0.67
COV	17.45%	8.32%	9.41%	7.72%	6.92%

2.2.3. Analyse statistique

L'annexe D de la norme NF EN 1990 Partie D7 [3] fournit deux approches permettant de déterminer une propriété caractéristique d'un produit, dans le cas présent, l'effort de cisaillement caractéristique. Il a été choisi que les données soient dépouillées en suivant une loi Log Normale, ce qui, comme le précise l'annexe D [3], présente l'avantage d'exclure les valeurs négatives.

La première approche suppose que le coefficient de variation (COV) V_x est inconnu tandis que la deuxième approche suppose que le COV est parfaitement connu.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs des efforts de cisaillement à rupture de l'assemblage complet sont présentées. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer une valeur caractéristique de l'effort de cisaillement des assemblages à rupture conformément au dépouillement statistique de l'Annexe D de la norme NF EN 1990 [3]. Le coefficient de variation V_x étant inférieur à 10%, il est nécessaire de passer par une approche V_x connu. Cependant, aucune analogie n'est possible. A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture selon l'équation suivante :

Tableau 2-3 : Détermination de la valeur caractéristique de l'assemblage CIS-6-1

Echantillon	mi	ln(mi)	(ln(mi)-moy) ²	N essai	kn	sy	Analogie	sy cor	ks	mk
CIS-6-1-1	32.3	3.48	3.00E-04	5	Connu	3.84%	Non	10.00%	1.80	27.45
CIS-6-1-2	34.2	3.53	1.67E-03							
CIS-6-1-3	31.1	3.44	2.96E-03							
CIS-6-1-4	33.9	3.52	1.05E-03							
CIS-6-1-5	32.8	3.49	2.26E-06							
Moyenne	32.89	3.49								
Minimum	31.13									
Maximum	34.24									
Ecart type	1.26									
COV	3.84%									

A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture de l'assemblage constitué des 8 vis selon l'équation suivante :

$$F_{v,Rk} = \exp(m_y - k_n \times 0,10) = \exp(3,49 - 1,80 \times 0,10) = 27,45kN$$

2.3. – CONFIGURATION CIS-6-2

2.3.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-6-2 reproduit le comportement d'un assemblage rainure et languette en LVL d'une épaisseur de 27 mm avec des vis à filetage total de diamètre 8 mm et d'une longueur de 200 mm, positionnées à un angle de 45° par rapport au plan de cisaillement. Comme il a été présenté dans le protocole d'essais [1], cette configuration a également été doublée d'un deuxième assemblage afin d'éviter le décalage hors plan. Ainsi, l'assemblage est constitué de deux assemblages en parallèle, composés chacun de 16 vis en série. Une vue CAD est également présentée afin de visualiser la disposition (cf. Figure 2-9).

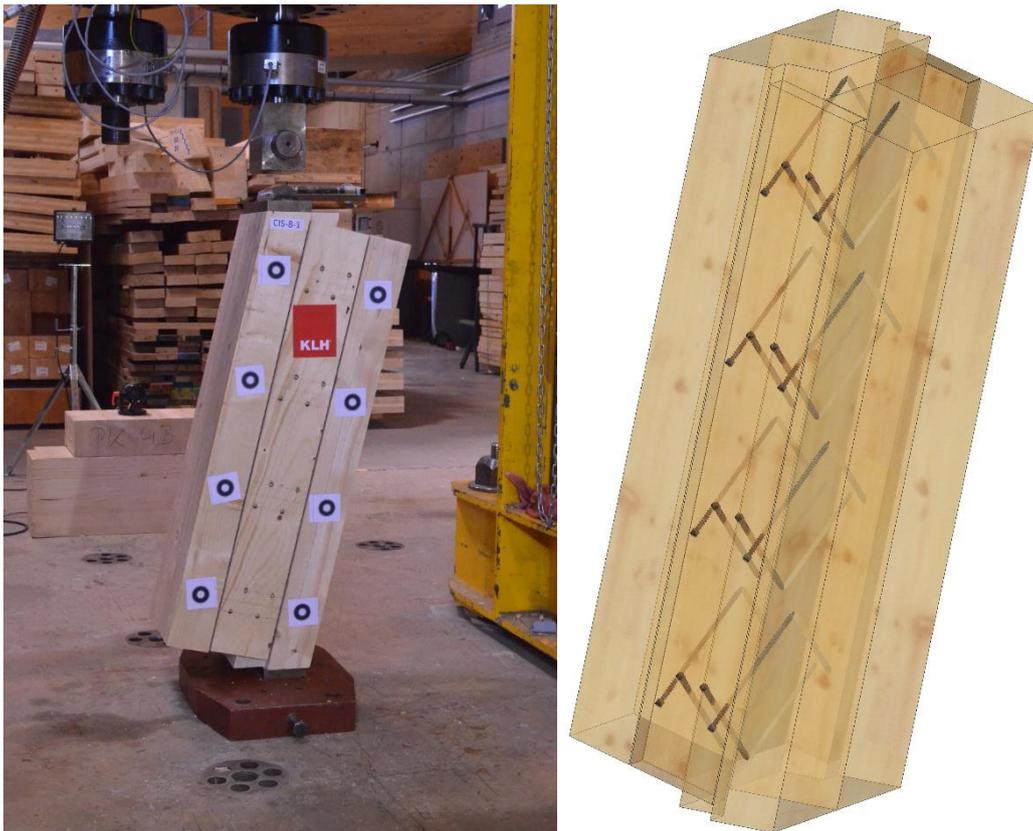


Figure 2-9 : Echantillon de la configuration CIS-6-2 (Rainure et languette LVL double vissage à 45°)

Pour compléter cette vue, un plan de mise en œuvre des vis est présenté en Figure 2-10. Les pinces (a_2) et (a_4) sont les pinces minimales au regard de la note de calculs [4]. Les pinces (a_1) et (a_3) sont les pinces courantes de mise en œuvre discutées et validées au sein de l'atelier structure de l'ADIVBOIS.

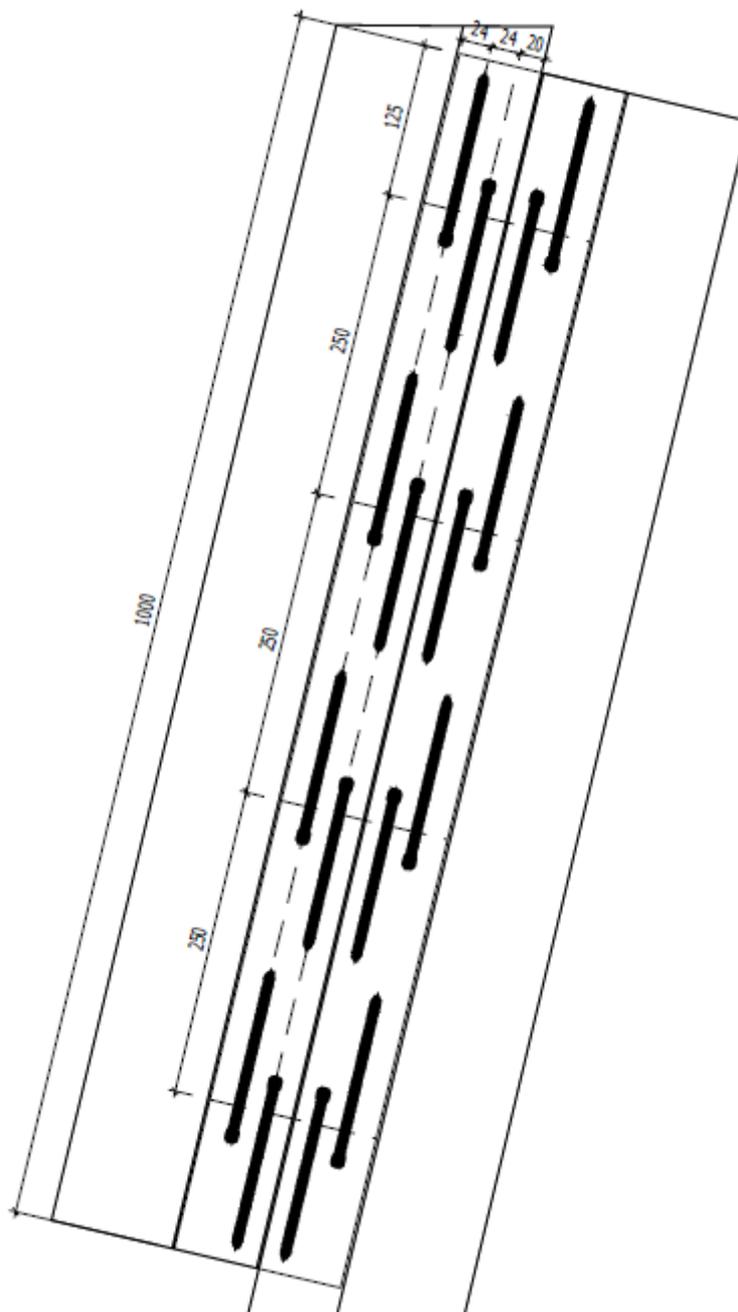


Figure 2-10 : Pinces de mise en œuvre pour la configuration G-2

Le Tableau 2-4 présente la masse volumique des éléments d'un échantillon et la moyenne de la masse volumique de l'échantillon ramené à 12% d'humidité pour la configuration 6-2

Tableau 2-4 : Masse volumique des bois de la configuration 6-2

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique par élément [kg/m ³]	Masse volumique moyenne [kg/m ³]
6.2	1	412	436
		441	
		444	
		448	
	2	446	441
		417	
		444	
		459	
	3	441	428
		394	
		426	
		453	
	4	432	445
		468	
		423	
		457	
	5	423	450
		484	
		439	
		455	

2.3.2. Résultats

La Figure 2-11 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. Un comportement linéaire est observé jusqu'à 60 kN.

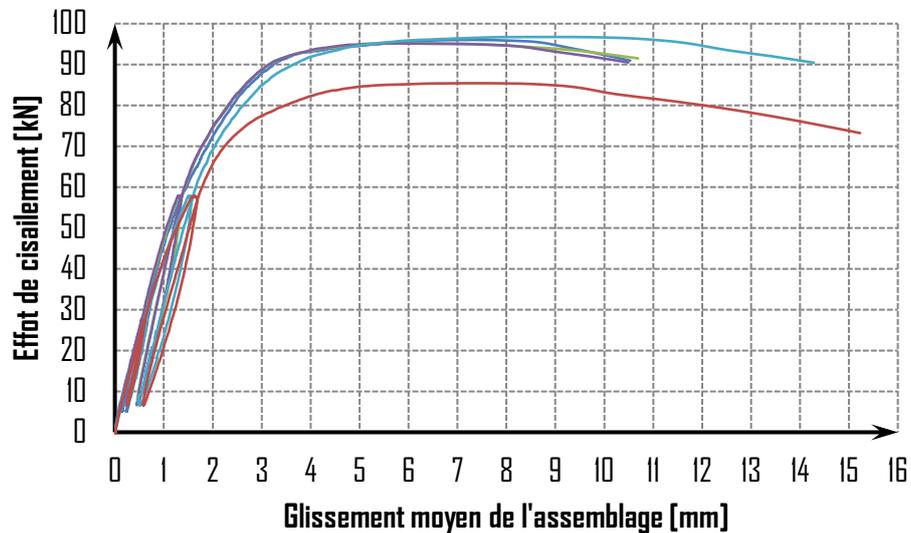


Figure 2-11 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-6-2

La Figure 2-12 présente le mode de rupture observé pour ces assemblages avec une rupture par arrachement des vis sollicitées en compression et traction sur un côté de l'assemblage.



Figure 2-12 : Mode de rupture des assemblages de la configuration CIS-6-2

La Figure 2-13 présente un zoom sur les comportements des échantillons pour les cycles de chargement et de déchargement. Le premier cycle se situe entre 0,2 mm et 0,8 mm de glissement. Le deuxième cycle se situe entre 0,4 mm et 1,7 mm de glissement. Les valeurs de raideurs d'assemblage sont répertoriées dans le Tableau 2-5 selon la démarche rappelée dans ce présent rapport.

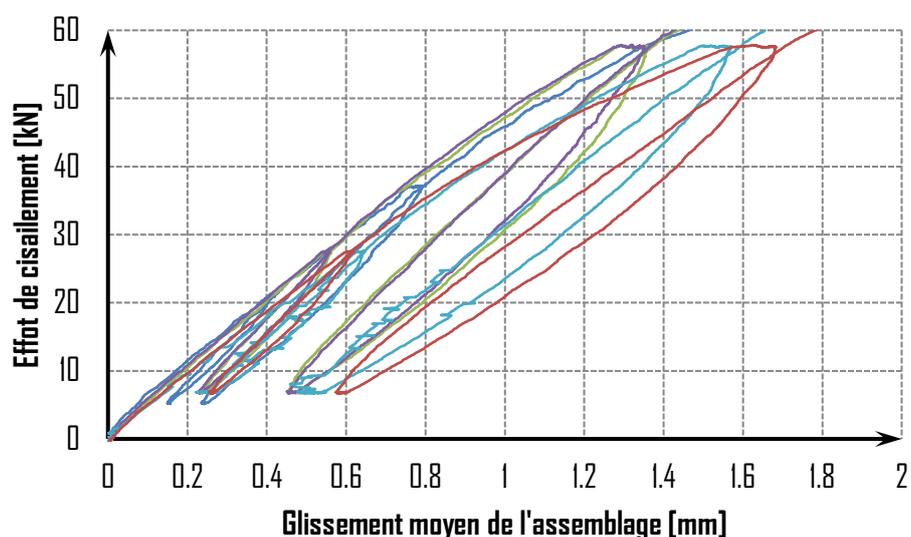


Figure 2-13 : Zoom sur les cycles de chargement et de déchargement des échantillons de la configuration CIS-6-2

Tableau 2-5 : Résultats des raideurs d'assemblage des échantillons de la configuration CIS-6-2 [kN/mm]

Echantillon	K_{ser}	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-6-2-1	47.2	68.0	57.0	61.1	54.8
CIS-6-2-2	48.9	77.2	61.7	59.4	52.7
CIS-6-2-3	49.0	74.9	62.6	60.4	54.4
CIS-6-2-4	41.5	59.4	50.7	51.6	45.2
CIS-6-2-5	44.8	68.7	55.9	49.1	42.4
Moyenne	46.28	69.64	57.58	56.33	49.92
Maximum	48.99	77.20	62.56	61.11	54.84
Minimum	41.53	59.44	50.69	49.05	42.39
Ecart type	3.15	6.94	4.79	5.57	5.72
COV	6.81%	9.97%	8.32%	9.89%	11.46%

2.3.3. Analyse statistique

L'annexe D de la norme NF EN 1990 Partie D7 [3] fournit deux approches permettant de déterminer une propriété caractéristique d'un produit, dans le cas présent, l'effort de cisaillement caractéristique. Il a été choisi que les données soient dépouillées en suivant une loi Log Normale, ce qui, comme le précise l'annexe D [3], présente l'avantage d'exclure les valeurs négatives.

La première approche suppose que le coefficient de variation (COV) V_x est inconnu tandis que la deuxième approche suppose que le COV est parfaitement connu.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs des efforts de cisaillement à rupture de l'assemblage complet sont présentées. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer une valeur caractéristique de l'effort de cisaillement des assemblages à rupture conformément au dépouillement statistique de l'Annexe D de la norme NF EN 1990 [3]. Le coefficient de variation V_x étant inférieur à 10%, il est nécessaire de passer par une approche V_x connu. Cependant, aucune analogie n'est possible.

Tableau 2-6 : Détermination de la valeur caractéristique de l'assemblage CIS-6-2

Echantillon	mi	ln(mi)	(ln(mi)-moy) ²	N essai	kn	sy	Analogie	sy cor	ks	mk
CIS-6-2-1	95.7	4.56	5.94E-04	5	Connu	4.94%	Non	10.00%	1.80	78.25
CIS-6-2-2	94.9	4.55	2.34E-04							
CIS-6-2-3	95.1	4.55	3.08E-04							
CIS-6-2-4	96.6	4.57	1.11E-03							
CIS-6-2-5	85.3	4.45	8.19E-03							
Moyenne	93.53	4.54								
Minimum	85.35									
Maximum	96.59									
Ecart type	4.62									
COV	4.94%									

A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture de l'assemblage constitué des 16 vis selon l'équation suivante :

$$F_{v,Rk} = \exp(m_y - k_n \times 0,10) = \exp(4,54 - 1,80 \times 0,10) = 78,25kN$$

2.4. – CONFIGURATION CIS-7

2.4.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-7 reproduit le comportement d'un assemblage par plaque métallique d'une épaisseur de 2mm avec des vis du type « Connecteur » à filetage total de diamètre 5 mm et d'une longueur de 50mm, positionné perpendiculairement au plan de cisaillement. Comme évoqué dans le protocole d'essais [1], cette configuration a également été doublé d'un deuxième assemblage évitant le décalage hors plan. Ainsi, l'assemblage est constitué de deux assemblages en parallèles, composés chacun de 40 vis en série. Une vue CAD est également présentée permettant de voir la composition (cf. Figure 2-14). Dans cette configuration, le frottement initial est difficilement évitable.



Figure 2-14 : Echantillon de la configuration CIS-7 (couvre joint par plaque perforée épaisseur 20/10ème vissage 90°)

Pour compléter cette vue, un plan de mise en œuvre des vis est présenté en Figure 2-15. Les pinces (a_2), (a_3) et (a_4) sont les pinces minimales imposées par la tôle métallique. Les pinces (a_1) sont les pinces courantes de mise en œuvre discutées et validées au sein de l'atelier structure de l'ADIVBOIS.

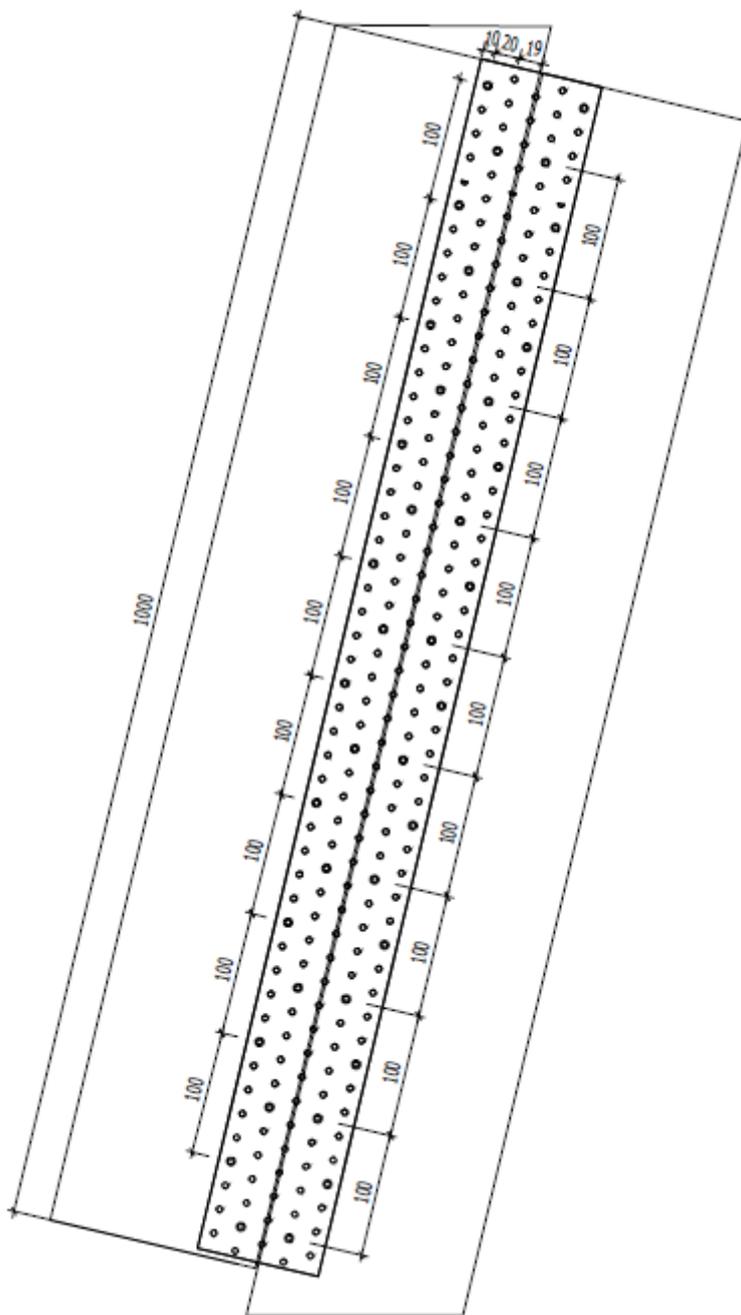


Figure 2-15 : Pincés de mise en œuvre pour la configuration 7

Le Tableau 2-7 présente la masse volumique des éléments d'un échantillon et la moyenne de la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité pour la configuration 7.

Tableau 2-7 : Masse volumique des bois de la configuration 7

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique par élément [kg/m ³]	Masse volumique moyenne [kg/m ³]
7	1	440	441
		442	
	2	430	437
		444	
	3	430	466
		502	
	4	440	434
		428	
	5	440	452
		463	

2.4.2. Résultats

La Figure 2-16 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. La plastification intervient assez tôt avec ce type d'assemblage.

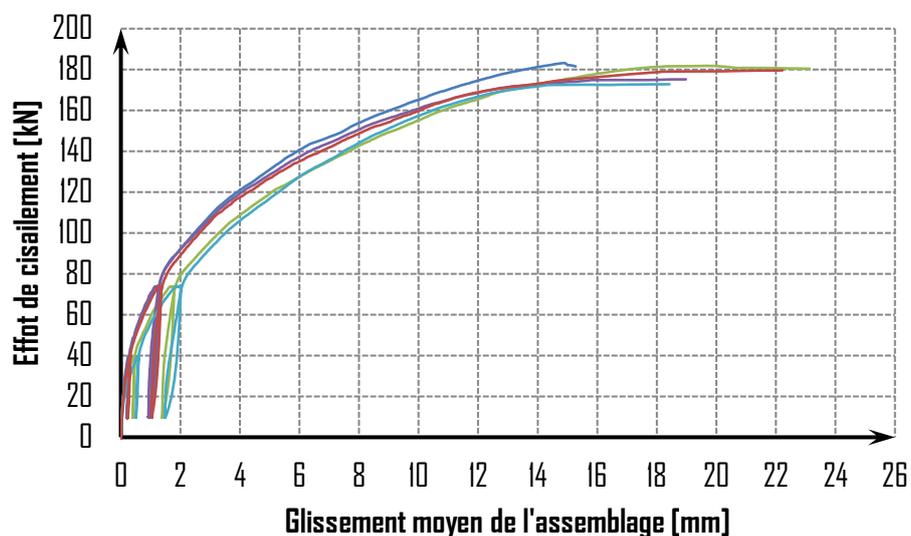


Figure 2-16 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-7

La Figure 2-17 présente le mode de rupture observé pour ces assemblages avec une rupture par cisaillement des vis au départ du filetage du côté de la tête.

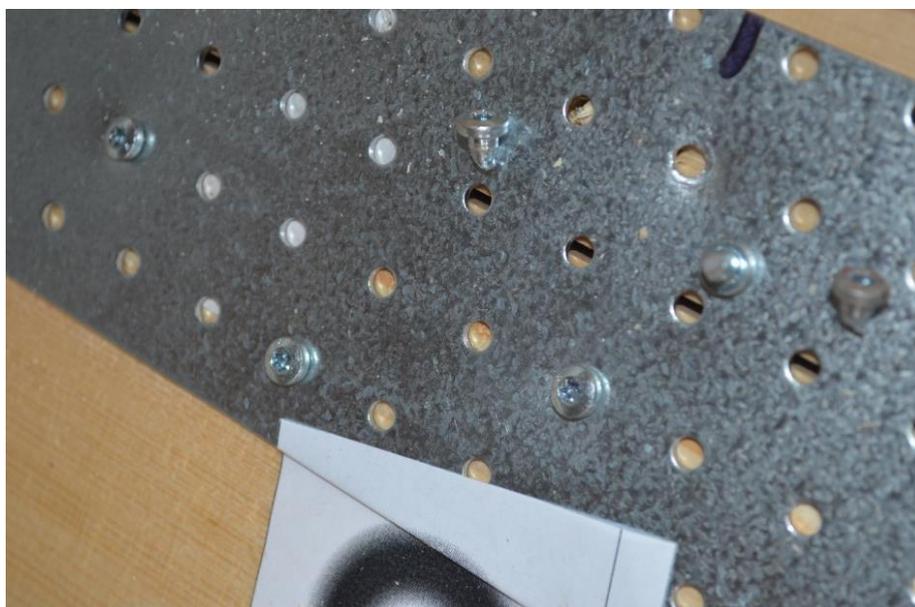


Figure 2-17 : Mode de rupture des assemblages de la configuration CIS-7 par cisaillement des vis.

La Figure 2-18 présente un zoom sur les comportements des échantillons pour les cycles de chargement et de déchargement. Le premier cycle se situe entre 0,2 mm et 0,6 mm de glissement. Le deuxième cycle se situe entre 0,7 mm et 2 mm de glissement. Ces valeurs de raideurs d'assemblage sont répertoriées dans le Tableau 2-8 selon la démarche rappelée dans ce présent rapport.

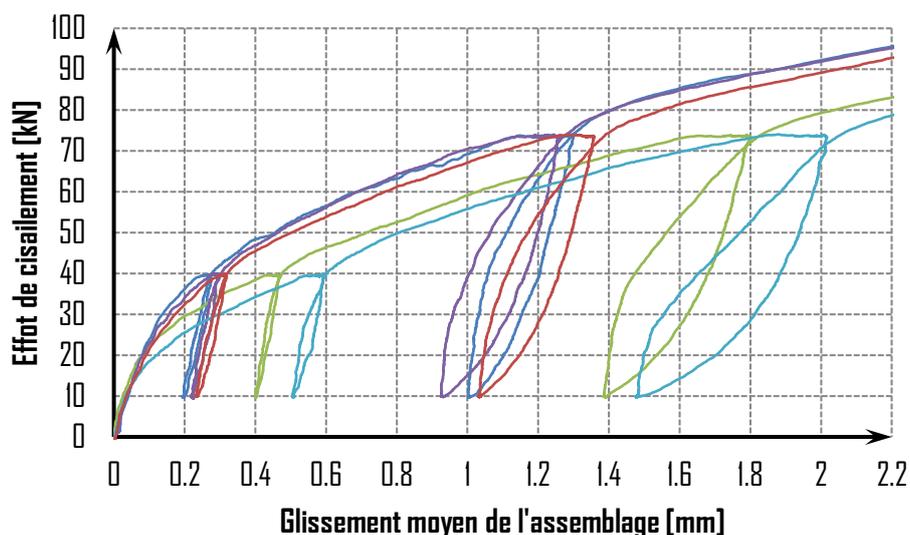


Figure 2-18 : Zoom sur les cycles de chargement et de déchargement des échantillons de la configuration CIS-7

Tableau 2-8 : Résultats des raideurs d'assemblage des échantillons de la configuration CIS-7 [kN/mm]

Echantillon	K_{ser}	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-7-1	150.3	440.9	352.4	281.7	175.5
CIS-7-2	72.0	515.0	353.1	214.7	114.9
CIS-7-3	127.8	497.5	323.7	267.0	147.2
CIS-7-4	55.4	505.6	232.7	176.9	92.5
CIS-7-5	117.2	455.2	295.6	263.6	148.4
Moyenne	104.53	482.85	311.51	240.76	135.70
Maximum	150.27	515.02	353.13	281.67	175.52
Minimum	55.36	440.92	232.72	176.87	92.49
Ecart type	39.60	32.73	50.04	43.73	32.31
COV	37.89%	6.78%	16.06%	18.16%	23.81%

2.4.3. Analyse statistique

L'annexe D de la norme NF EN 1990 Partie D7 [3] fournit deux approches permettant de déterminer une propriété caractéristique d'un produit, dans le cas présent, l'effort de cisaillement caractéristique. Il a été choisi que les données soient dépouillées en suivant une loi Log Normale, ce qui, comme le précise l'annexe D [3], présente l'avantage d'exclure les valeurs négatives.

La première approche suppose que le coefficient de variation (COV) V_x est inconnu tandis que la deuxième approche suppose que le COV est parfaitement connu.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs des efforts de cisaillement à rupture de l'assemblage complet sont présentées. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer une valeur caractéristique de l'effort de cisaillement des assemblages à rupture conformément au dépouillement statistique de l'Annexe D de la norme NF EN 1990 [3]. Le coefficient de variation V_x étant inférieur à 10%, il est nécessaire de passer par une approche V_x connu. Cependant, aucune analogie n'est possible.

Tableau 2-9 : Détermination de la valeur caractéristique de l'assemblage CIS-7

Echantillon	mi	ln(mi)	(ln(mi)-moy) ²	N essai	kn	sy	Analogie	sy cor	ks	mk
CIS-7-1	182.2	5.20	1.73E-03	5	Connu	2.45%	Non	10.00%	1.80	145,47
CIS-7-2	174.2	5.16	1.04E-05							
CIS-7-3	172.7	5.15	1.40E-04							
CIS-7-4	171.2	5.14	4.31E-04							
CIS-7-5	173.8	5.16	3.39E-05							
Moyenne	174.84	5.16								
Minimum	171.21									
Maximum	182.23									
Ecart type	4.29									
COV	2.45%									

A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture de l'assemblage constitué de 40 vis selon l'équation suivante :

$$F_{v,Rk} = \exp(m_y - k_n \times 0,10) = \exp(5,16 - 1,80 \times 0,10) = 145,47 \text{ kN}$$

2.5. – CONFIGURATION CIS-8

2.5.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-8 reproduit le comportement d'un assemblage avec uniquement des vis de diamètre 8 mm et de 240mm de longueur, positionnées dans la diagonale d'un cube de 140 mm de côté. Ainsi, l'assemblage est constitué d'un assemblage de 8 vis en série. Une vue CAD est également présentée permettant de voir la disposition des organes dans l'assemblage (cf. Figure 2-19).



Figure 2-19 : Echantillon de la configuration CIS-8 (vis inclinée à $2 \times 45^\circ$ sur bord franc)

Pour compléter cette vue, un plan de mise en œuvre des vis est présenté en Figure 2-20. Les pinces (a_1) et (a_3) sont les pinces courantes de mise en œuvre discutées et validées au sein de l'atelier structure de l'ADIVBOIS.

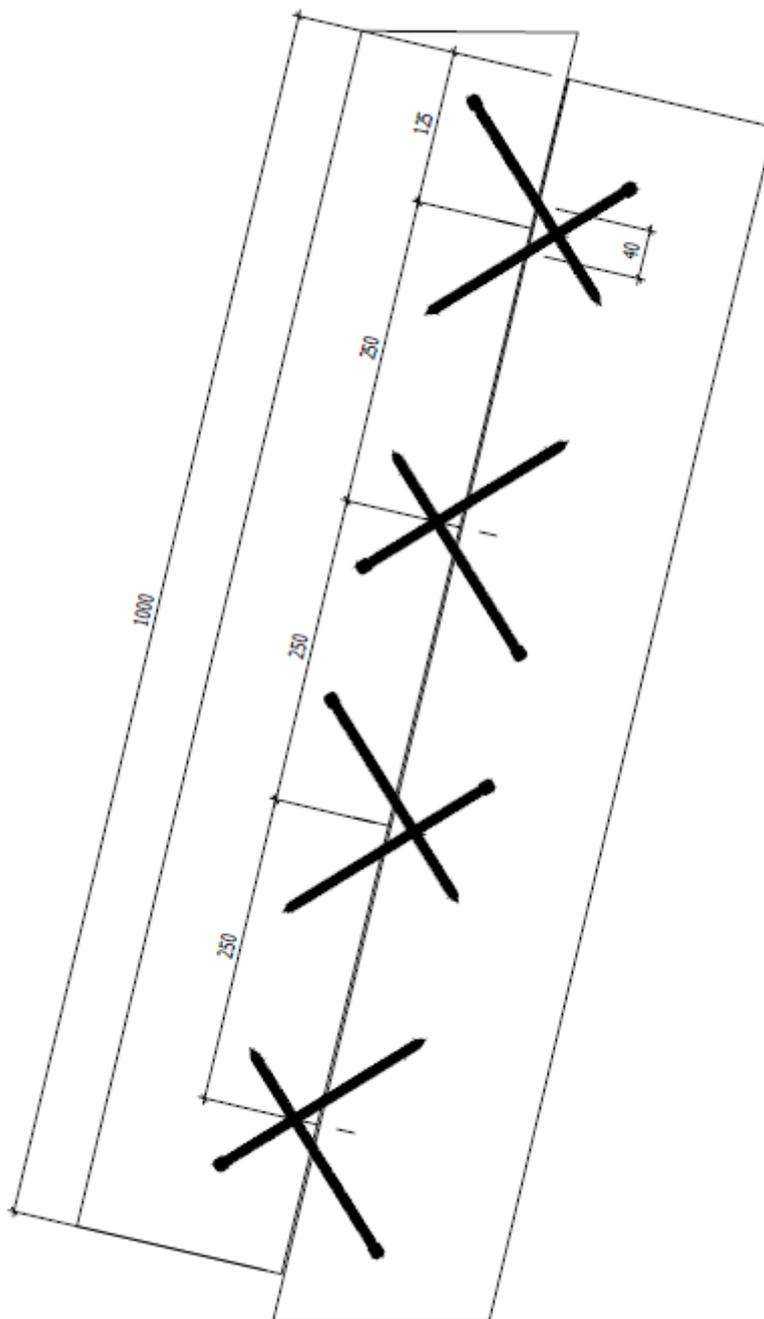


Figure 2-20 : Pinces de mise en œuvre pour la configuration 8

Le Tableau 2-10 présente la masse volumique des éléments d'un échantillon et la moyenne de la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité.

Tableau 2-10 : Masse volumique des bois de la configuration 8

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique par élément [kg/m ³]	Masse volumique moyenne [kg/m ³]
8	1	434	448
		461	
	2	492	477
		463	
	3	442	437
		432	
	4	477	473
		469	
	5	436	439
		442	

2.5.2. Résultats

La Figure 2-21 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. Un comportement linéaire est observé jusqu'à 40 kN puis un comportement plastique jusqu'à 3 mm de glissement.

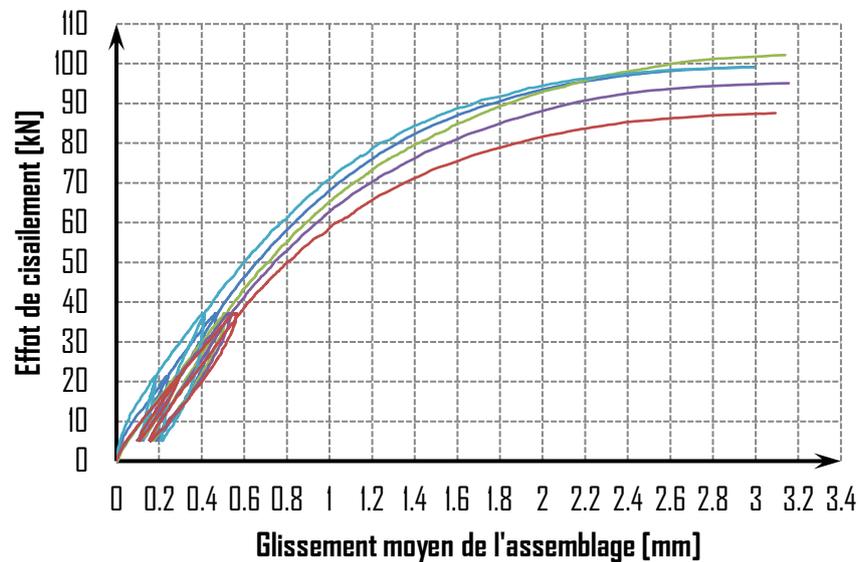


Figure 2-21 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-8

La Figure 2-17 présente le mode de rupture observé pour ces assemblages avec une rupture par arrachement des vis sollicitées en compression et en traction. Cette rupture intervient autour du filetage soit du côté de la pointe soit du côté de la tête.

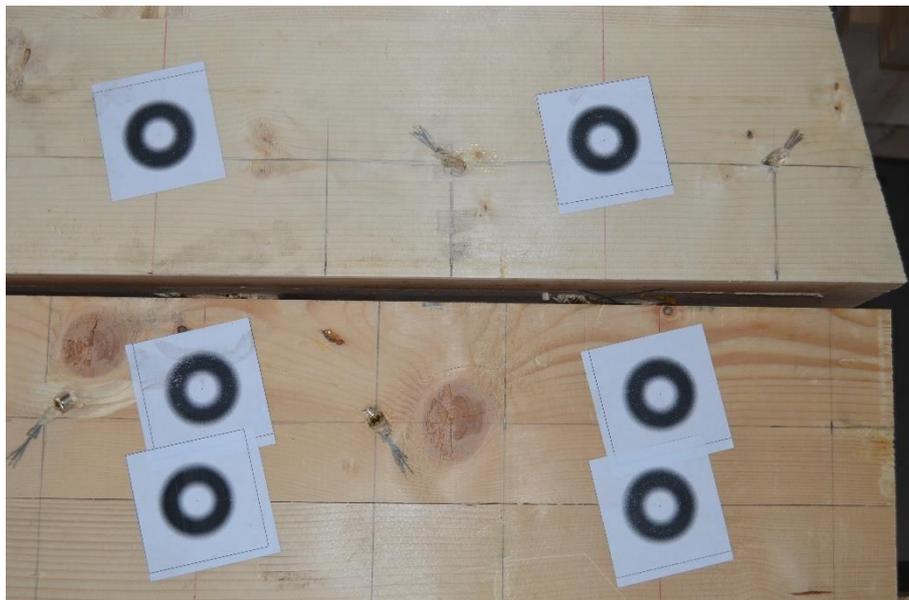


Figure 2-22 : Mode de rupture des assemblages de la configuration CIS-8 par arrachement du bois autour du filetage.

La Figure 2-23 présente un zoom sur les comportements des échantillons pour les cycles de chargement et de déchargement. Le premier cycle se situe entre 0,1 mm et 0,3 mm de glissement. Le deuxième cycle se situe entre 0,1 mm et 0,6 mm de glissement. Ces valeurs de raideurs d'assemblage sont répertoriées dans le Tableau 2-11 selon la démarche rappelée dans ce présent rapport.

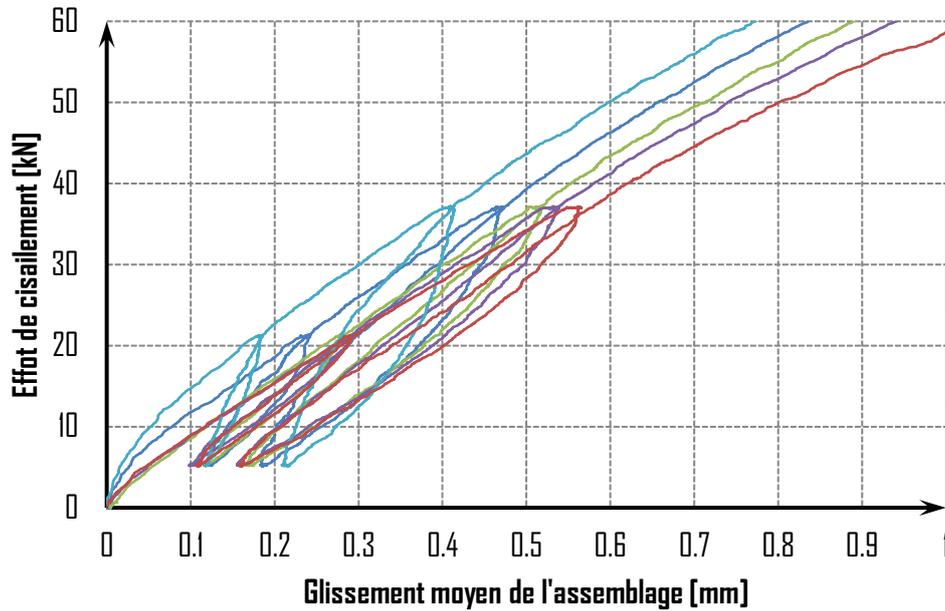


Figure 2-23 : Zoom sur les cycles de chargement et de déchargement des échantillons de la configuration CIS-8

Tableau 2-11 : Résultats des raideurs d'assemblage des échantillons de la configuration CIS-8 [kN/mm]

Echantillon	K_{ser}	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-8-1	73.8	173.5	112.3	121.7	97.3
CIS-8-2	72.9	115.3	89.3	98.0	87.1
CIS-8-3	66.6	93.7	80.8	89.9	81.0
CIS-8-4	95.5	311.7	197.9	201.2	133.8
CIS-8-5	65.8	97.6	78.6	82.8	72.1
Moyenne	74.90	158.37	111.76	118.72	94.28
Maximum	95.45	311.68	197.86	201.24	133.82
Minimum	65.75	93.66	78.56	82.77	72.09
Ecart type	12.04	91.46	49.96	48.40	23.94
COV	16.08%	57.75%	44.70%	40.77%	25.39%

2.5.3. Analyse statistique

L'annexe D de la norme NF EN 1990 Partie D7 [3] fournit deux approches permettant de déterminer une propriété caractéristique d'un produit, dans le cas présent, l'effort de cisaillement caractéristique. Il a été choisi que les données soient dépouillées en suivant une loi Log Normale, ce qui, comme le précise l'annexe D [3], présente l'avantage d'exclure les valeurs négatives.

La première approche suppose que le coefficient de variation (COV) V_x est inconnu tandis que la deuxième approche suppose que le COV est parfaitement connu.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs des efforts de cisaillement à rupture de l'assemblage complet sont présentées. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer une valeur caractéristique de l'effort de cisaillement des assemblages à rupture conformément au dépouillement statistique de l'Annexe D de la norme NF EN 1990 [3]. Le coefficient de variation V_x étant inférieur à 10%, il est nécessaire de passer par une approche V_x connu. Cependant, aucune analogie n'est possible.

Tableau 2-12 : Détermination de la valeur caractéristique de l'assemblage CIS-8

Echantillon	mi	ln(mi)	(ln(mi)-moy) ²	N essai	kn	sy	Analogie	sy cor	ks	mk
CIS-8-1	98.9	4.59	7.75E-04	5	Connu	5.86%	Non	10.00%	1.80	79.83
CIS-8-2	101.8	4.62	3.23E-03							
CIS-8-3	94.8	4.55	2.15E-04							
CIS-8-4	98.9	4.59	7.48E-04							
CIS-8-5	87.3	4.47	9.49E-03							
Moyenne	96.32	4.56								
Minimum	87.26									
Maximum	101.81									
Ecart type	5.65									
COV	5.87%									

A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture de l'assemblage constitué de 8 vis selon l'équation suivante :

$$F_{v,Rk} = \exp(m_y - k_n \times 0,10) = \exp(4,56 - 1,80 \times 0,10) = 79,83kN$$

2.6. – CONFIGURATION CIS-9-1

2.6.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-9-1 reproduit le comportement d'un assemblage mi-bois comportant des vis de diamètre 8 mm et de 140 mm de longueur, positionnées perpendiculairement au plan de cisaillement. Ainsi, l'assemblage est constitué d'un assemblage de 4 vis en série. Une vue CAO est également présentée permettant de voir la composition (cf. Figure 2-24).



Figure 2-24 : Echantillon de la configuration CIS-9-1 (assemblage à mi-bois des panneaux et vissage à 90°)

Pour compléter cette vue, un plan de mise en œuvre des vis est présenté en Figure 2-25. Les pinces (a_3) sont les pinces minimales au regard de la note de calculs. Les pinces (a_1) et (a_4) sont les pinces courantes de mise en œuvre discutées et validées au sein de l'atelier structure de l'ADIVBOIS.

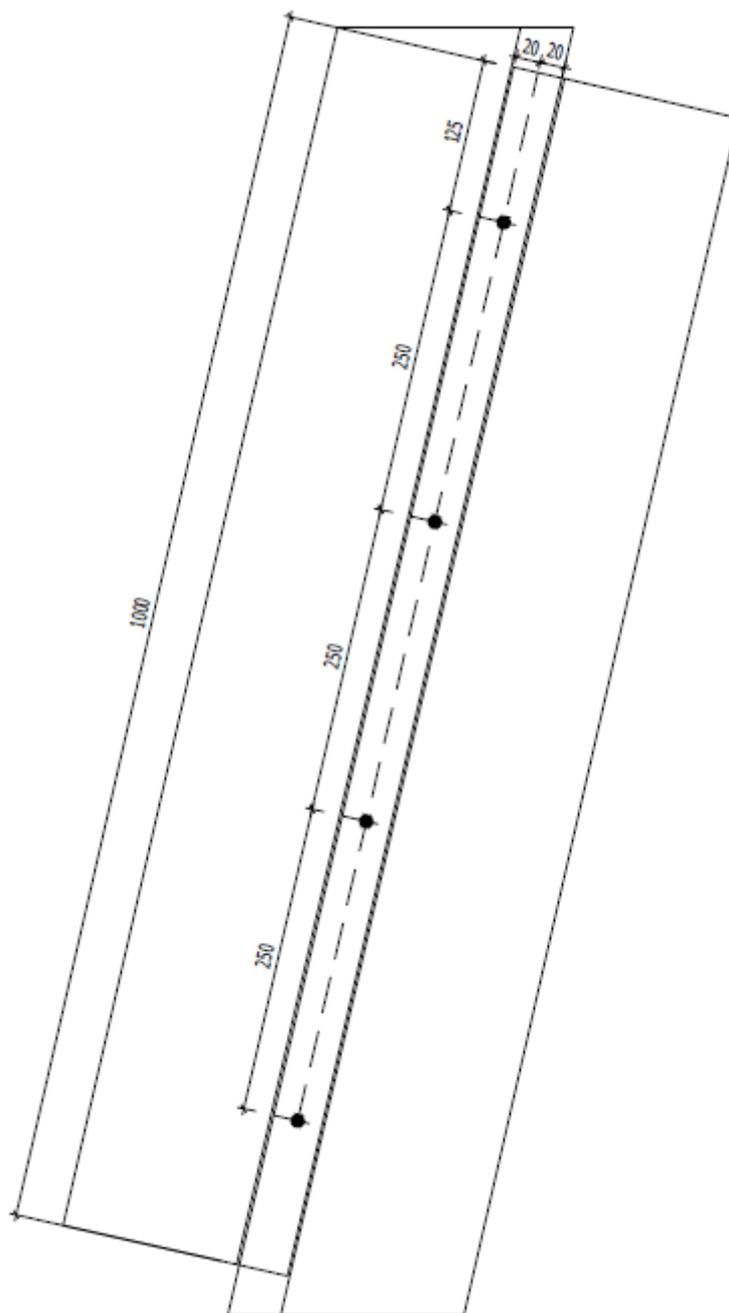


Figure 2-25 : Pinces de mise en œuvre pour la configuration 9-1

Le Tableau 2-13 présente la masse volumique des éléments d'un échantillon et la moyenne de la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité.

Tableau 2-13 : Masse volumique des bois de la configuration 9-1

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique par élément [kg/m ³]	Masse volumique moyenne [kg/m ³]
9.1	1	469	459
		449	
	2	443	447
		451	
	3	475	464
		453	
	4	467	458
		449	
	5	463	443
		422	

2.6.2. Résultats

La Figure 2-26 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. Un comportement linéaire est observé jusqu'à 8 kN puis un comportement plastique permettant d'aller au-delà des 15 mm de glissement comme souhaité par la norme EN 26891 [2]. L'accroissement observé à partir de 12 mm de glissement survient après la mise en contact des deux surfaces bois intégrant ainsi le frottement de l'assemblage : c'est ce qui est connu sous le nom d'effet de corde

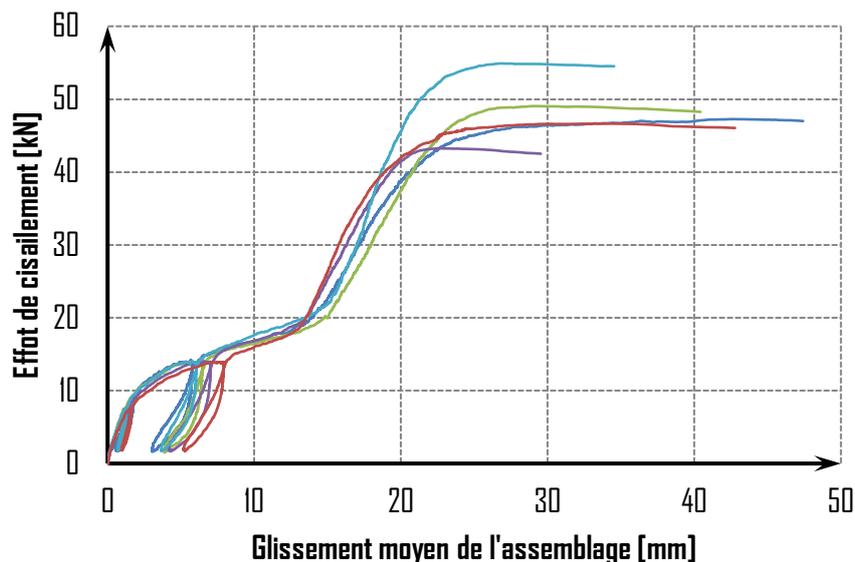


Figure 2-26 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-9-1

La Figure 2-27 présente le mode de rupture observé pour ces assemblages avec une rupture par plastification des vis en mode 3.



Figure 2-27 : Mode de rupture des assemblages de la configuration CIS-9-1

La Figure 2-28 présente un zoom sur les comportements des échantillons pour les cycles de chargement et de déchargement. Le premier cycle se situe entre 0,5 mm et 1,7 mm de glissement. Le deuxième cycle se situe entre 3 mm et 8 mm de glissement. Ces valeurs de raideurs d'assemblage sont répertoriées dans le Tableau 2-14 selon la démarche rappelée dans ce présent rapport.

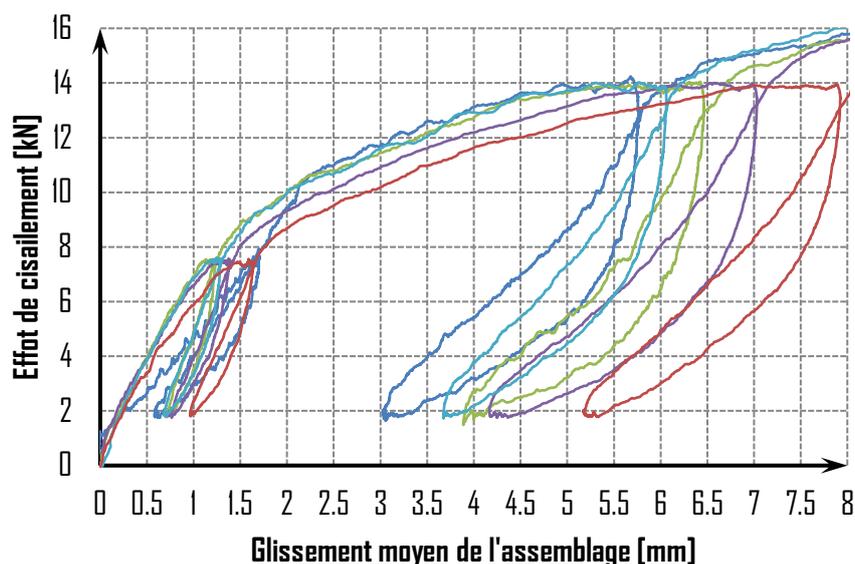


Figure 2-28 : Zoom sur les cycles de chargement et de déchargement des échantillons de la configuration CIS-9-1

Tableau 2-14 : Résultats des raideurs d'assemblage des échantillons de la configuration CIS-9-1 [kN/mm]

Echantillon	K_{ser}	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-9-1-1	4.1	8.7	5.4	7.0	3.9
CIS-9-1-2	6.3	16.1	10.8	8.8	4.6
CIS-9-1-3	5.4	14.5	8.7	6.9	4.1
CIS-9-1-4	6.0	14.9	8.9	7.2	4.7
CIS-9-1-5	4.7	13.7	7.9	6.1	4.1
Moyenne	5.30	13.57	8.32	7.21	4.27
Maximum	6.28	16.06	10.75	8.84	4.68
Minimum	4.06	8.68	5.38	6.10	3.91
Ecart type	0.92	2.86	1.96	1.00	0.35
COV	17.38%	21.08%	23.52%	13.89%	8.13%

2.6.3. Analyse statistique

Au regard de la cinématique de fonctionnement de ce type d'échantillon, il a été décidé d'extrapoler la courbe d'essai en s'abstenant de l'effet de corde qui intervient au voisinage des 12 mm de glissement. Ainsi, les valeurs du tableau ci-dessous, présente ces valeurs d'effort. La valeur caractéristique pourra être comparée à la valeur caractéristique de l'analyse limite selon la norme NF EN 1995-1-1 [5].

L'annexe D de la norme NF EN 1990 Partie D7 [3] fournit deux approches permettant de déterminer une propriété caractéristique d'un produit, dans le cas présent, l'effort de cisaillement caractéristique. Il a été choisi que les données soient dépouillées en suivant une loi Log Normale, ce qui, comme le précise l'annexe D [3], présente l'avantage d'exclure les valeurs négatives.

La première approche suppose que le coefficient de variation (COV) V_x est inconnu tandis que la deuxième approche suppose que le COV est parfaitement connu.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs des efforts de cisaillement à rupture de l'assemblage complet sont présentées. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer une valeur caractéristique de l'effort de cisaillement des assemblages à rupture conformément au dépouillement statistique de l'Annexe D de la norme NF EN 1990 [3]. Le coefficient de variation V_x étant supérieur à 10%, il est nécessaire de passer par une approche V_x inconnu.

Tableau 2-15 : Détermination de la valeur caractéristique de l'assemblage CIS-9-1

Echantillon	m_i	$\ln(m_i)$	$(\ln(m_i) - \text{moy})^2$	N essai	k_n	s_y	Analogie	$s_y \text{ cor}$	k_s	m_k
CIS-9-1-1	22.4	3.11	6.89E-03	5	Connu	5.84%	Non	10.00%	1.80	17.25
CIS-9-1-2	19.5	2.97	3.30E-03							
CIS-9-1-3	20.6	3.02	2.33E-05							
CIS-9-1-4	21.2	3.06	7.84E-04							
CIS-9-1-5	19.7	2.98	2.38E-03							
Moyenne	20.68	3.03								
Minimum	19.50									
Maximum	22.44									
Ecart type	1.21									
COV	5.84%									

A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture de l'assemblage constitué de 4 vis selon l'équation suivante :

$$F_{v,Rk} = \exp(m_y - k_n \times 0,10) = \exp(3,03 - 1,80 \times 0,10) = 17,25kN$$

2.7. - CONFIGURATION CIS-9-2

2.7.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-9-2 reproduit le comportement d'un assemblage mi-bois comportant des vis de diamètre 8mm et de 200mm de longueur, positionnées à une inclinaison de 45° par rapport au plan de cisaillement. Ainsi, l'assemblage est constitué d'un assemblage de 8 vis en série. Une vue CAD est également présentée permettant de voir la composition (cf. Figure 2-29).



Figure 2-29 : Echantillon de la configuration CIS-9-2 (assemblage à mi-bois, vissage 45° croisé)

Pour compléter cette vue, un plan de mise en œuvre des vis est présenté en Figure 2-10. Les pinces (a_2) et (a_4) sont les pinces minimales au regard de la note de calculs [4]. Les pinces (a_1) et (a_3) sont les pinces courantes de mise en œuvre discutées et validées au sein de l'atelier structure de l'ADIVBOIS.

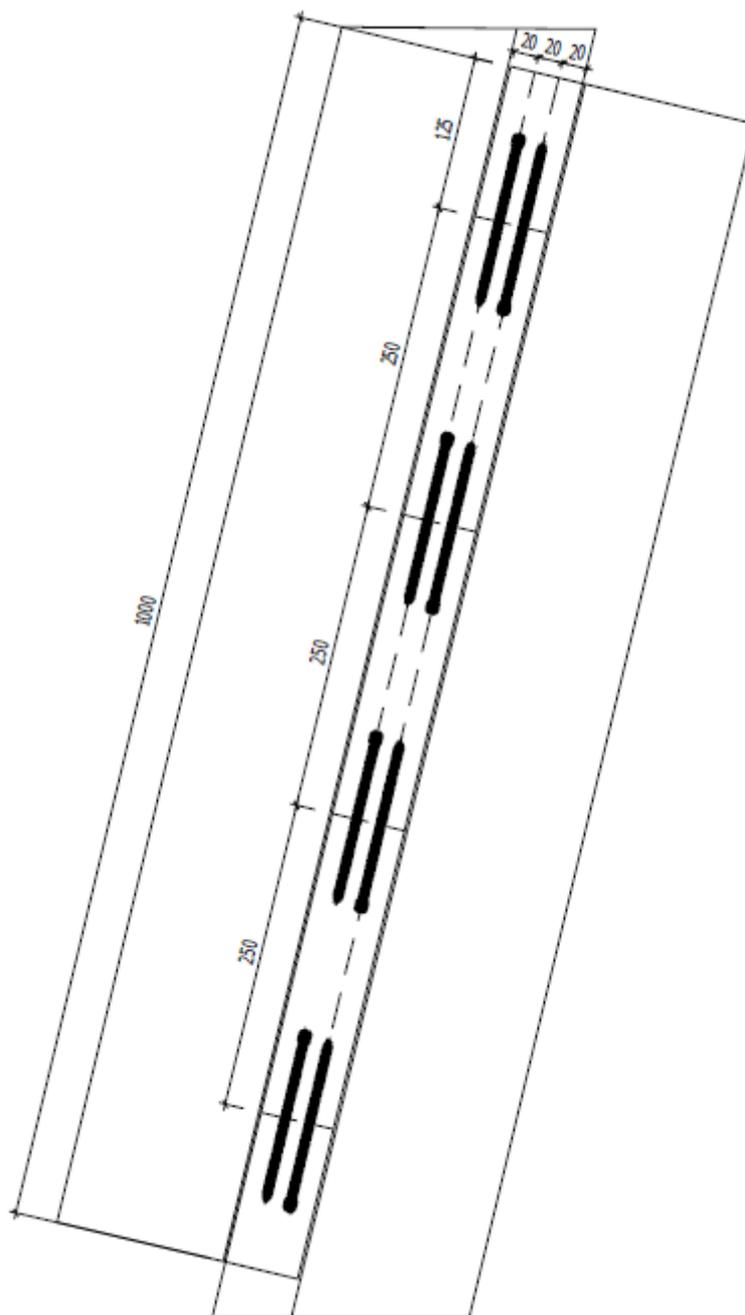


Figure 2-30 : Pincés de mise en œuvre pour la configuration 9-2

Le Tableau 2-16 présente la masse volumique des éléments d'un échantillon et la moyenne de la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité pour la configuration 9-2.

Tableau 2-16 : Masse volumique des bois de la configuration 9-2

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique par élément [kg/m ³]	Masse volumique moyenne [kg/m ³]
9.1	1	469	459
		449	
	2	443	447
		451	
	3	475	464
		453	
	4	467	458
		449	
	5	463	443
		422	

2.7.2. Résultats

La Figure 2-31 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. Un comportement linéaire est observé jusqu'à 50 kN puis un comportement plastique allant jusqu'à 3 mm de glissement, excepté pour un essai.

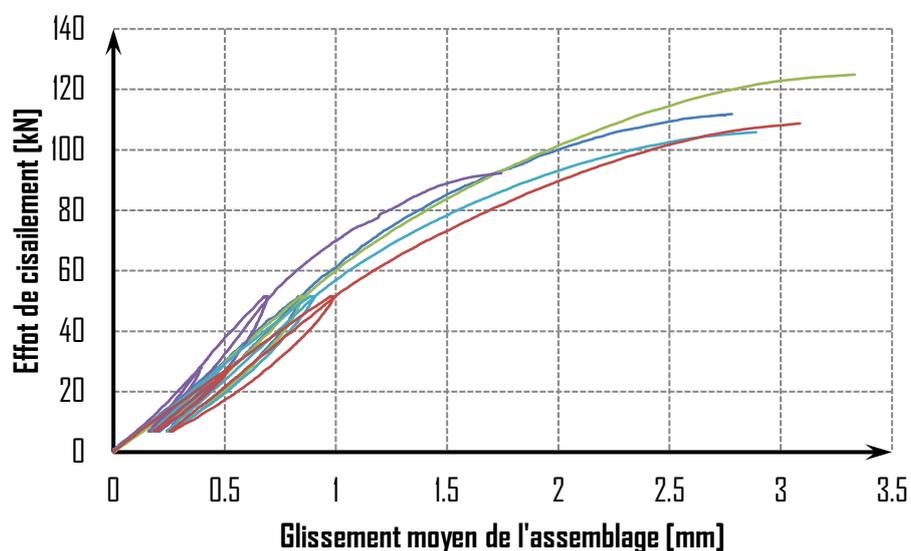


Figure 2-31 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-9-2

La Figure 2-32 présente le mode de rupture observé pour ces assemblages avec une rupture par arrachement des vis sollicitées en compression et en traction. Cette rupture est provoquée par la rupture en cisaillement du filetage soit du côté de la pointe soit du côté de la tête (cf. Figure 2-32 Zoom).

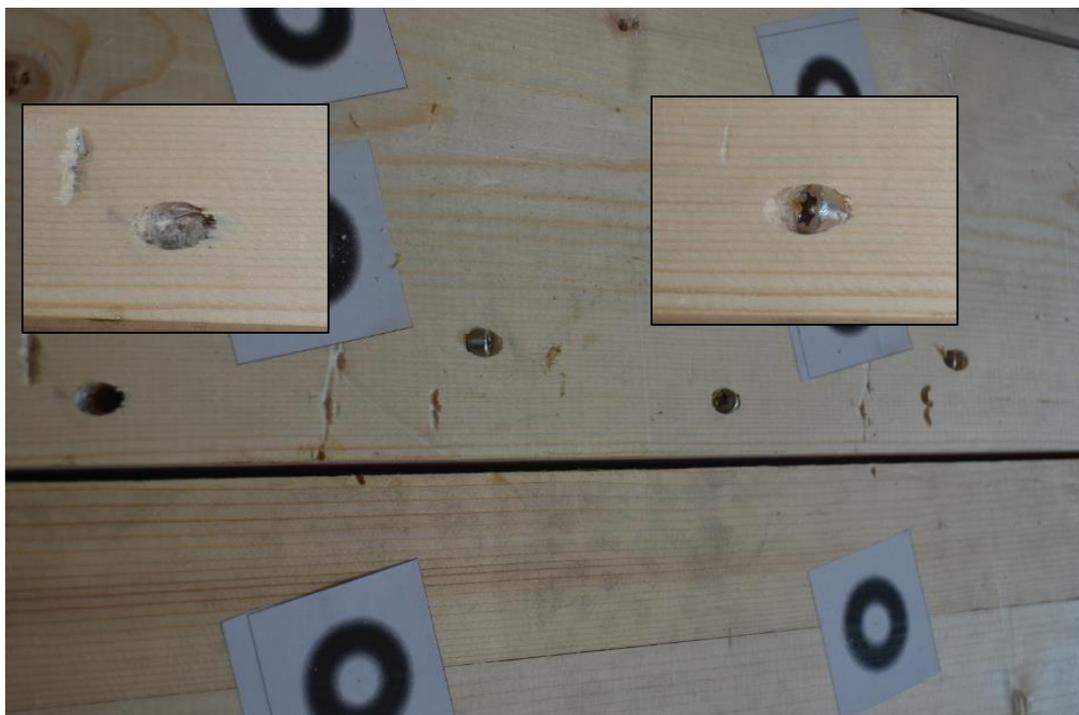


Figure 2-32 : Mode de rupture des assemblages de la configuration CIS-9-2

La Figure 2-33 présente un zoom sur les comportements des échantillons pour les cycles de chargement et de déchargement. Le premier cycle se situe entre 0,2 mm et 0,5 mm de glissement. Le deuxième cycle se situe entre 0,2 mm et 1 mm de glissement. Ces valeurs de raideurs d'assemblage sont répertoriées dans le Tableau 2-17 selon la démarche rappelée dans ce présent rapport.

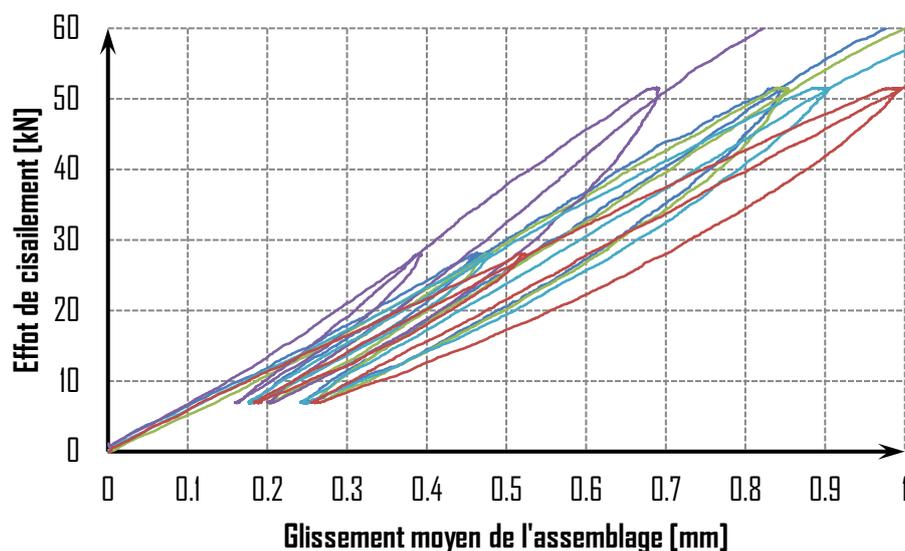


Figure 2-33 : Zoom sur les cycles de chargement et de déchargement des échantillons de la configuration CIS-9-2

Tableau 2-17 : Résultats des raideurs d'assemblage des échantillons de la configuration CIS-9-2 [kN/mm]

Echantillon	K_{ser}	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-9-2-1	60.5	87.2	70.2	80.9	74.0
CIS-9-2-2	61.9	88.2	72.6	79.9	72.1
CIS-9-2-3	74.4	105.5	96.4	101.4	91.6
CIS-9-2-4	58.3	79.2	68.9	74.0	67.9
CIS-9-2-5	52.1	71.9	60.0	66.2	60.3
Moyenne	61.44	86.41	73.63	80.48	73.18
Maximum	74.36	105.49	96.44	101.41	91.63
Minimum	52.08	71.93	60.04	66.17	60.30
Ecart type	8.14	12.55	13.61	13.09	11.58
COV	13.26%	14.53%	18.48%	16.27%	15.82%

2.7.3. Analyse statistique

L'annexe D de la norme NF EN 1990 Partie D7 [3] fournit deux approches permettant de déterminer une propriété caractéristique d'un produit, dans le cas présent, l'effort de cisaillement caractéristique. Il a été choisi que les données soient dépouillées en suivant une loi Log Normale, ce qui, comme le précise l'annexe D [3], présente l'avantage d'exclure les valeurs négatives.

La première approche suppose que le coefficient de variation (COV) V_x est inconnu tandis que la deuxième approche suppose que le COV est parfaitement connu.

Dans le tableau ci-dessous, les valeurs des efforts de cisaillement à rupture de l'assemblage complet sont présentées. A partir de ces valeurs, il est possible de déterminer une valeur caractéristique de l'effort de cisaillement des assemblages à rupture conformément au dépouillement statistique de l'Annexe D de la norme NF EN 1990 [3]. Le coefficient de variation V_x étant supérieur à 10%, il est nécessaire de passer par une approche V_x inconnu.

Tableau 2-18 : Détermination de la valeur caractéristique de l'assemblage CIS-9-2

Echantillon	mi	ln(mi)	(ln(mi)-moy) ²	N essai	kn	sy	Analogie	sy cor	ks	mk
CIS-9-2-1	111.5	4.71	1.15E-03	5	Inconnu	10.92%	Non	10.92%	2.33	83.59
CIS-9-2-2	124.4	4.82	2.06E-02							
CIS-9-2-3	91.9	4.52	2.55E-02							
CIS-9-2-4	105.4	4.66	5.10E-04							
CIS-9-2-5	108.3	4.69	2.32E-05							
Moyenne	108.31	4.68								
Minimum	91.90									
Maximum	124.42									
Ecart type	11.70									
COV	10.80%									

A partir de ces hypothèses, il est possible de calculer la valeur caractéristique de l'effort de cisaillement à rupture de l'assemblage constitué des 8 vis selon l'équation suivante :

$$F_{v,Rk} = \exp(m_y - k_n \times 0,10) = \exp(4,68 - 2,33 \times 0,109) = 83,59kN$$

3. – REACTUALISATION DU DEPOUILLEMENT

En complément du dépouillement proposé dans le protocole [1], il a été discuté et proposé un dépouillement complémentaire avec les seuils ELS et les seuil ELU redéfini au regard de la valeur caractéristique des essais expérimentaux. La démarche proposée est présentée sur la Figure 3-1. Les valeurs des raideurs sécantes aux seuils ELU, ELS et à 10% sont synthétisées dans le tableau ci-dessous dénommées K_{ELU} , K_{ELS} et $K_{10\%}$ respectivement ainsi que les valeurs des seuils correspondants. De plus, les coefficients de variation des raideurs associés sont indiqués dans ce même tableau.

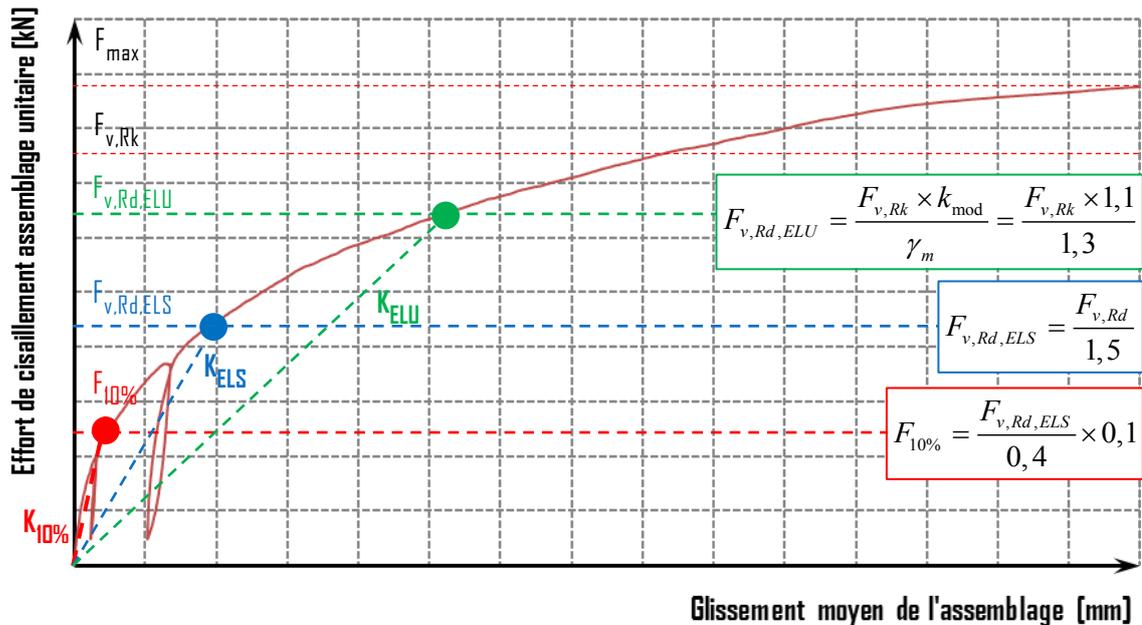


Figure 3-1 : Réactualisation du dépouillement avec les seuils ELS et ELU

Tableau 3-1 : Valeurs caractéristiques des efforts de cisaillement et valeurs des seuils en kN et valeurs des raideurs sécantes en kN/mm de l'assemblage complet

Configuration	$F_{v,Rk}$	$F_{v,Rd,ELU}$	$F_{v,Rd,ELS}$	$F_{10\%}$	$K_{10\%}$	K_{ELS}	K_{ELU}
CIS-6-1	27.45	23.23	15.49	3.87	16.41	7.41	4.55
					21.01%	14.71%	9.08%
CIS-6-2	78.04	66.03	44.02	11.01	51.93	45.58	37.58
					8.11%	7.45%	9.40%
CIS-7	146.00	123.54	82.36	20.59	247.97	57.25	32.27
					15.54%	20.81%	15.08%
CIS-8	80.34	67.98	45.32	11.33	98.72	73.55	63.62
					21.77%	11.90%	12.85%
CIS-9-1	19.07	16.13	10.75	2.69	10.11	4.59	2.06
					28.31%	12.47%	10.46%
CIS-9-2	83.58	70.72	47.15	11.79	58.70	62.16	58.56
					7.59%	13.28%	12.74%

4. – COMPARAISON DES SOLUTIONS D'ASSEMBLAGES

Le Tableau 4-1 présente la synthèse des valeurs caractéristiques des efforts de cisaillement à rupture et les valeurs moyennes des raideurs d'assemblages selon la proposition initiale de dépouillement et la réactualisation pour toutes les configurations. Les coefficients de variations de chacune des valeurs obtenues sont également indiqués. La Figure 4-2 présente l'ensemble des évolutions de l'effort de cisaillement en fonction du glissement ainsi que les schémas et les valeurs caractéristiques des efforts de cisaillement et des valeurs moyennes des raideurs d'assemblage.

Tableau 4-1 : Efforts caractéristiques en kN et raideurs d'assemblages en kN/mm des différentes configurations couplé à leur coefficient de variation.

Configuration	$F_{v,Rk}$	Dépouillement initial					Réactualisation		
		$K_{ser,ELS}$	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$	$K_{10\%}$	K_{ELS}	K_{ELU}
CIS-6-1	27.45	8.15	41.31	17.75	19.11	9.70	16.41	7.41	4.55
		17.45%	8.32%	9.41%	7.72%	6.92%	21.01%	14.71%	9.08%
CIS-6-2	78.04	46.28	69.64	57.58	56.33	49.92	51.93	45.58	37.58
		6.81%	9.97%	8.32%	9.89%	11.46%	8.11%	7.45%	9.40%
CIS-7	146.00	104.53	482.85	311.51	240.76	135.70	247.97	57.25	32.27
		37.89%	6.78%	16.06%	18.16%	23.81%	15.54%	20.81%	15.08%
CIS-8	80.34	74.90	158.37	111.76	118.72	94.28	98.72	73.55	63.62
		16.08%	57.75%	44.70%	40.77%	25.39%	21.77%	11.90%	12.85%
CIS-9-1	19.07	5.30	13.57	8.32	7.21	4.27	10.11	4.59	2.06
		17.38%	21.08%	23.52%	13.89%	8.13%	28.31%	12.47%	10.46%
CIS-9-2	83.58	61.44	86.41	73.63	80.48	73.18	58.70	62.16	58.56
		13.26%	14.53%	18.48%	16.27%	15.82%	7.59%	13.28%	12.74%

A partir des résultats du Tableau 4-1, il peut être déterminé les valeurs des efforts ainsi que les raideurs par assemblage dit « Unitaire ». L'assemblage dit « Unitaire » est l'assemblage constitué du minimum d'organes pour transmettre l'effort de cisaillement d'une partie sur l'autre (cf. Figure 4-1).

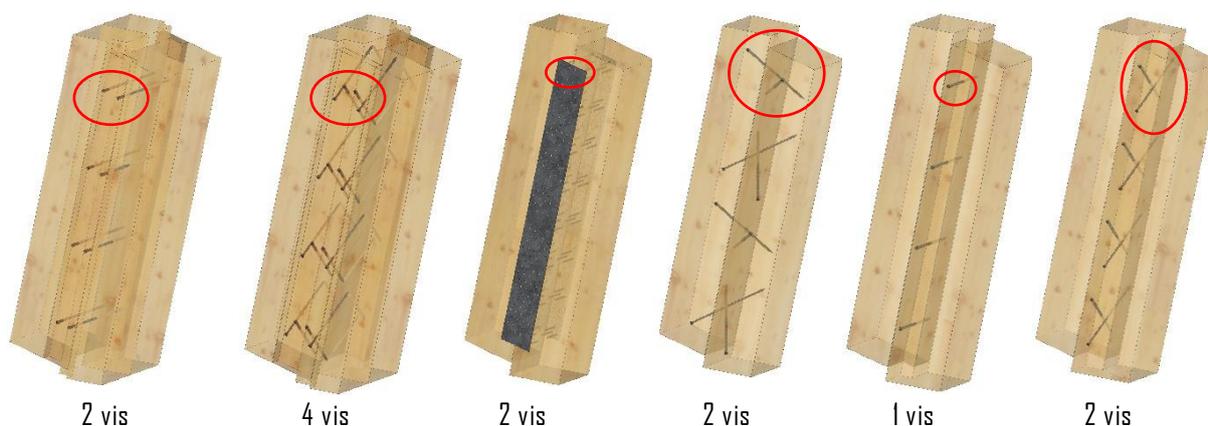


Figure 4-1 : Assemblage dit « unitaire » entouré en rouge

4 – COMPARAISON DES SOLUTIONS D'ASSEMBLAGES

Ainsi, les valeurs du Tableau 4-1 sont divisées par le nombre d'assemblage unitaire. La Figure 4-3 présente également les comportements des assemblages dit « unitaire » par type de configuration ainsi que les schémas et les valeurs caractéristiques des efforts de cisaillements et des valeurs moyennes des raideurs d'assemblage « unitaire ».

Tableau 4-2 : Valeur des efforts en kN et des raideurs en kN/mm par assemblage dit « unitaire »

Configuration	Nombre d'assemblage unitaire	$F_{v,Rk}$	Dépouillement initial				
			$K_{ser,ELS}$	$K_{el,unload}$	$K_{el,reload}$	$K_{el,ELU,unload}$	$K_{el,ELU,reload}$
CIS-6-1	8	3.32	1.02	3.28	2.67	1.68	1.26
CIS-6-2	8	9.75	5.78	7.54	7.28	6.61	6.35
CIS-7	40	3.65	2.61	9.98	9.17	4.84	3.82
CIS-8	4	20.09	18.72	32.35	30.46	25.71	24.67
CIS-9-1	4	4.77	1.33	2.18	2.02	1.22	1.00
CIS-9-2	4	20.89	15.36	18.50	18.28	18.40	18.12
	Réactualisation						
	$K_{10\%}$	K_{ELU}	K_{ELS}				
CIS-6-1	2.05	0.93	0.57				
CIS-6-2	6.49	5.70	4.70				
CIS-7	6.20	1.43	0.81				
CIS-8	24.68	18.39	15.90				
CIS-9-1	2.53	1.15	0.52				
CIS-9-2	14.68	15.54	14.64				

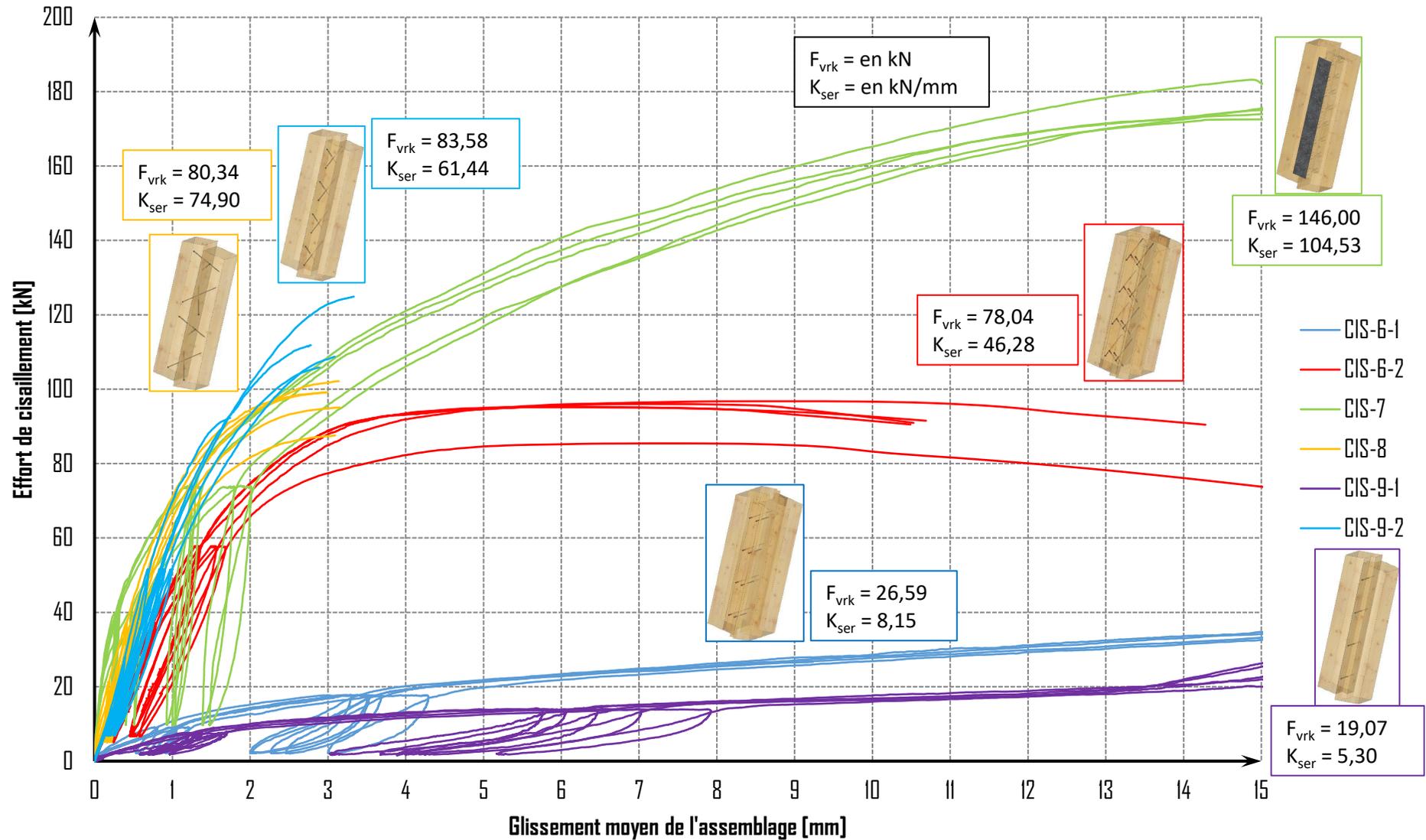


Figure 4-2 : Evolutions des efforts de cisaillement dans l'assemblage **complet** en fonction du glissement d'assemblage

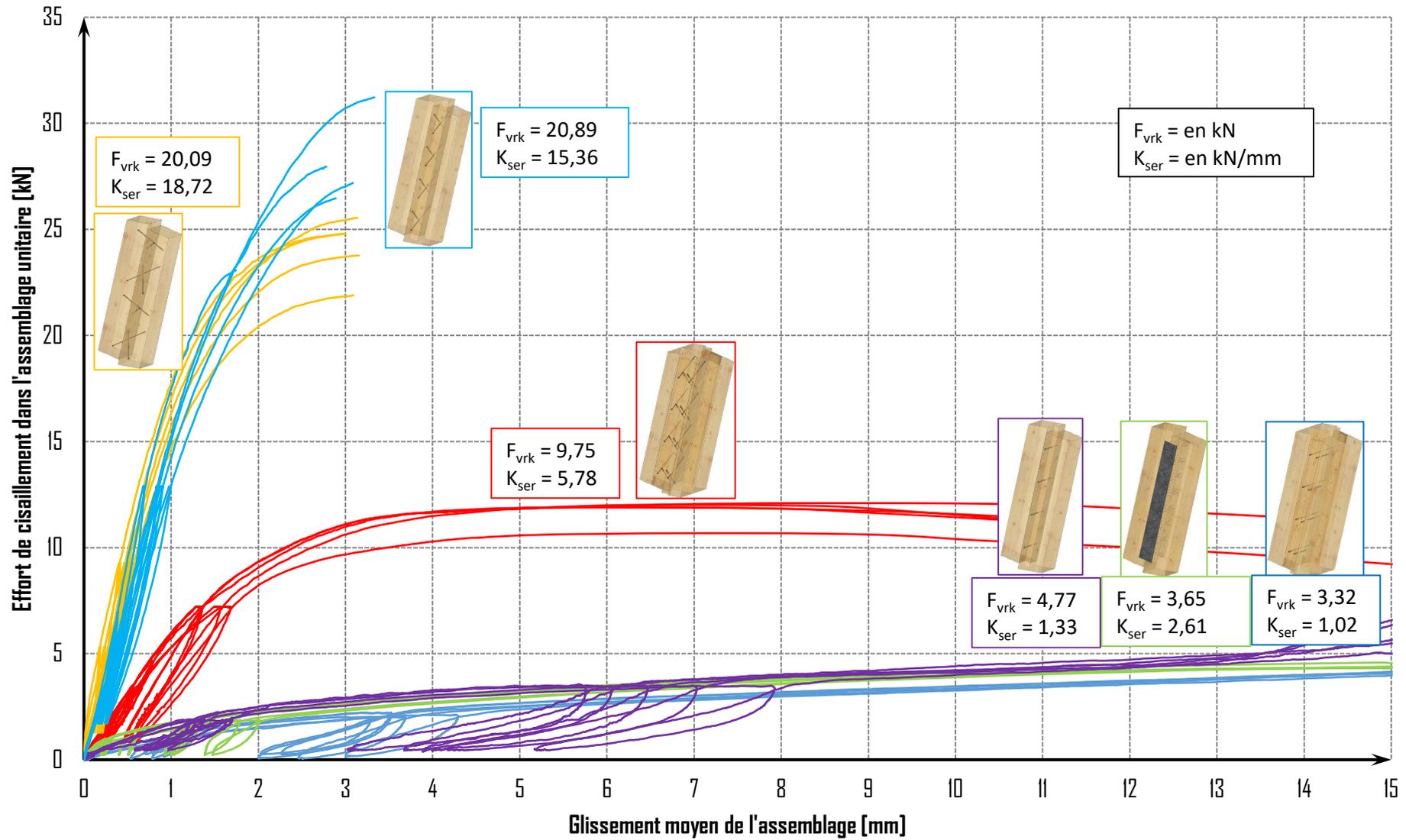


Figure 4-3 : Evolutions des efforts de cisaillement dans l'assemblage **unitaire** en fonction du glissement d'assemblage

Tableau 4-3 : Classement des configurations de la moins raide à la plus raide par assemblage unitaire
(valeurs en kN et kN/mm)

Configuration	Schéma	Nombre de vis par assemblage unitaire	K_{ser}	$F_{v,Rk}$
CIS-6-1		2	1.02	3.32
CIS-9-1		1	1.33	4.77
CIS-7		2	2.61	3.65
CIS-6-2		4	5.78	9.75
CIS-9-2		2	15.36	20.89
CIS-8		2	18.72	20.09

5. - COMPARAISON ENTRE LA THEORIE ET L'EXPERIMENTAL

Pour donner suite aux discussions de l'atelier structure d'ADIVBOIS en date du 16 juin 2021, une nouvelle proposition de dépouillement a été demandé au regard des courbes expérimentales. Elle consiste à trouver une fonction mathématique permettant de corrélérer au plus proche les courbes expérimentales. Cette corrélation permet de créer une loi permettant de déterminer, au plus juste, des raideurs dites « Sécantes » au seuil de sollicitation des organes unitaires. Aujourd'hui, plusieurs fonctions mathématiques permettant de corrélérer une loi de comportement existent. Elles sont rappelées dans la thèse de Romain Lemaître [6] ainsi que la méthode permettant leur détermination.

5.1. DEFINITION DU DEPLACEMENT DE REFERENCE

Pour définir les fonctions mathématiques des efforts latéraux et axiaux en fonction du déplacement de référence, il est nécessaire de définir ce dernier. Pour les assemblages composés uniquement d'organes en série comme la configuration 9-1, le déplacement de référence est le glissement moyen de l'assemblage complet, selon l'équation suivante :

$$d_{réf} = u_{moyen}$$

Pour les assemblages composés d'organes en série puis en parallèle comme la configuration 6-1, le déplacement de référence est le glissement moyen de l'assemblage divisé par 2, écrit selon l'équation suivante :

$$d_{réf} = \frac{u_{moyen}}{2}$$

5.2. VIS PERPENDICULAIRE AU PLAN DE CISAILEMENT

Au regard des lois mathématiques, les allures des assemblages 6-1 et 9-1 correspondent à la fonction mathématique de Foschi [7] tandis que l'allure de l'assemblage 7 correspond à la fonction mathématique de Richard-Abbott. La fonction de Foschi [7] s'écrit de la manière suivante :

$$F_{lat} = (F_{lat,inter} + K_{plas} \times d_{ref}) \times (1 - \exp(-c \times d_{ref})) \text{ avec } c = \frac{K_{elas}}{F_{v,inter}}$$

Les paramètres ($F_{lat,inter}$) et (K_{plas}) de cette loi sont définis conformément à la Figure 5-1. Le facteur (c) est défini par une minimisation des moindres carrés sur une dizaine de points permettant de définir dans un deuxième temps le paramètre (K_{elas}).

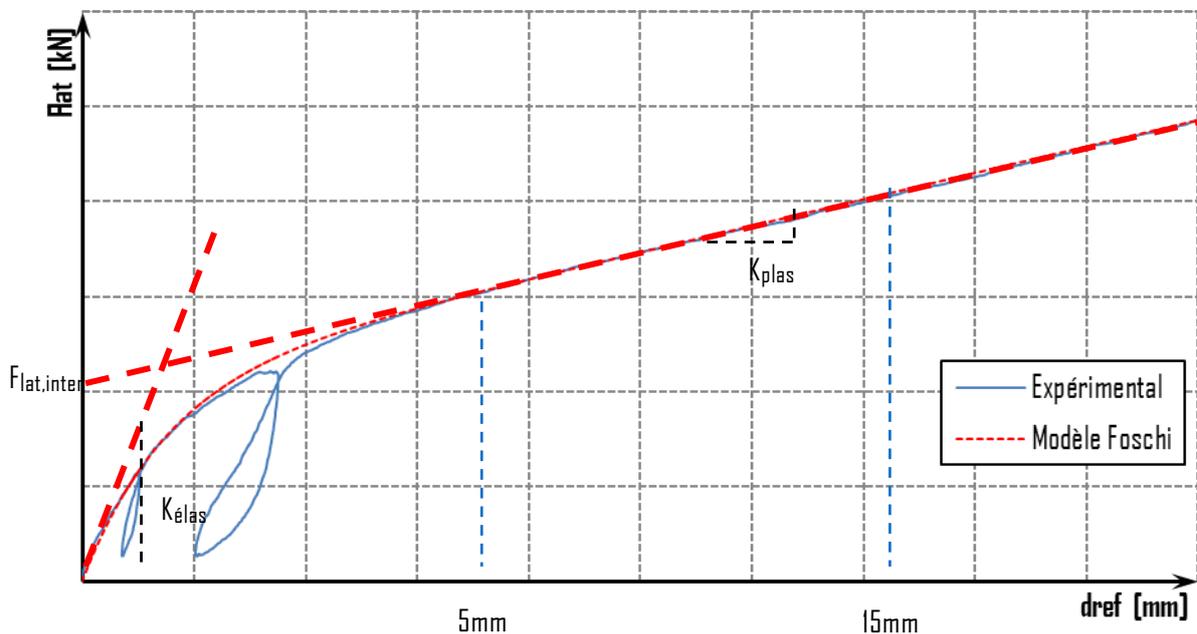


Figure 5-1: Nouveau dépouillement des essais de couturages

- ✓ $F_{lat,inter}$: Valeur de l'effort latéral à l'intersection de la droite portée par le facteur (K_{plas}) avec l'axe des ordonnées
- ✓ K_{plas} : Valeur du coefficient directeur entre les deux points de déplacements de 5mm et le minimum entre le déplacement maximum et 15mm
- ✓ c : Facteur de l'exponentiel permettant de définir le paramètre (K_{elas}).

La fonction de Richard-Abbott [8] s'écrit de la manière suivante :

$$F_{lat} = \frac{(A+B) \times u}{\left(1 + \left(\frac{(A+B) \times u}{C}\right)^D\right)^{1/D}} + B \times u$$

Contrairement à la détermination des paramètres de la loi Foschi [7], les quatre paramètres de la loi de Richard-Abbott [8], dans notre cas, sont déterminés par une minimisation des moindres carrés sur une dizaine de points. Ces points sont déterminés par une moyenne des efforts de cisaillement sur les cinq essais pour un même déplacement.

5.2.1. Configuration 6-1

Le Tableau 5-1 présente les valeurs des paramètres pour établir la loi mathématique. L'évolution de cette loi avec les paramètres moyens sont tracés en traits pointillés dans la Figure 5-1 en comparaison avec les essais expérimentaux en trait plein en fonction du déplacement de référence.

Tableau 5-1 : Valeur des paramètres de la loi Foschi [7] pour la configuration 6-1

Echantillon	K _{plas}	F _{lat,inter}	c	K _{élas}
CIS-6-1-1	0.272	1.90	1.2	2.4
CIS-6-1-2	0.248	2.14	1.0	2.1
CIS-6-1-3	0.300	1.99	1.3	2.6
CIS-6-1-4	0.267	1.99	1.4	2.9
CIS-6-1-5	0.279	2.07	1.5	3.0
Moyenne	0.27	2.02	1.29	2.59
Ecart type	0.02	0.09	0.22	0.36
COV	6.96%	4.47%	16.69%	14.05%

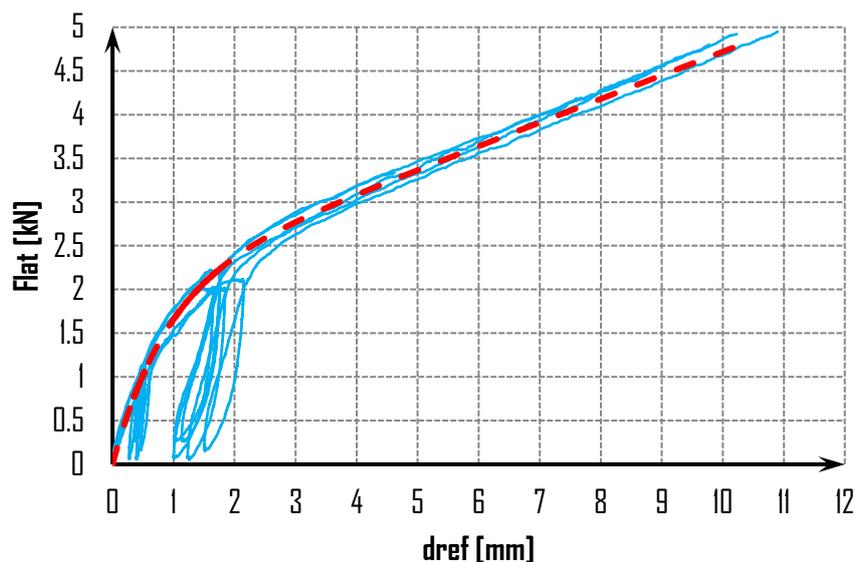


Figure 5-2 : Modèle de l'évolution de l'effort latéral en fonction du déplacement de référence pour la configuration 6-1

5.2.2. Configuration 7

Le Tableau 5-2 présente les valeurs des paramètres pour établir la loi mathématique selon la loi de Richard-Abbott [8]. L'évolution de cette loi avec les paramètres sont tracés en traits pointillés dans la Figure 5-3 en comparaison avec les essais expérimentaux en trait plein en fonction du déplacement de référence.

Tableau 5-2 : Valeur des paramètres de la loi Richard-Abbott [8] pour la configuration 7

Paramètres	A	B	C	D
Valeur	231	0	31.92	0.19

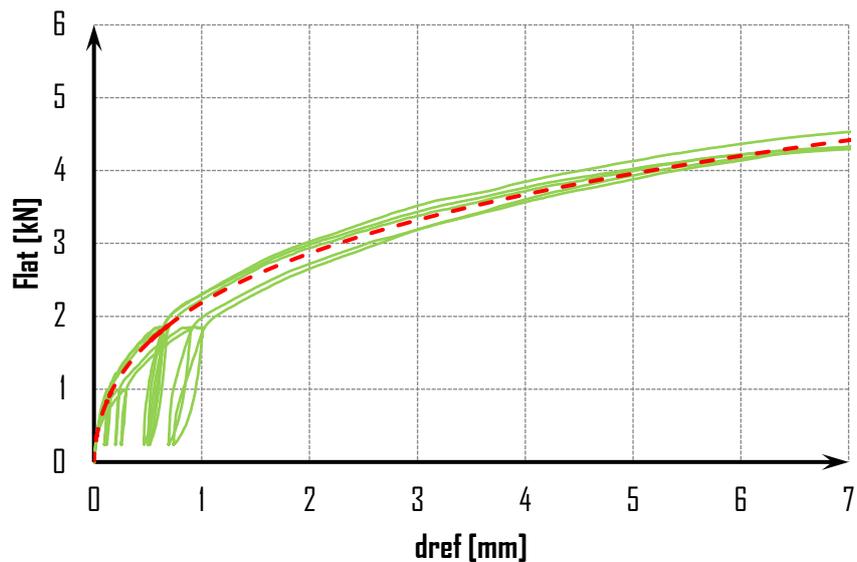


Figure 5-3 : Modèle de l'évolution de l'effort latéral en fonction du déplacement de référence pour la configuration 7

5.2.3. Configuration 9-1

Le Tableau 5-3 présente les valeurs des paramètres pour établir la loi mathématique. L'évolution de cette loi avec ces paramètres sont tracés en traits pointillés dans la Figure 5-4 en comparaison avec les essais expérimentaux en trait plein en fonction du déplacement de référence.

Tableau 5-3 : Valeur des paramètres de la loi Foschi [7] pour la configuration 9-1

Echantillon	K_{plas}	$F_{v,\text{inter}}$	c	$K_{\text{élas}}$
CIS-9-1-1	0.190	2.18	1.2	2.5
CIS-9-1-2	0.170	2.35	1.2	2.8
CIS-9-1-3	0.202	2.12	1.3	2.7
CIS-9-1-4	0.203	2.28	1.2	2.6
CIS-9-1-5	0.198	1.95	1.0	2.0
Moyenne	0.19	2.18	1.16	2.54
Ecart type	0.09	0.99	0.53	0.30
COV	7.30%	7.00%	6.73%	11.71%

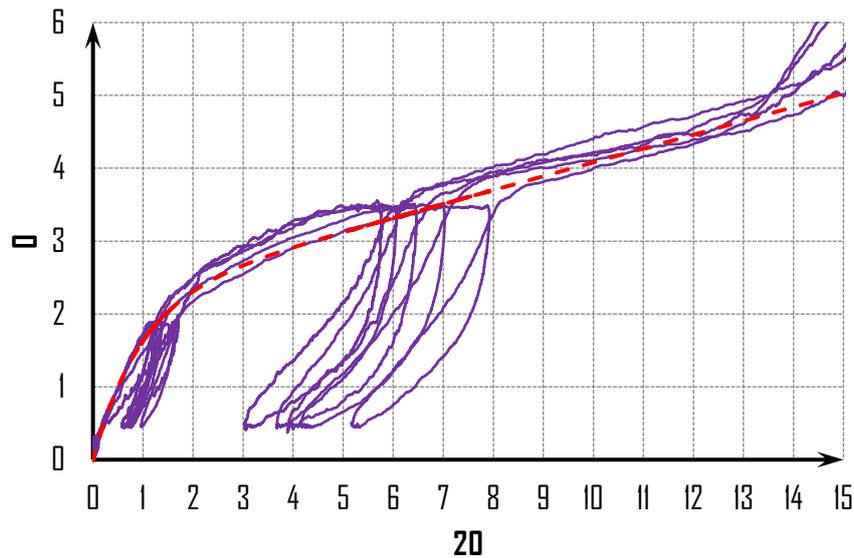


Figure 5-4 : Modèle de l'évolution de l'effort latéral en fonction du déplacement de référence pour la configuration 9-1

5.3. VIS INCLINEE AU PLAN DE CISAILLEMENT

Le but de cette partie est de définir la loi ou la fonction mathématique de l'effort de cisaillement d'un organe (F_v) en fonction du déplacement de référence ($d_{réf}$) qui doit être inférieur ou égale à la résistance en cisaillement de l'organe.

$$F_v = f(d_{réf}) \leq R$$

Pour ce faire, un rappel du rapport bibliographique [9] est effectué sur la détermination de la résistance au cisaillement de l'organe en fonction de l'inclinaison pour les vis mises inclinées en 2D ou 3D selon les équations suivantes respectivement :

$$R = F_{lat} \times \sin(\theta) + F_{ax} \times \cos(\theta)$$

$$R = F_{lat} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta_i \times \sin^2 \varepsilon_i)} + F_{ax} \times \cos(\theta_i) \times \sin(\varepsilon_i)$$

Ces équations peuvent être écrites également de la manière suivante :

$$R = F_{lat, projeté} + F_{ax, projeté}$$

où il faut définir les deux fonctions mathématiques ($F_{lat, projeté}$) et ($F_{ax, projeté}$) dépendantes du déplacement de référence ($d_{réf}$) selon les équations suivantes :

$$F_{lat, projeté} = f(d_{réf})$$

$$F_{ax, projeté} = f(d_{réf})$$

Pour un assemblage constitué de deux éléments avec un organe incliné de (θ), les déplacements latéraux (δ_{lat}) et axiaux (δ_{ax}) sont exprimés, selon la Figure 5-5, en fonction du déplacement de référence ($d_{réf}$) donnant les équations suivantes :

$$\delta_{lat} = d_{réf} \times \sin \theta$$

$$\delta_{ax} = d_{réf} \times \cos \theta$$

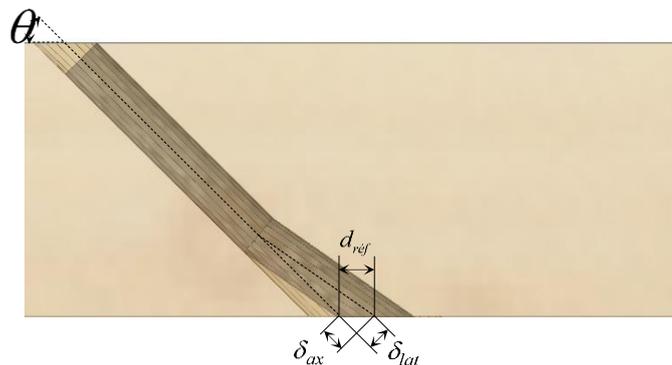


Figure 5-5 : Relation $d_{réf}$ avec d_{ax} et d_{lat}

Pour un assemblage constitué de deux éléments avec un organe incliné de (θ) et (ε) , les déplacements latéraux (δ_{lat}) et axiaux (δ_{ax}) sont exprimés, selon la Figure 5-6, en fonction du déplacement de référence $(d_{réf})$ donnant les équations suivantes :

$$\delta_{lat} = d_{réf} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta \times \sin^2 \varepsilon)}$$

$$\delta_{ax} = d_{réf} \times \cos(\theta) \times \sin(\varepsilon)$$

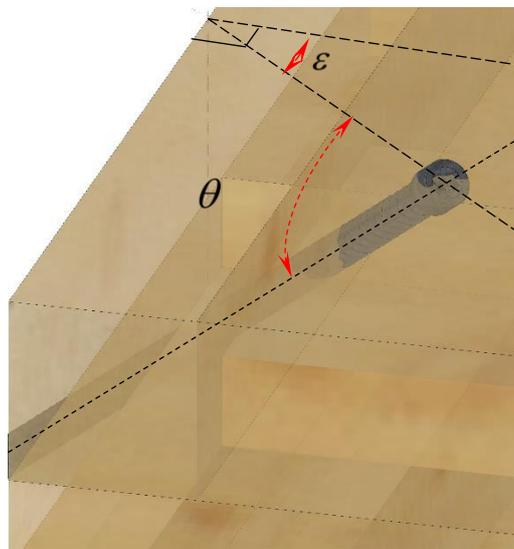


Figure 5-6 : Relation $d_{réf}$ avec d_{ax} et d_{lat}

5.3.1. Projection de l'effort latéral

Dans le problème de la cinématique de fonctionnement mécanique de l'organe, la loi mathématique de la projection de l'effort latéral ($F_{lat,projeté}$) en fonction du déplacement de référence ($d_{réf}$) est établie à partir des configurations où les organes sont mis perpendiculairement au plan de cisaillement c'est-à-dire à partir des configurations 6-1 et 9-1.

Ainsi, il faut transformer la loi de l'effort latéral en fonction du déplacement latéral en trait plein de la Figure 5-7 selon l'équation suivante $F_{lat} = f(d_{lat})$ en une loi de l'effort latéral projeté en fonction du déplacement de référence pour les vis 2D en traits pointillés de la Figure 5-7 selon l'équation suivante $F_{lat,projeté} = f(d_{réf})$ par l'intermédiaire des équations suivantes :

$$F_{lat,projetée} = F_{lat} \times \sin(\theta)$$

$$d_{réf} = \frac{\delta_{lat}}{\sin(\theta)}$$

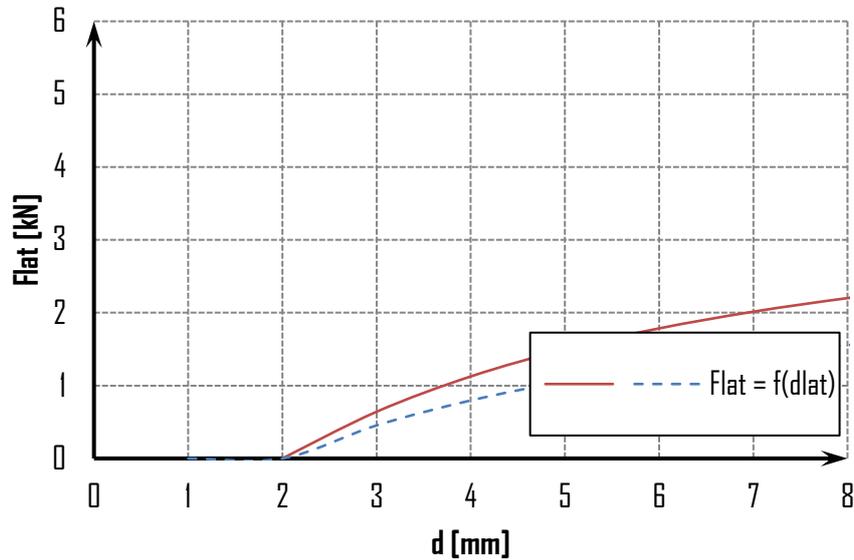


Figure 5-7 : Projection de l'effort latéral pour l'assemblage mi-bois étudié

La même démarche est effectuée pour les vis en 3D cependant, les équations de transformations sont les suivantes :

$$F_{lat,projetée} = F_{lat} \times \sqrt{(1 - \cos^2 \theta_i \times \sin^2 \varepsilon_i)}$$

$$d_{réf} = \frac{\delta_{lat}}{\sqrt{(1 - \cos^2 \theta_i \times \sin^2 \varepsilon_i)}}$$

5.3.2. Projection de l'effort axial

Contrairement à l'effort latéral, le comportement axial d'un organe, en présence de deux éléments bois, est une association en série des deux comportements dans chacun des éléments constituant l'assemblage, c'est-à-dire que l'équation suivante peut être écrite :

$$\delta_{ax} = \delta_{ax,1} + \delta_{ax,2}$$

Ainsi, il faut additionner les deux lois mathématiques de comportement axial des deux éléments bois pour obtenir la loi mathématique de l'effort axial en fonction du déplacement axial total $F_{ax} = f(d_{ax})$. Pour ce faire des essais d'arrachement ont été effectués dans le panneau CLT à une inclinaison de 45° et d'une longueur d'ancrage de 100mm. Il en ressort une loi mathématique selon la loi Richard-Abbott avec les paramètres suivants :

Tableau 5-4 : Valeur des paramètres de la loi Richard-Abbott [8] pour les essais d'arrachement

Paramètres	A	B	C	D
Valeur	37,3	0	21,25	1,53

A titre d'exemple, le comportement global de la vis dans l'assemblage avec la rainure languette est pris. Ainsi, l'évolution de l'effort axial dans la partie languette avec une longueur d'ancrage de 28mm est tracé en vert dans la Figure 5-8, tandis que l'évolution de l'effort axial dans la partie CLT avec une longueur d'ancrage de 151,6mm est tracé en bleu. Pour établir ces deux lois, l'hypothèse de la proportionnalité de la longueur d'ancrage a été appliqué à partir des essais d'arrachement effectué pour une longueur d'ancrage de référence de 100mm. A partir de ces deux évolutions, il est tracé en pointillé rouge, l'évolution de l'effort axiale en fonction du déplacement axial total (δ_{ax}) en associant pour un même effort le déplacement axial dans chacun des éléments bois selon l'équation précédente.

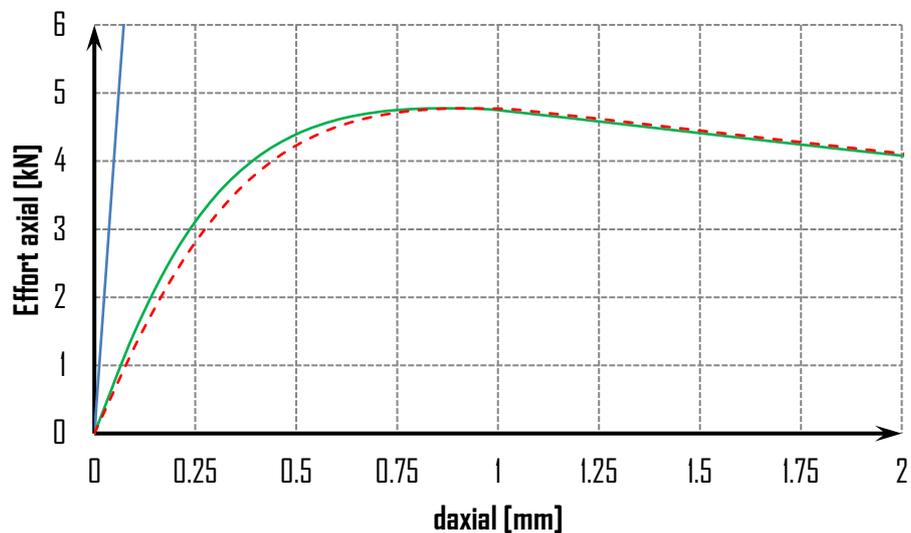


Figure 5-8 : Projection de l'effort latéral pour un assemblage mi-bois

A partir de cette loi mathématique $F_{ax} = f(d_{ax})$ en traits pointillés rouges (cf. Figure 5-8 et Figure 5-9), il faut créer la loi de l'effort axial projeté en fonction du déplacement de référence $F_{ax,projeté} = f(d_{réf})$ pour les vis mises inclinées en 2D en traits pointillés bleus (cf. Figure 5-9), par l'intermédiaire des équations suivantes :

$$F_{ax,projetée} = F_{ax} \times \cos(\theta)$$

$$d_{réf} = \frac{\delta_{ax}}{\cos(\theta)}$$

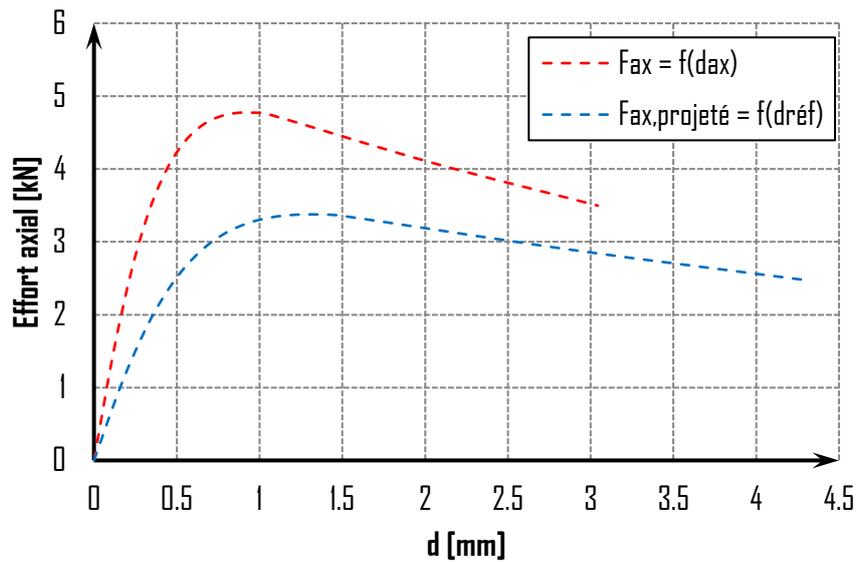


Figure 5-9 : Projection de l'effort axial pour l'assemblage étudié rainure et languette

La même méthode est effectuée pour les vis en 3D, cependant les équations de transformations sont les suivantes :

$$F_{ax,projetée} = F_{ax} \times \cos(\theta_i) \times \sin(\varepsilon_i)$$

$$d_{réf} = \frac{\delta_{ax}}{\cos(\theta_i) \times \sin(\varepsilon_i)}$$

5.3.3. Détermination du comportement global

A partir des deux lois mathématiques établies en fonction du déplacement de référence, l'évolution de la résistance d'une vis inclinée peut être établie en additionnant les efforts latéraux et axiaux pour un même déplacement de référence. A titre d'exemple, la Figure 5-10 présente les résultats obtenus pour l'assemblage rainure et languette.

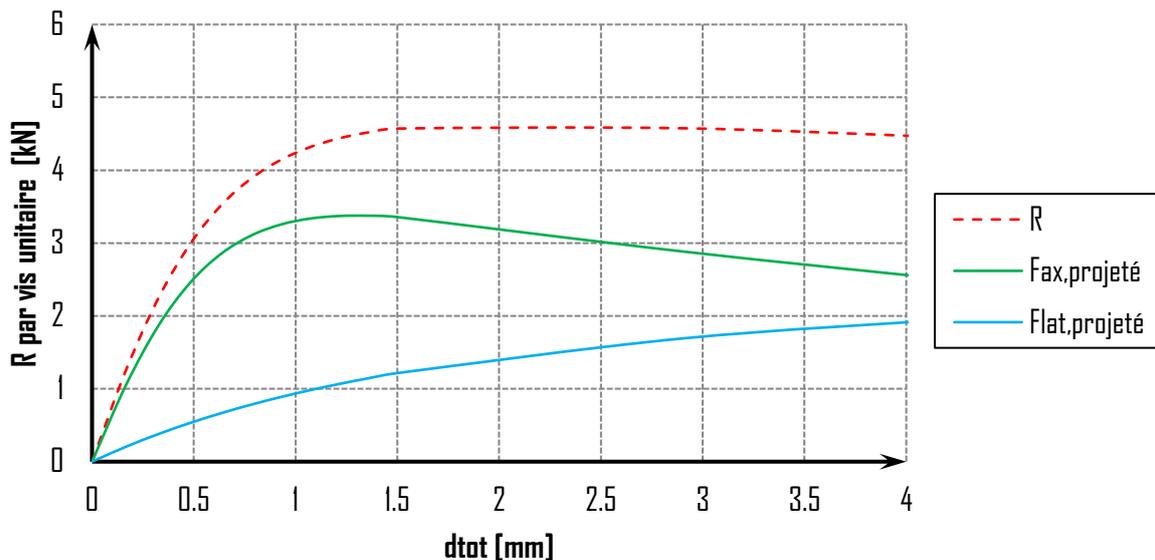


Figure 5-10 : Estimation de la résistance d'une vis mis à un angle pour l'assemblage étudié rainure et languette

5.3.4. Comparaison des essais expérimentaux et de la démarche proposée

La Figure 5-11 présente l'évolution de la résistance d'une vis par le modèle en traits pointillés noirs en comparaison les essais expérimentaux pour la configuration rainure et languette (6-2). La proposition reproduit parfaitement les essais expérimentaux sur la partie élastique. Cependant, l'estimation du seuil plastique est sous estimé. Cet écart peut provenir de l'évolution de l'arrachement de la vis dans la partie LVL différente de celle estimée actuellement. Pour rappel, l'estimation de l'évolution de l'arrachement dans la languette est effectuée à partir des essais d'arrachement effectués dans le CLT. Cet écart peut également provenir de l'évolution de l'effort latéral puisque cette dernière a été créée à partir de l'évolution obtenue dans la configuration 6-1, alors que dans cette configuration l'épaisseur de LVL est de 38mm.

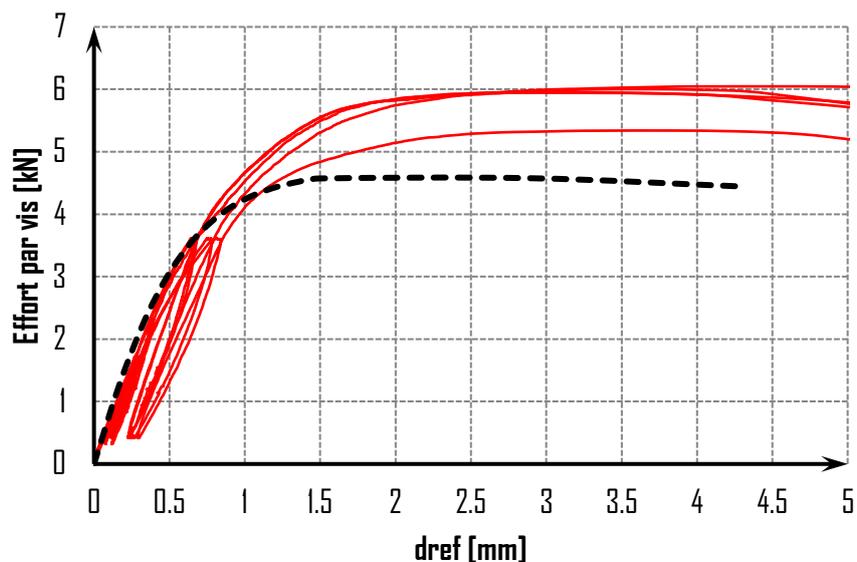


Figure 5-11 : Comparaison du modèle et des essais expérimentaux pour la configuration 6-2

La Figure 5-12 présente l'évolution de la résistance d'une vis par le modèle en traits pointillés rouges en comparaison les essais expérimentaux pour la configuration mi-bois (9-2). La proposition estime parfaitement le seuil à rupture. Cependant, la proposition surestime un peu le comportement en raideur du fait d'un effet de mise en place non modélisé.

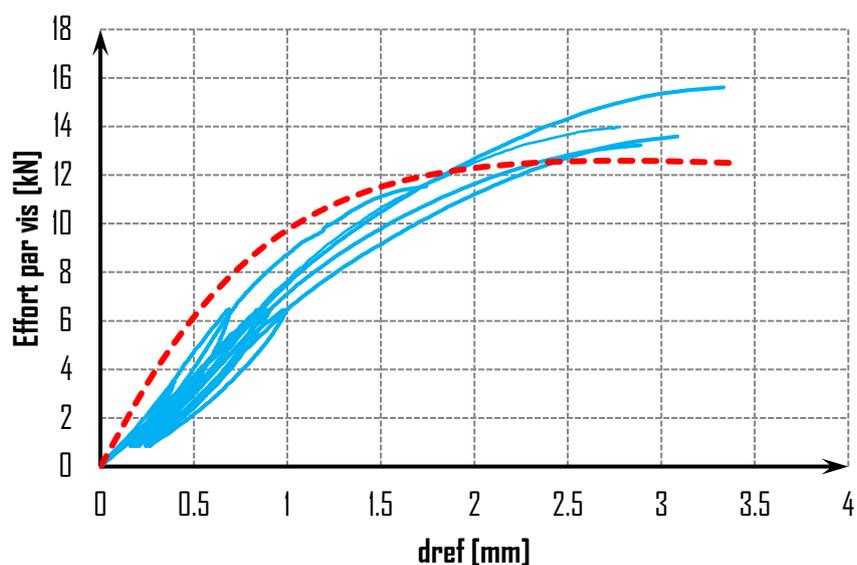


Figure 5-12 : Comparaison du modèle et des essais expérimentaux pour la configuration 9-2

La Figure 5-13 présente l'évolution de la résistance d'une vis par le modèle en traits pointillés rouges en comparaison les essais expérimentaux pour la configuration avec les vis en 3D (8). La proposition estime parfaitement l'allure du comportement de ces assemblages.

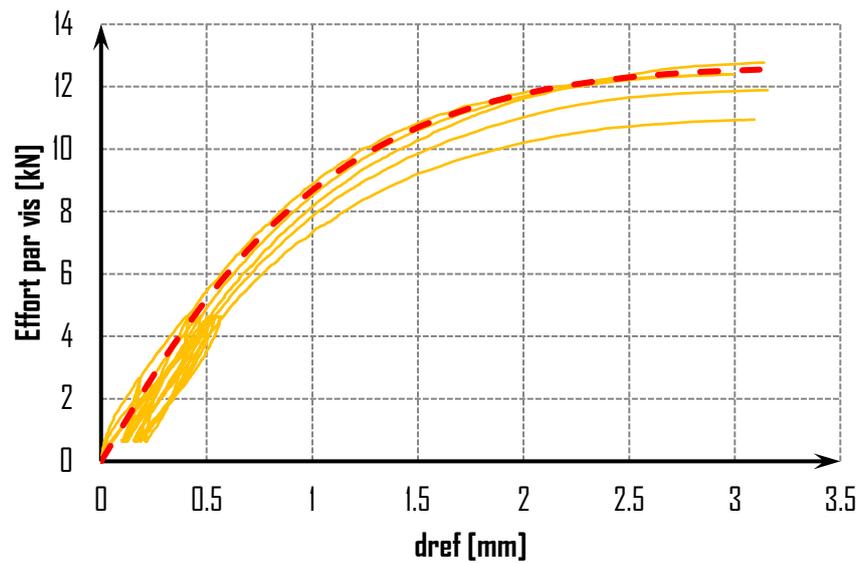


Figure 5-13 : Comparaison du modèle et des essais expérimentaux pour la configuration 8

6. - DEMARCHE POUR DEFINIR LA RAIDEUR SECANTE APPROPRIEE A LA SOLLICITATION D'UN ORGANE

La démarche proposée dans ce présent rapport est une démarche de calculs itératifs permettant de définir une raideur sécante au seuil de sollicitation des organes.

Le premier calcul doit être effectué avec la raideur initiale (K_0) c'est-à-dire la raideur élastique définie dans les tableaux ci-dessus. A ce premier calcul, un effort de sollicitation de l'organe peut être défini (F_0). Cet effort de sollicitation permet de définir un déplacement associé au regard de la raideur initiale obtenant ainsi le déplacement (u_0). Ce déplacement (u_0) est intégré dans la loi mathématique avec les paramètres adéquates à l'assemblage choisi. Ceci, permet d'obtenir l'effort de sollicitation réel (F_i) au déplacement (u_0). En calculant le rapport (F_i/u_0), la raideur sécante (K_i) est déterminée et réinjectée dans le modèle de calcul. Puis cette démarche doit être reproduit jusqu'à ce que l'effort de sollicitation extrait du modèle soit proche de celui de la loi mathématique.

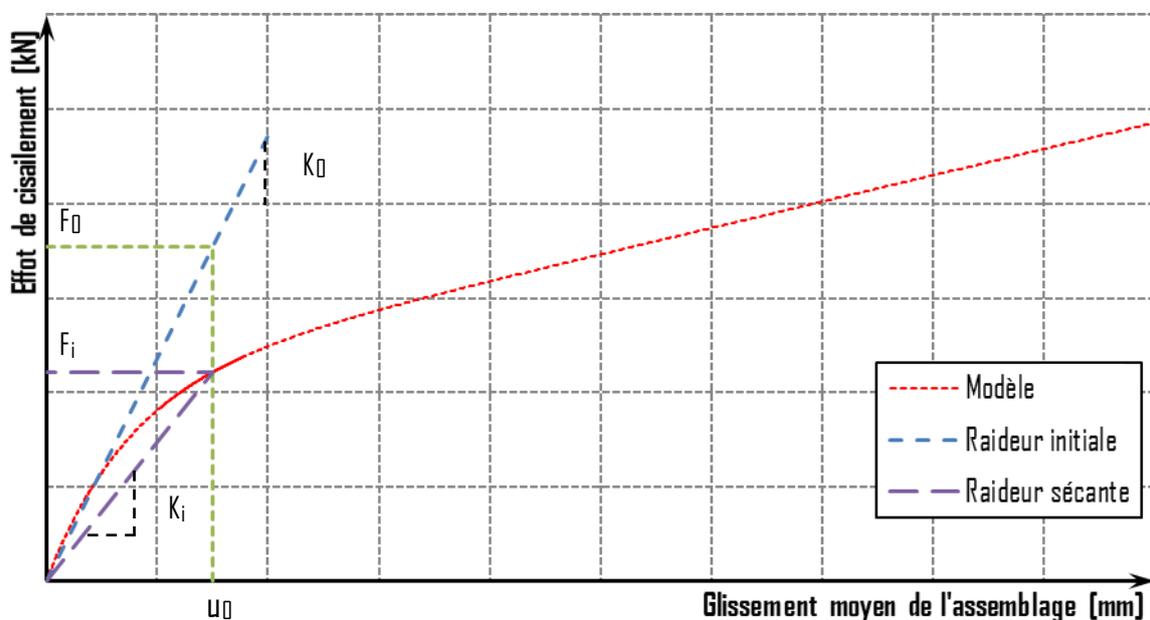


Figure 6-1 : Démarche pour définir une raideur sécante

7. - CONCLUSIONS

Cette campagne d'essais avait pour but de déterminer la raideur de cisaillement entre différentes configurations d'assemblages de panneaux en CLT constituant des planchers. Le protocole d'essais mis en place pour caractériser les assemblages s'est révélée efficace et très reproductible. Les précautions mises en œuvre pour limiter la distorsion hors plan des éprouvettes ainsi que le frottement entre les plans se sont révélés également très efficace et laisse apparaître des résultats fiables jusqu'à la rupture.

Sur la configuration avec la plaque métallique et des vis courtes, il est difficile d'imaginer avoir beaucoup de retrait, cette configuration a donc été testée sans ménager de jeux entre la plaque et la tôle métallique.

Il peut être remarqué, grâce à la première configuration d'essais, que mobiliser l'effet de corde, c'est-à-dire le frottement entre les éléments n'est possible que si le jeu entre les éléments est faible. Celui-ci ne doit être considéré qu'à condition d'une parfaite maîtrise de la mise en œuvre des éléments sur chantier.

Il peut être observé que les vis disposées droites conduisent à des raideurs faibles comme cela était attendu. Les configurations les plus rigides sont obtenues avec les configurations avec des vis inclinées.

Fait à EPINAL le 17/12/2021

Jean-François BOCQUET

Maître de Conférences à l'ENSTIB

Enseignant chercheur du LERMAB



Damien LATHUILLIERE

Ingénieur de Recherche au LERMAB

8.- BIBLIOGRAPHIE :

- [1] LERMAB, "PRO-1 - Protocole d'essais des assemblages par vis," Feb. 2021.
- [2] AFNOR, *NF EN 26891: Structure en bois Assemblages réalisés avec des éléments de fixation - Principes généraux pour la détermination des caractéristiques de résistance et de déformation*. 1991.
- [3] AFNOR, *NF EN 1990: ECD - Eurocode structureux : Base de calcul des structures*. 2003.
- [4] LERMAB, "NOTE-1 - Note de calculs des assemblages par vis," Feb. 2021.
- [5] AFNOR, *NF EN 1995-1-1: EC 5 - Eurocode 5 - Calcul des structures en bois - Partie 1-1 - Règles générales et règles pour les bâtiments*. 2005.
- [6] R. Lemaître, "Développement d'un outil de calcul non linéaire de dimensionnement d'assemblages bois tridimensionnels soumis à des torseurs plans," Université de Lorraine, 2020.
- [7] R. Foschi, "Load-slip characteristics of nails," *Wood Science and Technology*, pp. 69-76, 1974.
- [8] R. M. Richard and B. J. Abbott, "Versatile Elastic-Plastic Stress-Strain Formula," *Journal of the Engineering Mechanics Division*, vol. 101, no. 4, pp. 511-515, 1975.
- [9] LERMAB, "BIBLIO-1 - Rapport bibliographique des assemblages par vis," Feb. 2021.

1. RAP-1.2

Rapport d'essais des assemblages des CLT par vis



Laboratoire d'Etudes et de Recherche
sur le Matériau Bois
EA 4370 USC / INRA



Ecole Nationale Supérieure des
Technologies et Industries du Bois

CAMPAGNE D'ESSAIS VISANT A CARACTERISER LA RAIDEUR D'ASSEMBLAGES COURANTS DE STRUCTURES EN BOIS

RAP-1.2 : Rapport d'essais
alternés des assemblages de
CLT par vis

Fait à Epinal, le vendredi 17 décembre 2021

Ecole Nationale Supérieure
des Technologies et Industries du Bois
27, rue Philippe SEGUIN
CS60036
88026 EPINAL

Tél : 03-72-74-96-11
Fax : 03-72-74-96-38
e-mail : jean-françois.bocquet@univ-lorraine.fr
web : www.enstib.uhp-nancy.fr

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
1. - CONFECTION DES EPROUVETTES	3
2. - RESULTATS DES ESSAIS ALTERNES	5
2.1. MONTAGE D'ESSAI	5
2.2. DEMARCHE D'ANALYSE DES ESSAIS ALTERNES	6
2.2.1. <i>Dépouillement des essais alternés</i>	7
2.3. CONFIGURATION CIS-CYCL-6-1	10
2.3.1. <i>Echantillon</i>	10
2.3.2. <i>Résultats</i>	11
2.3.2.1. CIS-CYCL-6-1-1	11
2.3.2.2. CIS-CYCL-6-1-2	12
2.3.2.3. CIS-CYCL-6-1-3	13
2.3.2.4. CIS-CYCL-6-1-4	14
2.3.2.5. CIS-CYCL-6-1-5	15
2.3.2.6. Synthèse	16
2.4. - CONFIGURATION CIS-CYCL-9-1	23
2.4.1. <i>Echantillon</i>	23
2.4.2. <i>Résultats</i>	24
2.4.2.1. CIS-CYCL-9-1-1	24
2.4.2.2. CIS-CYCL-9-1-2	25
2.4.2.3. CIS-CYCL-9-1-3	26
2.4.2.4. CIS-CYCL-9-1-4	27
2.4.2.5. CIS-CYCL-9-1-5	28
2.4.2.6. Synthèse	29
2.5. - CONFIGURATION CIS-CYCL-9-2	36
2.5.1. <i>Echantillon</i>	36
2.5.2. <i>Résultats</i>	37
2.5.2.1. CIS-CYCL-9-2-1	37
2.5.2.2. CIS-CYCL-9-2-2	38
2.5.2.3. CIS-CYCL-9-2-3	39
2.5.2.4. CIS-CYCL-9-2-4	40
2.5.2.5. CIS-CYCL-9-2-5	41
2.5.2.6. Synthèse	42
3. - CONCLUSIONS	47
4. - BIBLIOGRAPHIE :	48

1. - CONFECTION DES EPROUVETTES

Pour confectionner les éprouvettes des essais alternés, il a été décidé d'usiner les trois éléments constituant l'assemblage de manière séparée. Un montage d'usinage a été créé sur la table du robot pour assurer le positionnement et le maintien des pièces à l'aide de serre-joints. La mise à longueur ainsi que la coupe à l'angle des surfaces d'appui ont été usinées à l'aide du portique robot 6 axes possédant une lame de scie de diamètre 400mm (cf. Figure I-1).



Figure I-1 : Découpe à l'angle de la face d'appui.

Un calibre à plaquettes de diamètre 120mm a été utilisé pour l'usinage des rainures et des mi-bois (cf. Figure I-2).



Figure I-2 : Usinage des rainures avec le calibre.

Lors du montage des échantillons d'essais, deux plaques métalliques graissées d'une épaisseur de 1 mm chacune ont été intégrées entre les faces parallèles des éléments afin d'avoir le même état de surface que pour les essais statiques (cf. Figure 1-3).



Figure 1-3 : Intégration des plaques métalliques graissées.

Pour également limiter le frottement en début de chargement, un jeu de 2 mm a été intégré dans les assemblages mi-bois (cf. Figure 1-4). Pour les assemblages à rainures et languettes, des cales d'une épaisseur de 2 mm ont été introduites entre les éléments CLT et LVL afin de ménager ce même jeu.



Figure 1-4 : Jeu d'assemblage pour les échantillons possédant un mi-bois.

2. – RESULTATS DES ESSAIS ALTERNES

2.1. MONTAGE D'ESSAI

La Figure 2-1 présente le montage d'essais adoptés pour effectuer les essais alternés. Sur les échantillons, quatre capteurs LVDT ont été positionnés au milieu et de part et d'autre des plans de cisaillement permettant d'obtenir un déplacement moyen de l'assemblage.



Figure 2-1 : Montage des essais alternés de couture de panneaux GLT

2.2. DEMARCHE D'ANALYSE DES ESSAIS ALTERNES

Pour rappel, la présentation des résultats des essais alternés est réalisée de la manière suivante :

- ✓ Courbe de l'effort de cisaillement constitué du même nombre d'assemblage unitaires que les essais statiques (F_v) en fonction du glissement moyen longitudinal (u_{moyen}).
- (F_v) : **Valeur de l'effort de cisaillement comparable à l'effort d'assemblage obtenu par essai statique [kN]** (ceci est fait afin de pouvoir comparer en direct les courbes ci-dessous aux courbes obtenues par essais statiques)
 - Pour la configuration CIS-CYCL-6-1, testée avec 8 assemblages unitaires (4 par plan de cisaillement), l'effort vérin est directement comparable à l'effort vérin statique CIS-6-1).
 - Pour les configurations CIS-CYCL-9-1 et CIS-CYCL-9-2 testées avec 8 assemblages unitaires, l'effort vérin est divisé par deux afin d'avoir un effort comparable aux configurations CIS-9-1 et CIS-9-2 respectives.
- **Définition du glissement moyen sur les essais expérimentaux**

Le valeur moyenne du glissement d'assemblage est définie comme étant la moyenne des déplacements des 4 capteurs LVDT.

La Figure 2-2 présente un type de courbe obtenu lors des essais alternés.

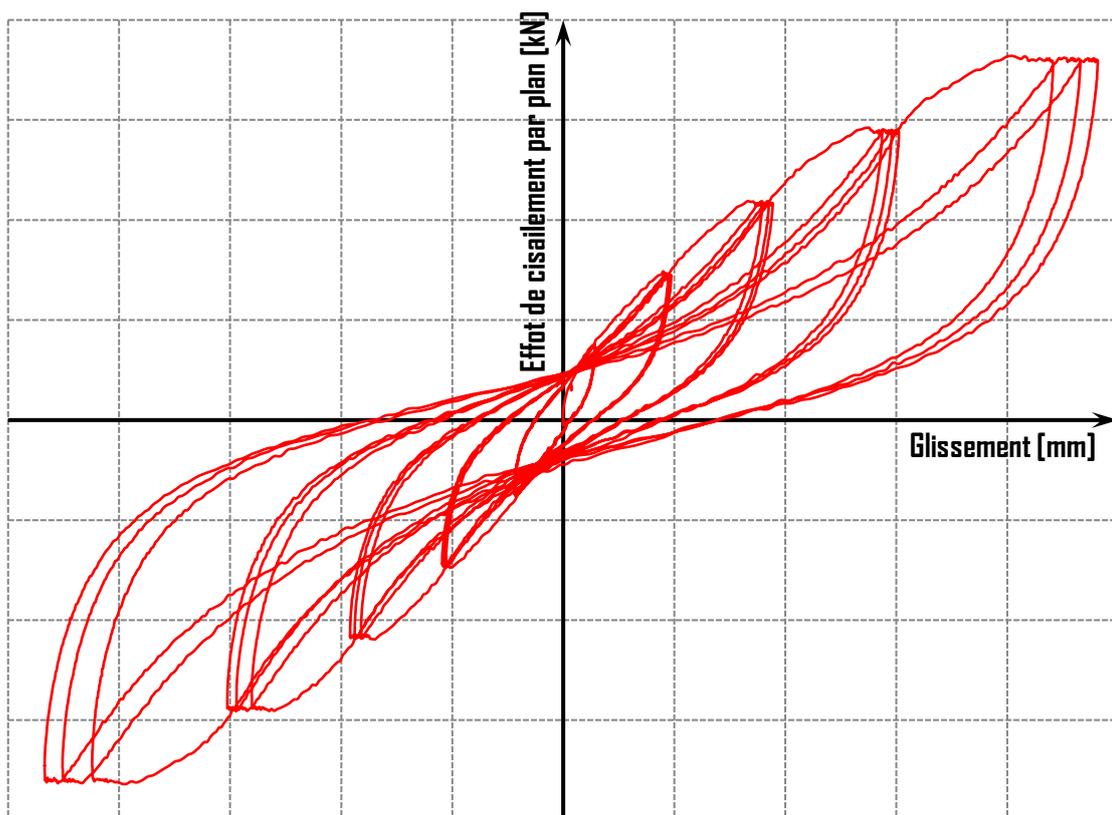


Figure 2-2 : Courbe expérimentale idéalisée

2.2.1. Dépouillement des essais alternés

Pour donner suite à une analyse bibliographique, Richard & al. [1] ont proposé d'établir des fonctions analytiques. Ces dernières permettent d'établir un modèle « hystérétique » de comportement d'assemblage. Pour notre cas d'étude, il est choisi :

- d'établir ce modèle « hystérétique » pour un assemblage unitaire, c'est-à-dire que les courbes présentées ci-dessus seront divisées par 8, le nombre d'assemblages unitaires testés dans chaque configuration.
- d'établir ce modèle uniquement sur la sollicitation en compression, supposant ainsi un comportement identique en traction de l'assemblage.
- d'établir ce modèle sur le dernier comportement « hystérétique » de chacun des seuils. Pour rappel, trois cycles ont été effectués pour chacun des seuils définis.

Le modèle hystérétique est composé de deux formules, une pour le comportement de chargement, l'autre pour le comportement en décharge.

Pour le comportement de l'assemblage en charge (cf. Figure 2-3 Trait continu rouge), l'équation est :

$$(P_1 + K_5 \times \delta) \times \left(1 + \exp \left(K_y \times \frac{(U_{A,C} + \delta)}{2 \times P_1} \right) \right)$$

Pour le comportement de l'assemblage en charge (cf. Figure 2-3 Traits pointillés rouges), l'équation est :

$$(P_2 + K_4 \times \delta) \times \left(1 + \exp \left(K_0 \times \frac{(U_{A,D} - \delta)}{2 \times P_1} \right) \right)$$

Au regard du protocole établi pour ces essais, il est possible de définir les paramètres de ces deux équations en fonction du seuil de sollicitation, dans notre cas, 5 seuils. Ces paramètres sont identifiés dans la Figure 2-3.

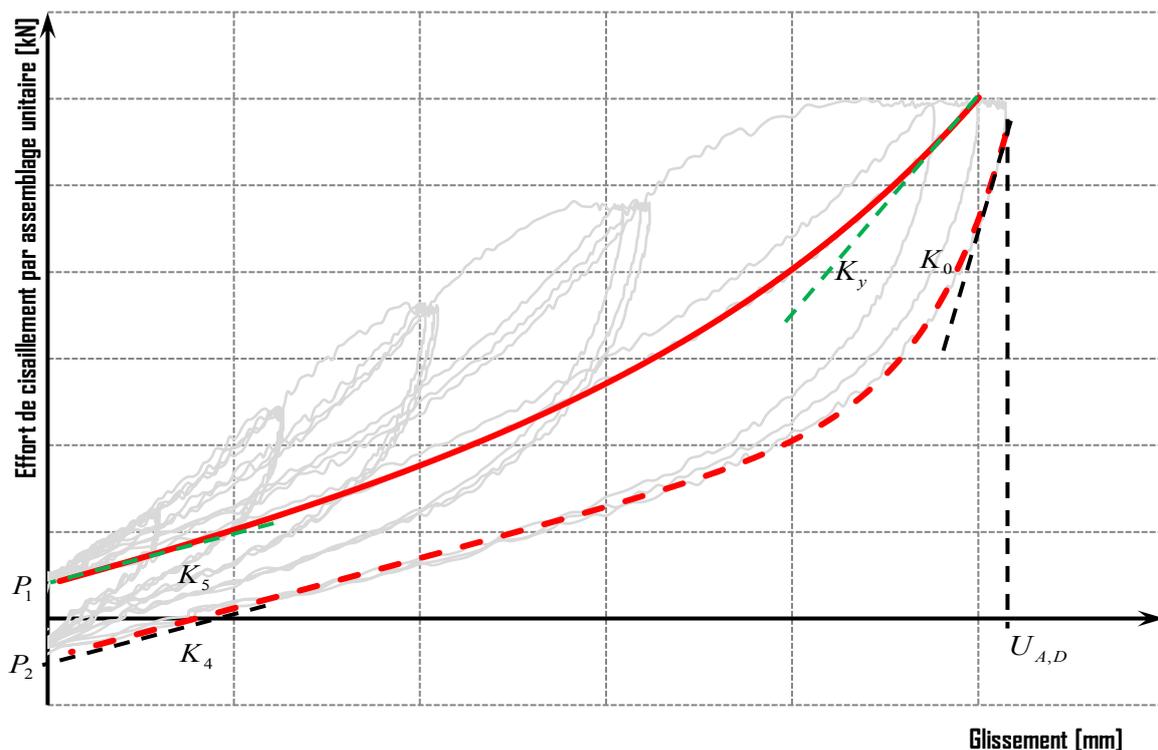


Figure 2-3 : Courbe expérimentale idéalisée

- ✓ P_1 : Valeur de l'effort de cisaillement définie à l'intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées pour le comportement en charge en [kN]
- ✓ K_5 : Valeur de la raideur initiale d'assemblage du comportement en charge en [kN/mm]
- ✓ K_y : Valeur de la raideur finale d'assemblage du comportement en charge en [kN/mm]
- ✓ $U_{A,C}$: Valeur maximale du glissement d'assemblage obtenu lors de la phase de charge en [mm]
- ✓ P_2 : Valeur de l'effort de cisaillement définie à l'intersection de la courbe avec l'axe des ordonnées pour le comportement en décharge en [kN]
- ✓ K_4 : Valeur de la raideur finale d'assemblage du comportement en décharge en [kN/mm]
- ✓ K_0 : Valeur de la raideur initiale d'assemblage du comportement en décharge en [kN/mm]
- ✓ $U_{A,D}$: Valeur maximale du glissement d'assemblage obtenu lors de la phase de décharge en [mm]

Ces 8 paramètres seront définis à l'aide de la minimisation des moindres carrés sur l'ensemble de comportement étudiés.

2.3. CONFIGURATION CIS-CYCL-6-1

2.3.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-CYCL-6-1 reproduit le comportement d'un assemblage rainure et languette en LVL d'une épaisseur de 27 mm avec des vis à filetage total de diamètre 8 mm et d'une longueur de 140 mm positionnées perpendiculairement au plan de cisaillement. Les dispositions constructives sont restées identiques à celles des essais statiques. Elles sont représentées en Figure 2-4.

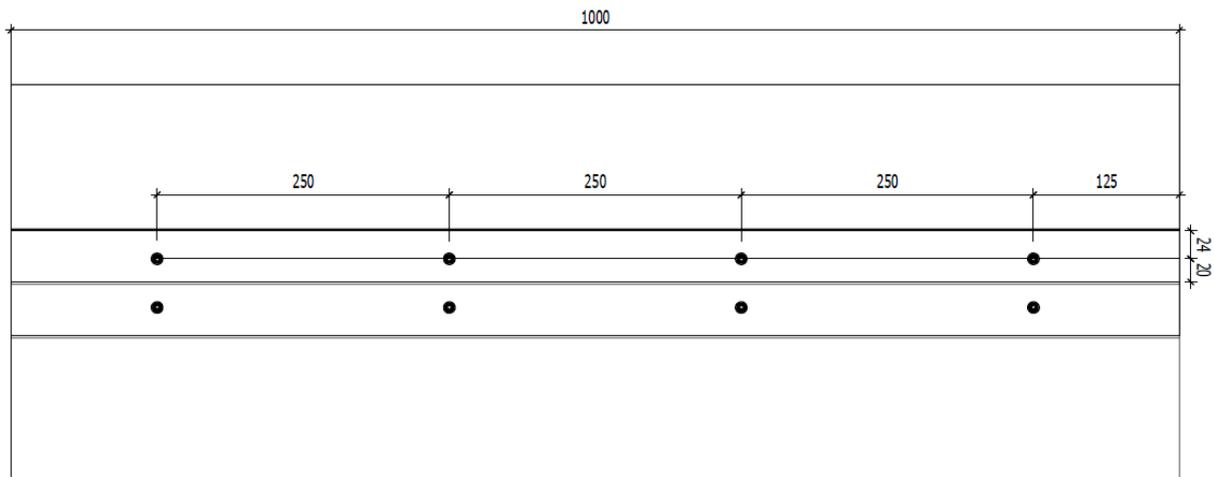


Figure 2-4 : Pinces de mise en œuvre pour la configuration CIS-CYCL-6-1

Le Tableau 2-1 présente la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité pour la configuration CIS-CYCL-6-1.

Tableau 2-1 : Masse volumique des éléments de la configuration CIS-CYCL-6-1

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique [kg/m ³]
6-1	1	457
	2	468
	3	453
	4	437
	5	453

2.3.2. Résultats

2.3.2.1. CIS-CYCL-6-1-1

La Figure 2-5 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

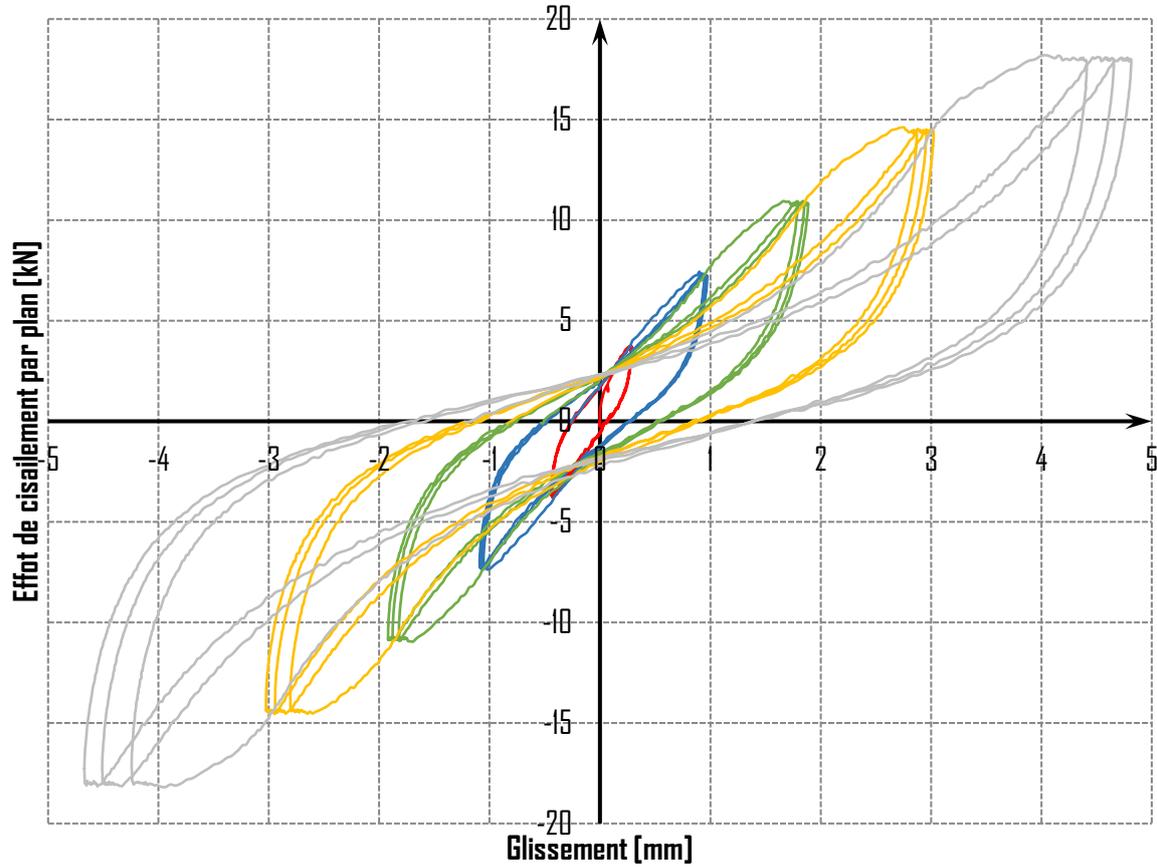


Figure 2-5 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-6-1-1

2.3.2.2. CIS-CYCL-6-1-2

La Figure 2-6 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

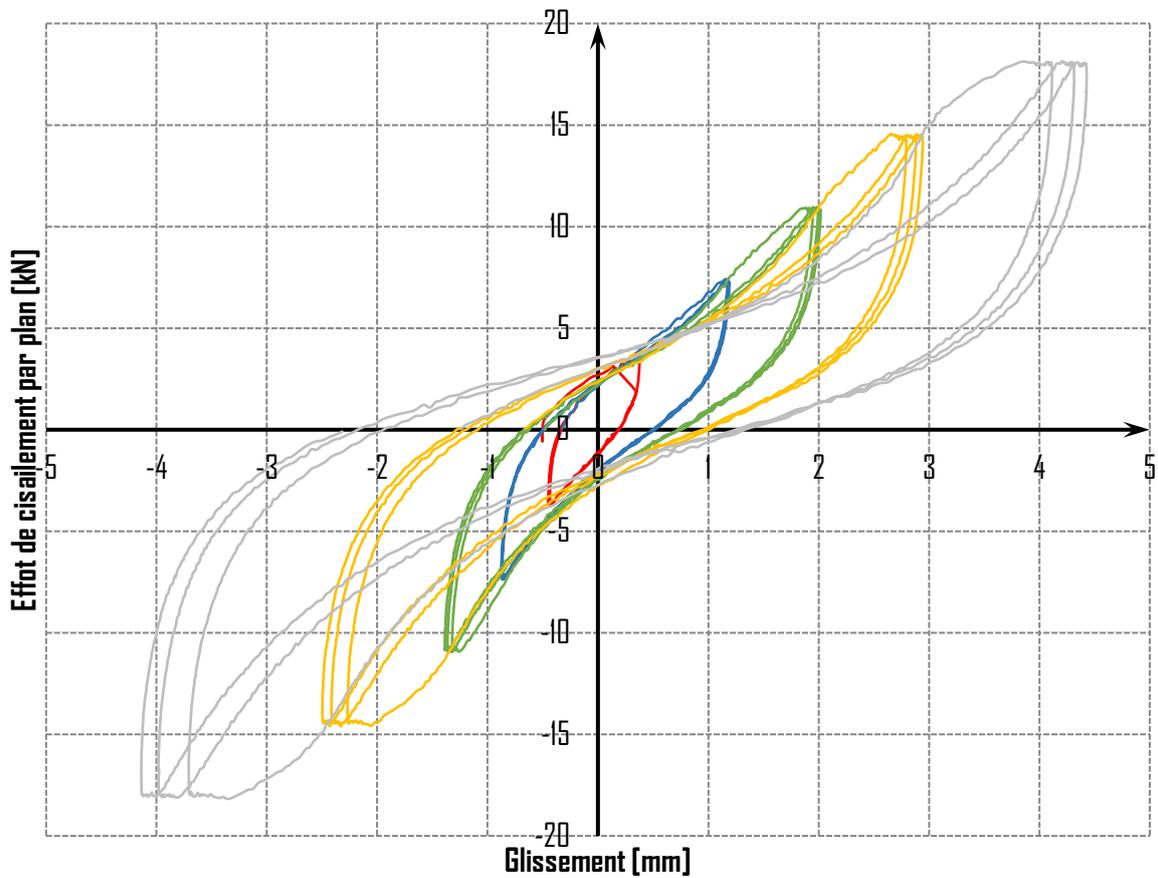


Figure 2-6 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-6-1-2

2.3.2.3. CIS-CYCL-6-1-3

La Figure 2-7 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

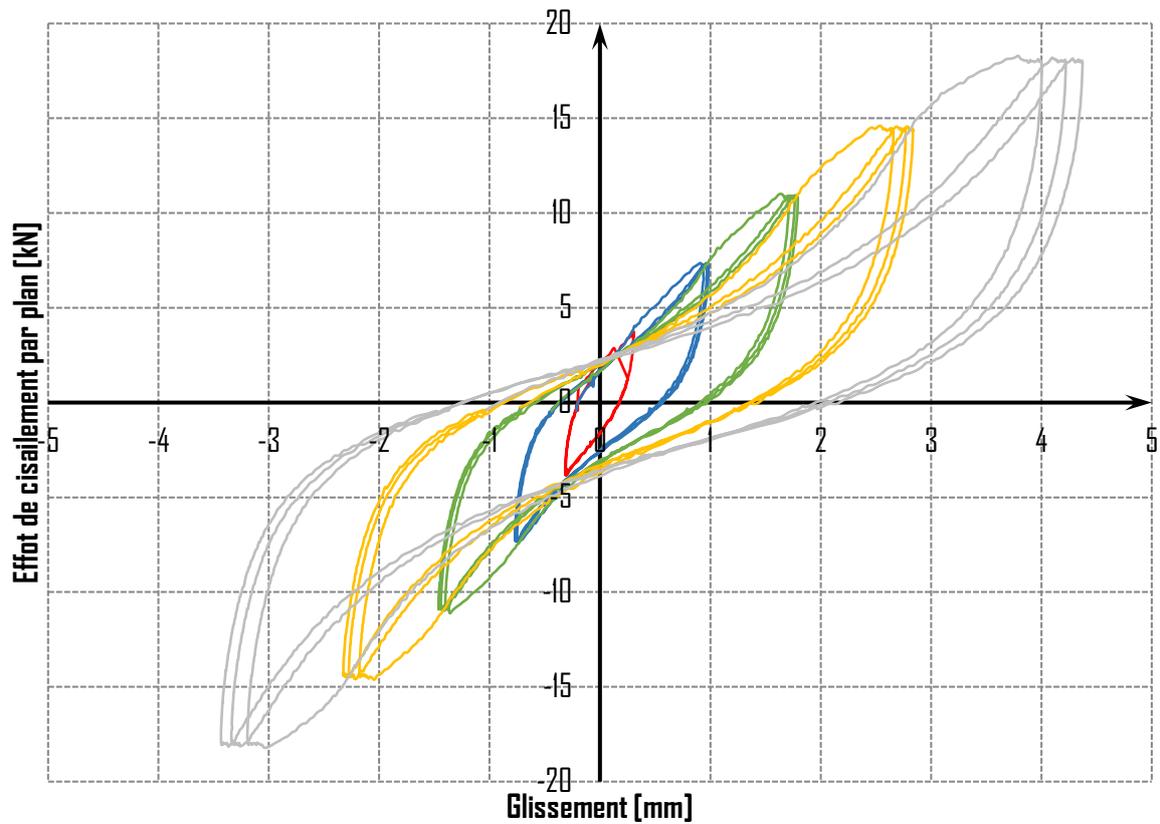


Figure 2-7 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-6-1-3

2.3.2.4. CIS-CYCL-6-1-4

La Figure 2-8 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

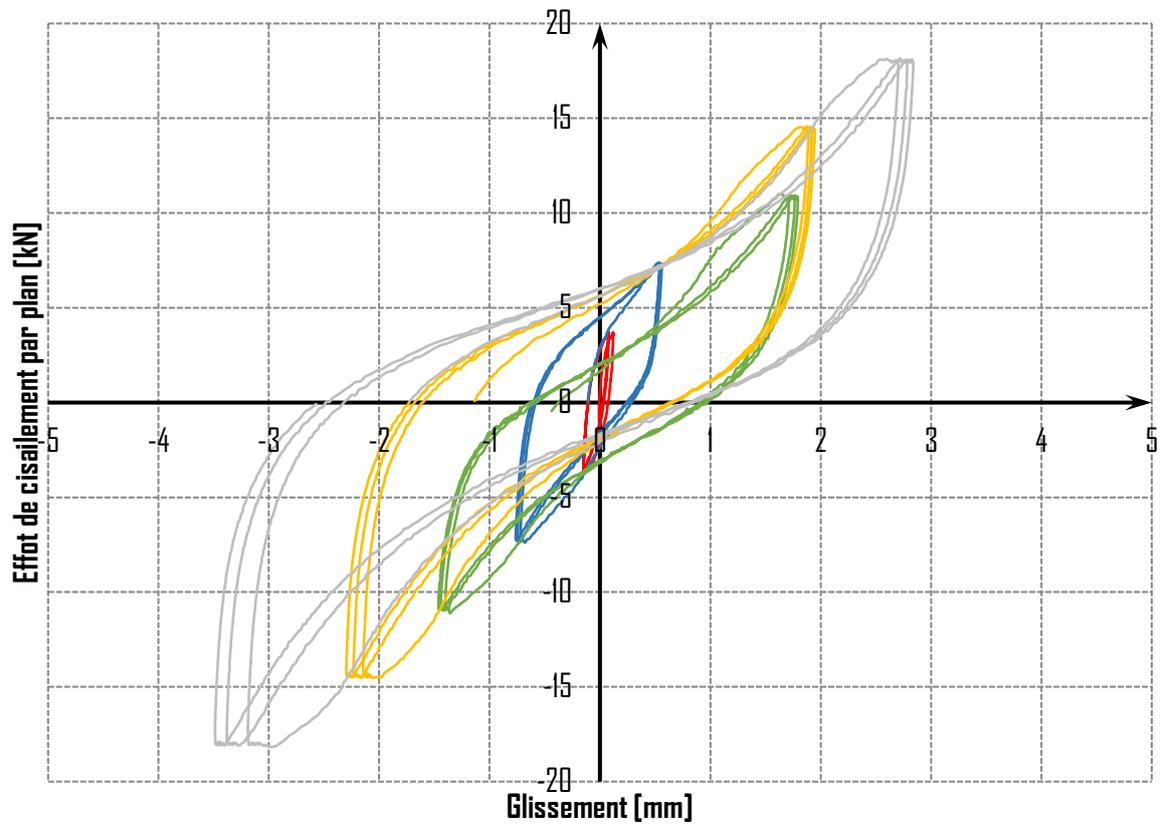


Figure 2-8 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-6-1-4

2.3.2.5. CIS-CYCL-6-1-5

La Figure 2-9 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

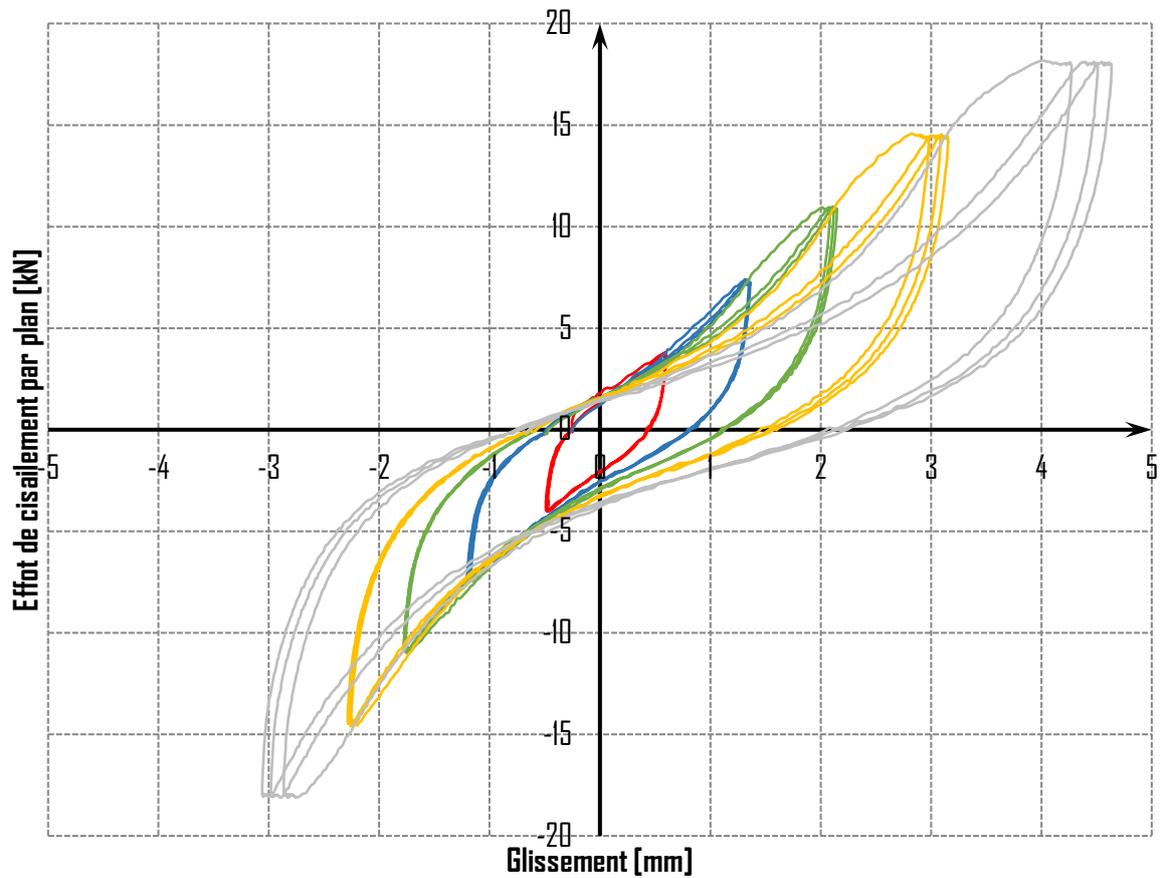


Figure 2-9 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-6-1-5

2.3.2.6. Synthèse

La Figure 2-10 présente les courbes de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblables pour l'ensemble des échantillons, excepté pour un essai lorsque l'échantillon est sollicité en compression.

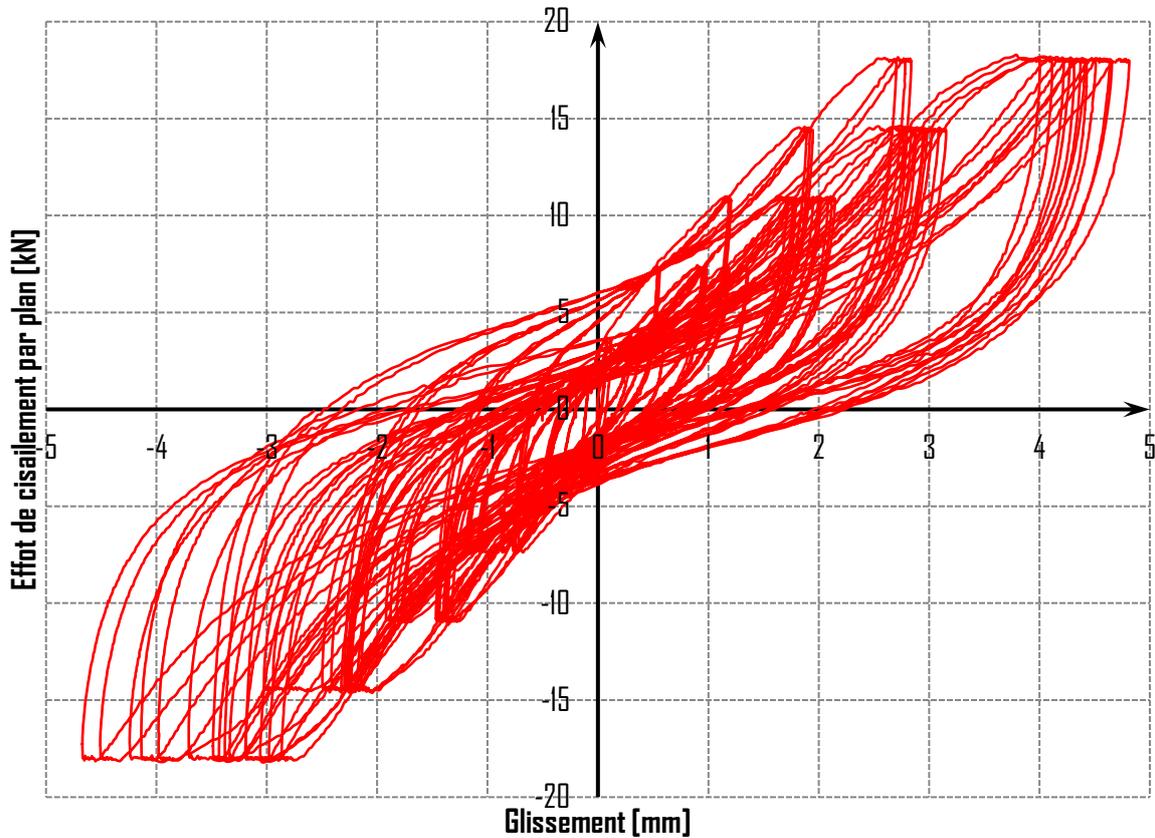


Figure 2-10 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-CYCL-G-1

Les différentes valeurs des paramètres pour un assemblage unitaire sont synthétisées dans les tableaux ci-dessous respectivement pour les seuils de 20%, 40%, 60%, 80% et 100% du seuil plastique défini dans le protocole [2]. Pour rappel, ce seuil s'élève à 2,375 kN pour un assemblage unitaire.

Tableau 2-2 : Résultats des paramètres des lois pour le seuil de 20% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-6-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	P ₁	K ₅	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.96	-0.06	30.00	0.28	0.21	0.91	19.55	-1.49
CIS-CYC-6-1-2	0.79	-0.16	70.00	0.35	0.30	0.60	20.00	-0.98
CIS-CYC-6-1-3	1.38	-0.23	55.00	0.30	0.20	0.85	35.23	-0.76
CIS-CYC-6-1-4	1.75	-0.14	70.00	0.08	0.36	1.05	29.52	-0.74
CIS-CYC-6-1-5	0.45	-0.12	67.30	0.58	0.14	0.51	20.00	-0.98
Moyenne	1.06	-0.14	58.46	0.32	0.24	0.78	24.86	-0.99
Maximum	1.75	-0.06	70.00	0.58	0.36	1.05	35.23	-0.74
Minimum	0.45	-0.23	30.00	0.08	0.14	0.51	19.55	-1.49
Ecart type	0.51	0.06	17.08	0.18	0.09	0.22	7.15	0.30
COV	47.98%	-42.99%	29.21%	56.72%	36.81%	28.45%	28.77%	-30.59%

Tableau 2-3 : Résultats des paramètres des lois pour le seuil de 40% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-6-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	P ₁	K ₅	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.58	-0.16	23.92	0.96	0.21	0.38	3.46	-1.49
CIS-CYC-6-1-2	0.56	-0.27	59.22	1.18	0.30	0.34	12.40	-1.60
CIS-CYC-6-1-3	0.61	-0.33	44.58	0.89	0.21	0.51	9.06	-1.42
CIS-CYC-6-1-4	0.87	-0.21	53.76	0.49	0.56	0.43	29.52	-1.05
CIS-CYC-6-1-5	0.45	-0.35	52.31	1.27	0.17	0.30	4.36	-1.67
Moyenne	0.61	-0.26	46.76	0.96	0.29	0.39	11.76	-1.45
Maximum	0.87	-0.16	59.22	1.27	0.56	0.51	29.52	-1.05
Minimum	0.45	-0.35	23.92	0.49	0.17	0.30	3.46	-1.67
Ecart type	0.16	0.08	13.80	0.31	0.16	0.08	10.57	0.24
COV	25.56%	-30.63%	29.51%	31.94%	53.92%	21.23%	89.83%	-16.57%

Tableau 2-4 : Résultats des paramètres des lois pour le seuil de 60% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-6-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	P ₁	K ₅	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.41	-0.22	17.32	1.82	0.24	0.28	3.46	-2.10
CIS-CYC-6-1-2	0.44	-0.31	36.64	1.99	0.30	0.30	6.71	-2.45
CIS-CYC-6-1-3	0.45	-0.41	37.89	1.66	0.22	0.28	3.56	-1.91
CIS-CYC-6-1-4	0.59	-0.25	42.20	1.15	0.56	0.22	10.22	-1.54
CIS-CYC-6-1-5	0.38	-0.40	33.92	2.01	0.17	0.24	2.76	-2.09
Moyenne	0.45	-0.32	33.59	1.73	0.30	0.26	5.34	-2.02
Maximum	0.59	-0.22	42.20	2.01	0.56	0.30	10.22	-1.54
Minimum	0.38	-0.41	17.32	1.15	0.17	0.22	2.76	-2.45
Ecart type	0.08	0.09	9.58	0.35	0.15	0.03	3.13	0.33
COV	17.59%	-26.81%	28.51%	20.46%	51.27%	13.24%	58.49%	-16.51%

Tableau 2-5 : Résultats des paramètres des lois pour le seuil de 80% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-6-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	P ₁	K ₅	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.30	-0.26	16.00	2.90	0.25	0.23	3.46	-3.15
CIS-CYC-6-1-2	0.35	-0.31	29.14	2.90	0.38	0.23	6.71	-3.24
CIS-CYC-6-1-3	0.35	-0.46	29.61	2.66	0.25	0.24	3.62	-2.84
CIS-CYC-6-1-4	0.47	-0.28	35.92	1.88	0.62	0.19	9.41	-2.11
CIS-CYC-6-1-5	0.31	-0.45	25.26	2.94	0.16	0.21	2.06	-2.86
Moyenne	0.36	-0.35	27.19	2.65	0.33	0.22	5.05	-2.84
Maximum	0.47	-0.26	35.92	2.94	0.62	0.24	9.41	-2.11
Minimum	0.30	-0.46	16.00	1.88	0.16	0.19	2.06	-3.24
Ecart type	0.07	0.09	7.33	0.45	0.18	0.02	2.97	0.44
COV	18.33%	-26.85%	26.96%	16.85%	53.53%	8.82%	58.77%	-15.57%

Tableau 2-6 : Résultats des paramètres des lois pour le seuil de 100% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-6-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	P ₁	K ₅	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.22	-0.31	14.00	4.61	0.25	0.15	2.12	-4.12
CIS-CYC-6-1-2	0.25	-0.33	18.67	4.33	0.38	0.23	5.36	-4.81
CIS-CYC-6-1-3	0.26	-0.51	24.95	4.12	0.25	0.17	2.37	-3.76
CIS-CYC-6-1-4	0.38	-0.30	25.52	2.74	0.67	0.17	8.40	-2.77
CIS-CYC-6-1-5	0.24	-0.49	20.01	4.30	0.15	0.15	1.27	-3.42
Moyenne	0.27	-0.39	20.63	4.02	0.34	0.17	3.90	-3.78
Maximum	0.38	-0.30	25.52	4.61	0.67	0.23	8.40	-2.77
Minimum	0.22	-0.51	14.00	2.74	0.15	0.15	1.27	-4.81
Ecart type	0.06	0.10	4.76	0.74	0.20	0.03	2.95	0.76
COV	22.67%	-26.97%	23.08%	18.34%	59.69%	19.21%	75.59%	-20.20%

Suite à la présentation des valeurs des paramètres du modèle hystérétique, il est possible de définir des fonctions représentant ces paramètres en fonction du niveau de charge de cisaillement plastique. L'allure des évolutions sont présentées sur les figures ci-dessous. L'équation de la fonction propre à chaque paramètre est affichée également sur le graphe.

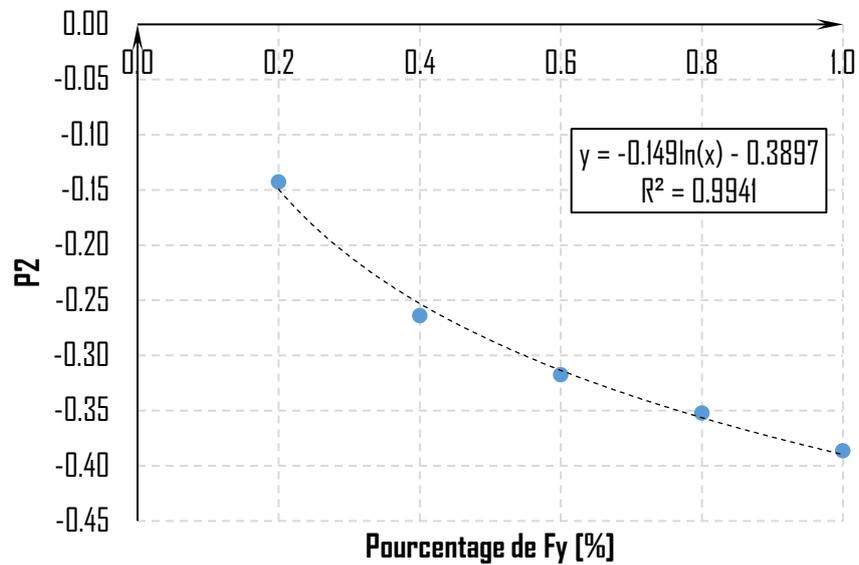


Figure 2-11 : Evolution du paramètre P_2 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-B-1

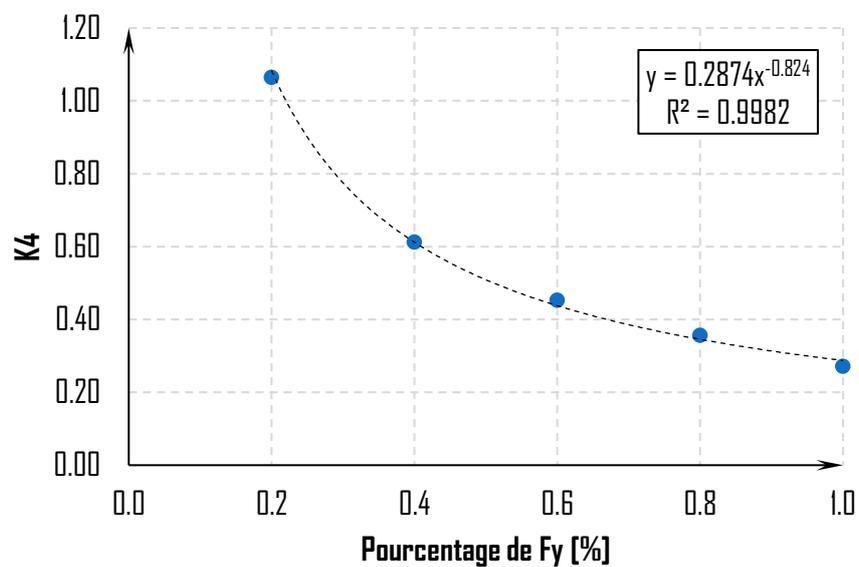


Figure 2-12 : Evolution du paramètre K_4 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-B-1

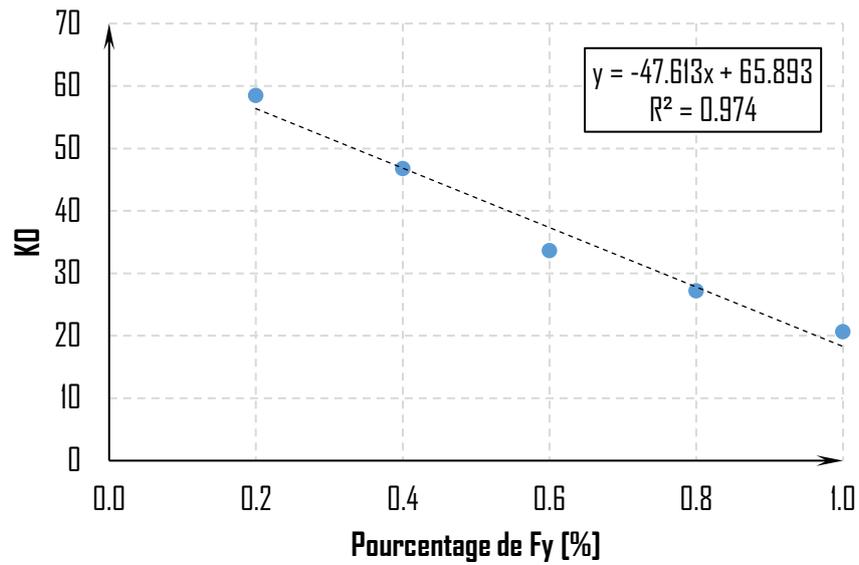


Figure 2-13 : Evolution du paramètre K_D en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-6-1

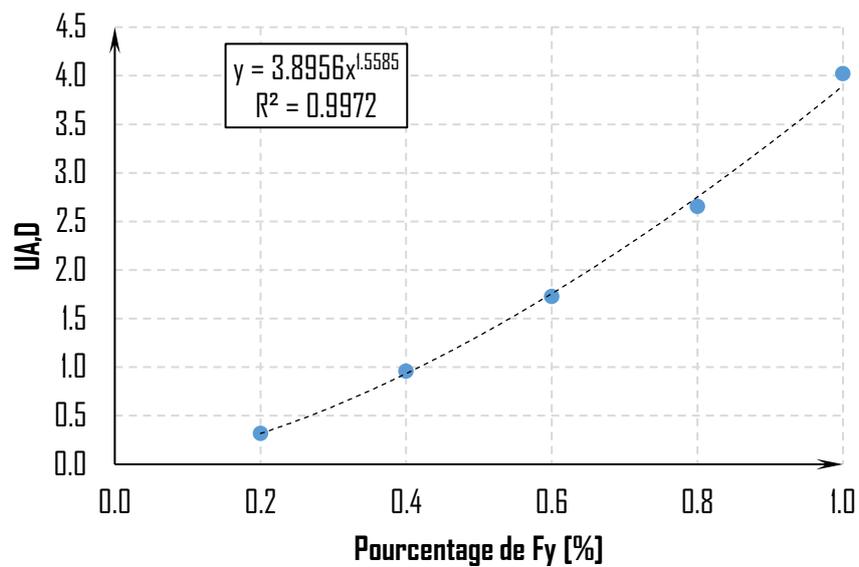


Figure 2-14 : Evolution du paramètre $U_{A,D}$ en fonction niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-6-1

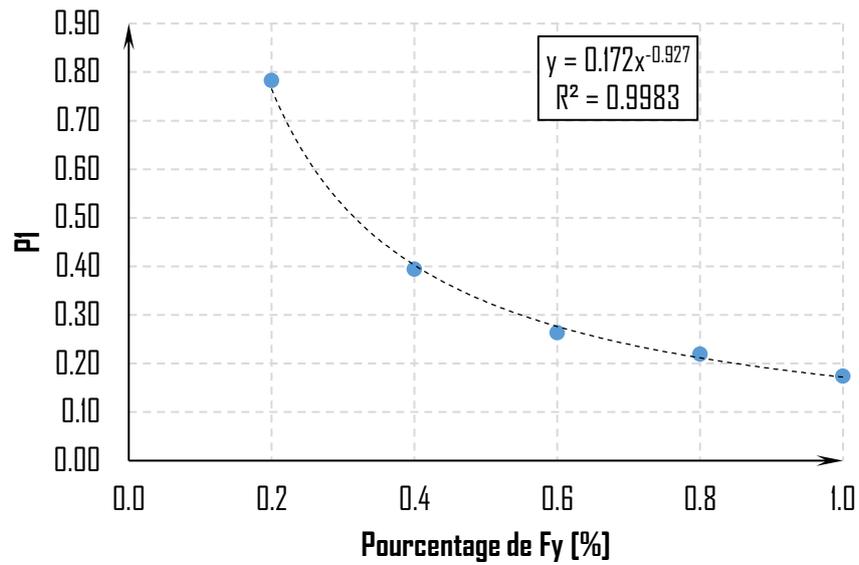


Figure 2-15 : Evolution du paramètre P_1 en fonction niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-6-1

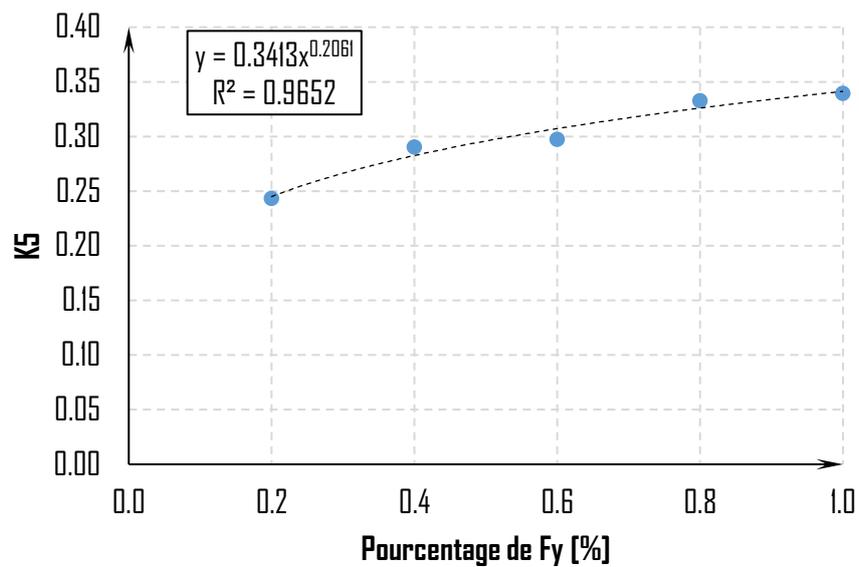


Figure 2-16 : Evolution du paramètre K_5 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-6-1

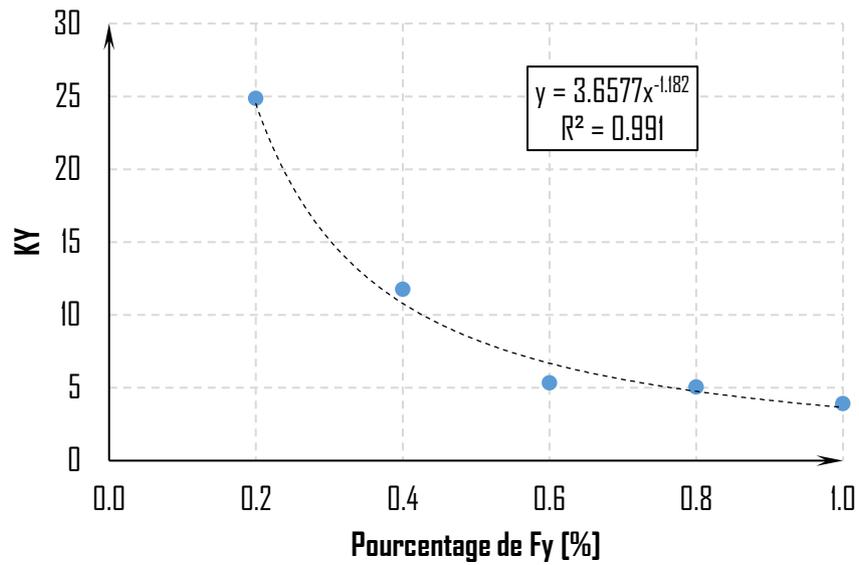


Figure 2-17 : Evolution du paramètre K_Y en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-6-1

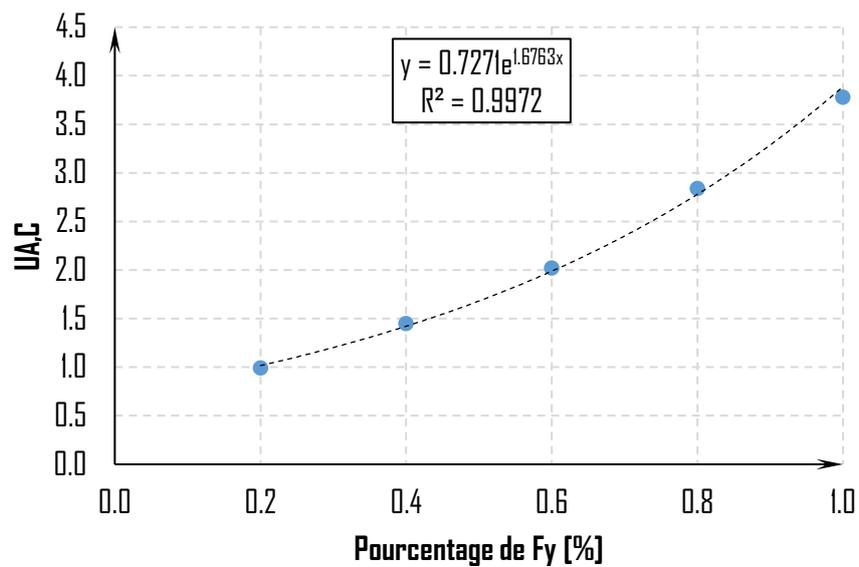


Figure 2-18 : Evolution du paramètre $U_{A,C}$ en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-6-1

2.4. - CONFIGURATION CIS-CYCL-9-1

2.4.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-CYCL-9-1 reproduit le comportement d'un assemblage mi-bois avec des vis de diamètre 8 mm et de longueur 140 mm, positionnée perpendiculairement au plan de cisaillement. Les dispositions constructives sont restées identiques à celles des essais statiques. Elles sont représentées en Figure 2-19.

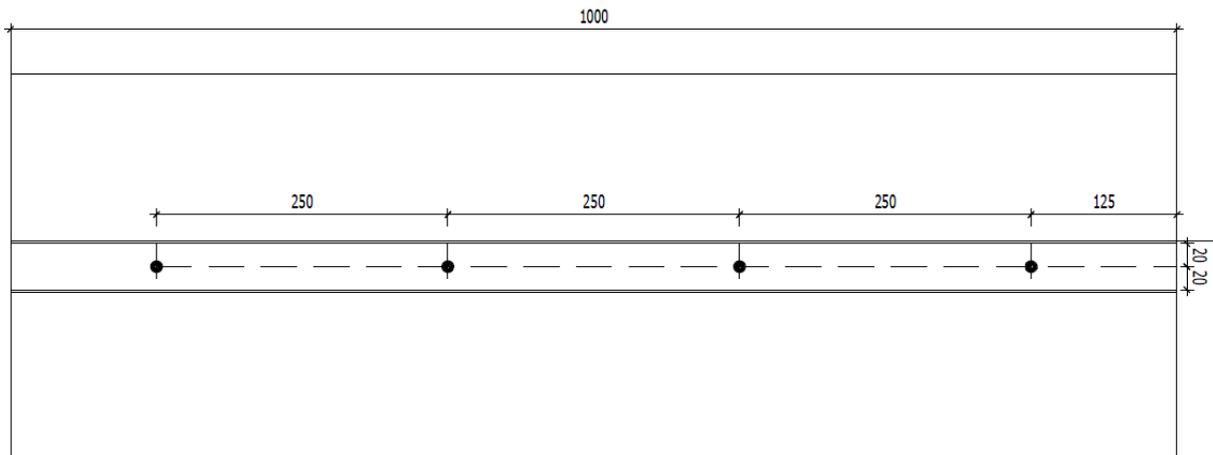


Figure 2-19 : Pincés de mise en œuvre pour la configuration CIS-CYCL-9-1

Le Tableau 2-7 présente la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité.

Tableau 2-7 : Masse volumique des bois de la configuration CIS-CYCL-9-1

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique [kg/m ³]
9.1	1	437
	2	451
	3	459
	4	437
	5	445

2.4.2. Résultats

2.4.2.1. CIS-CYCL-9-1-1

La Figure 2-20 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

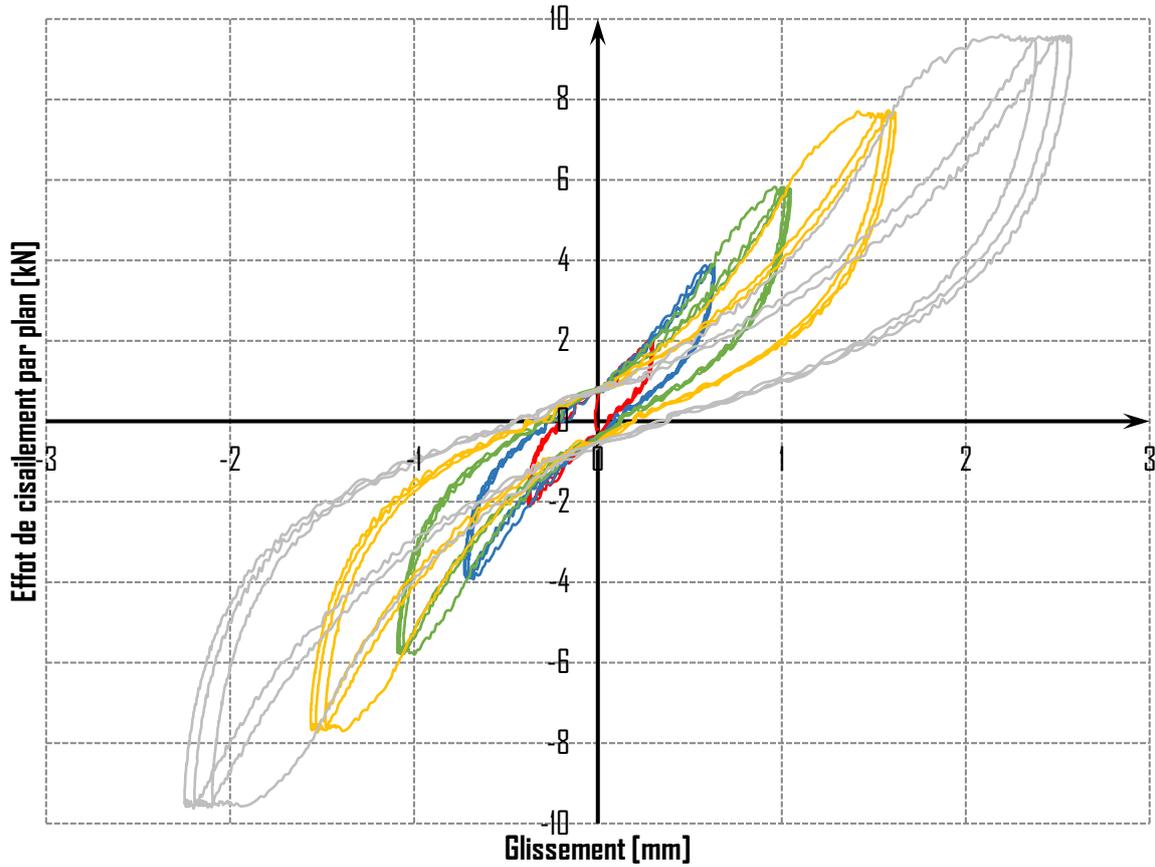


Figure 2-20 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-1-1

2.4.2.2. CIS-CYCL-9-1-2

La Figure 2-21 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

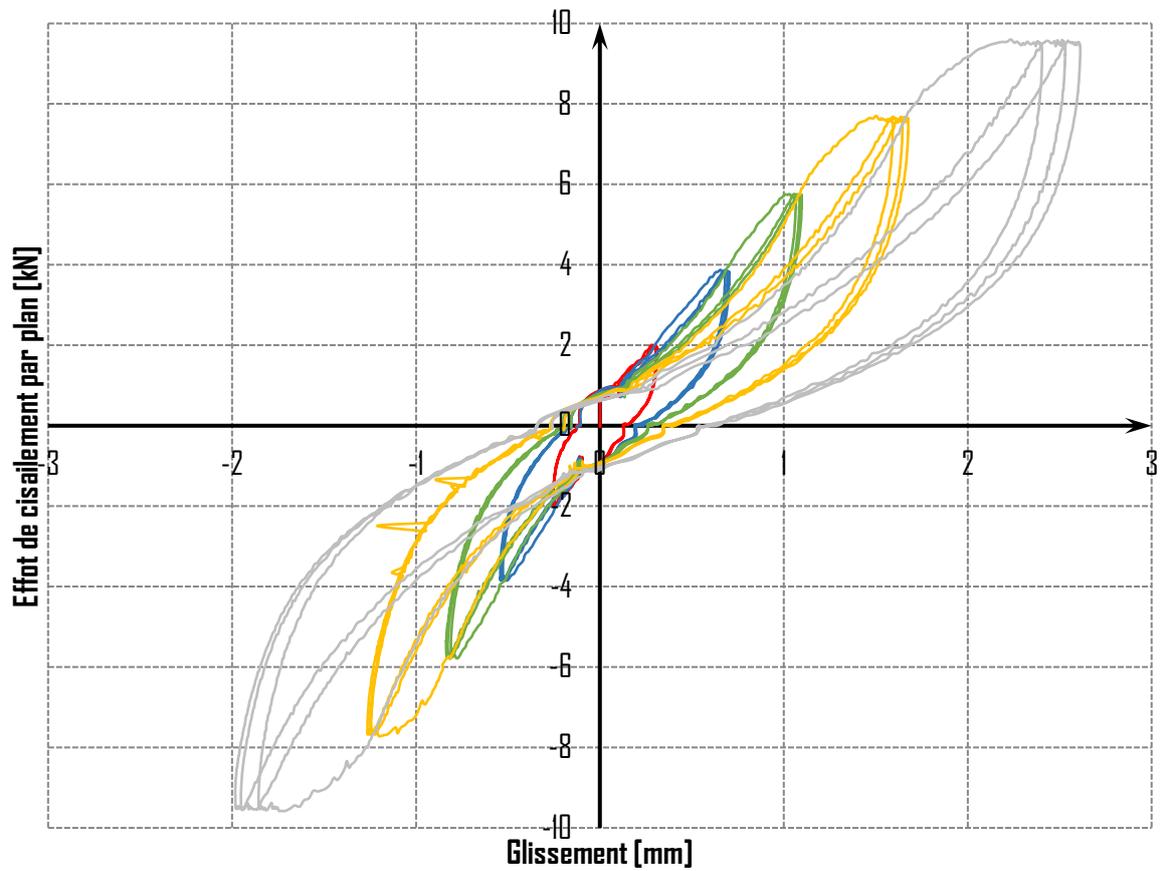


Figure 2-21 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-1-2

2.4.2.3. CIS-CYCL-9-1-3

La Figure 2-22 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

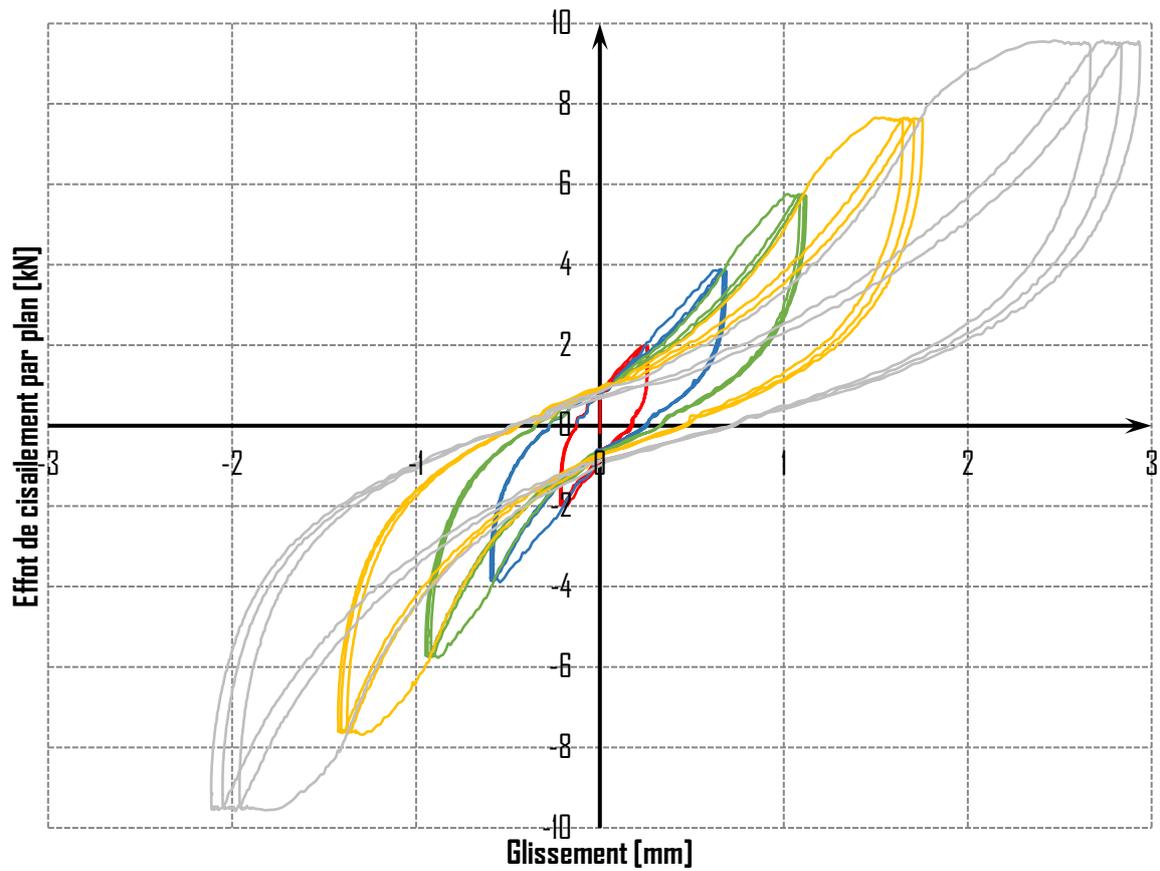


Figure 2-22 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-1-3

2.4.2.4. CIS-CYCL-9-1-4

La Figure 2-23 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

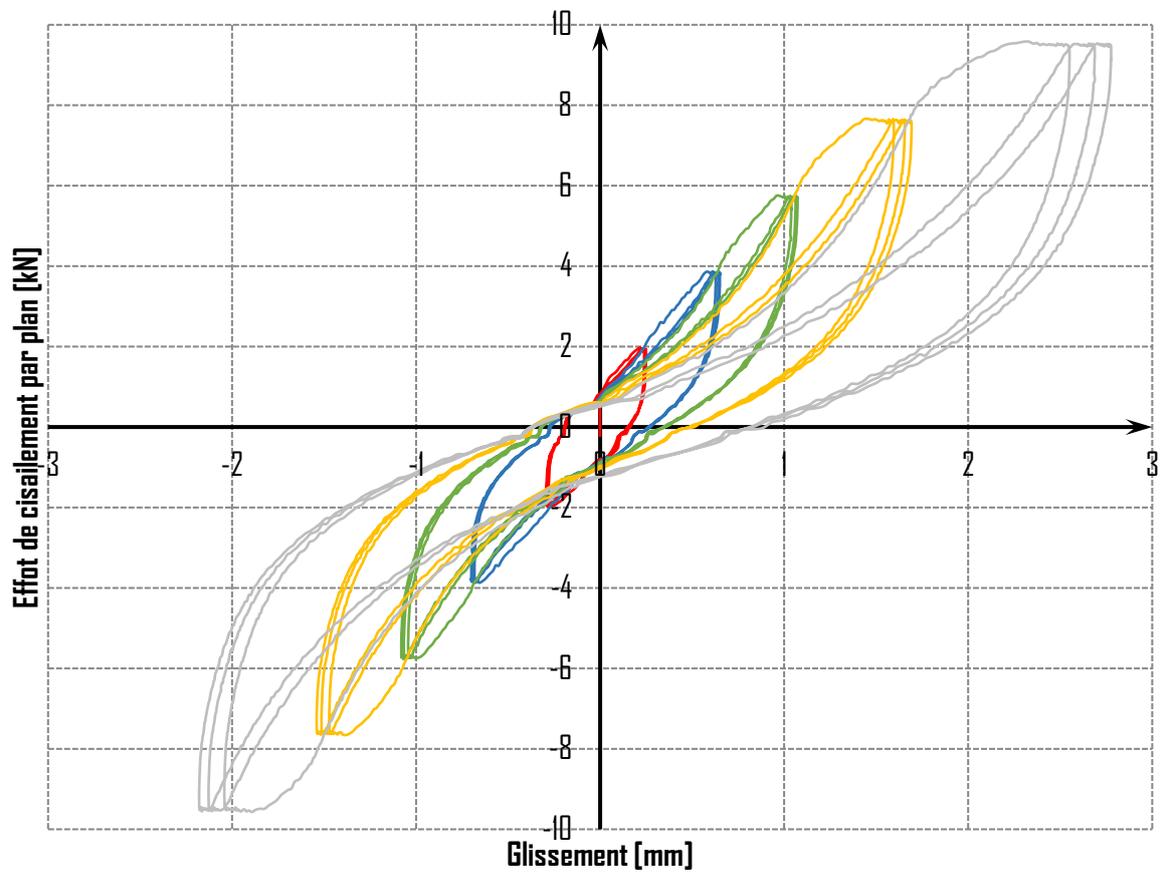


Figure 2-23 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-1-4

2.4.2.5. CIS-CYCL-9-1-5

La Figure 2-24 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

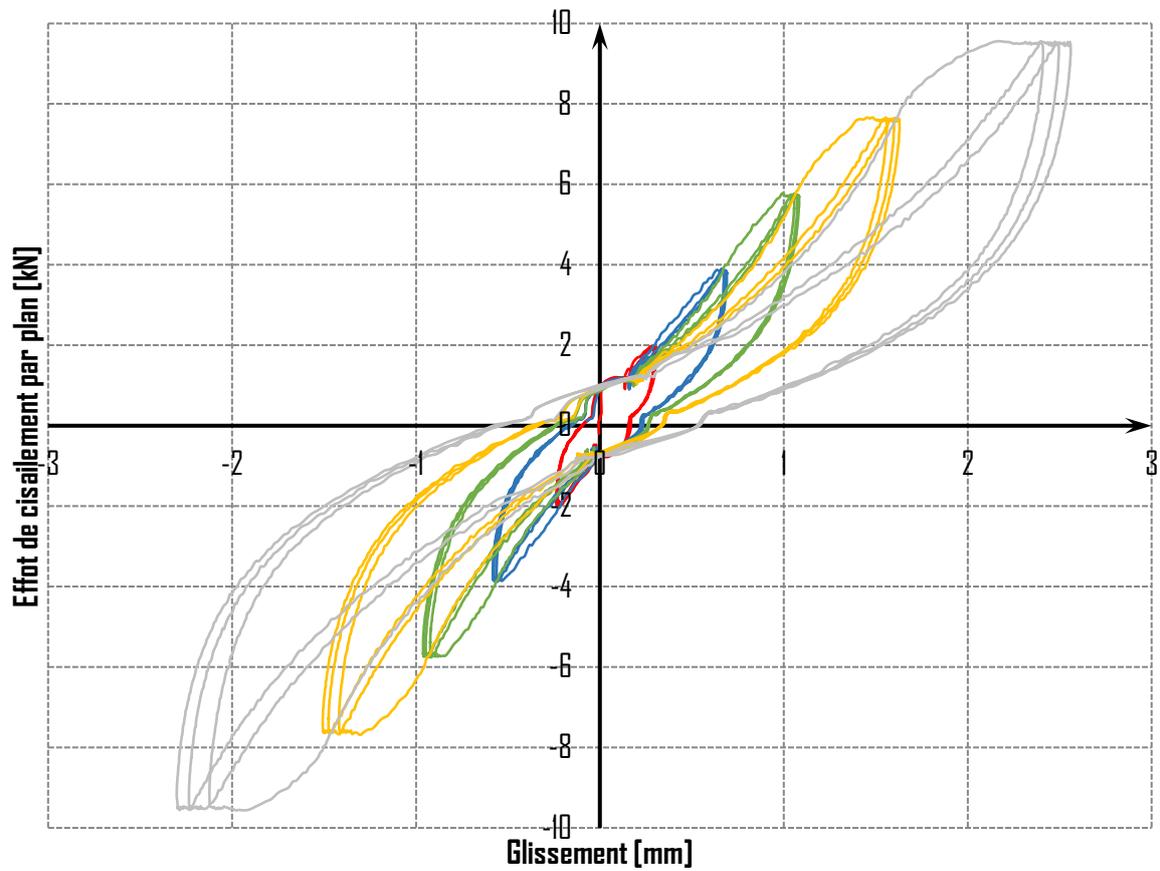


Figure 2-24 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-1-5

2.4.2.6. Synthèse

La Figure 2-25 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons.

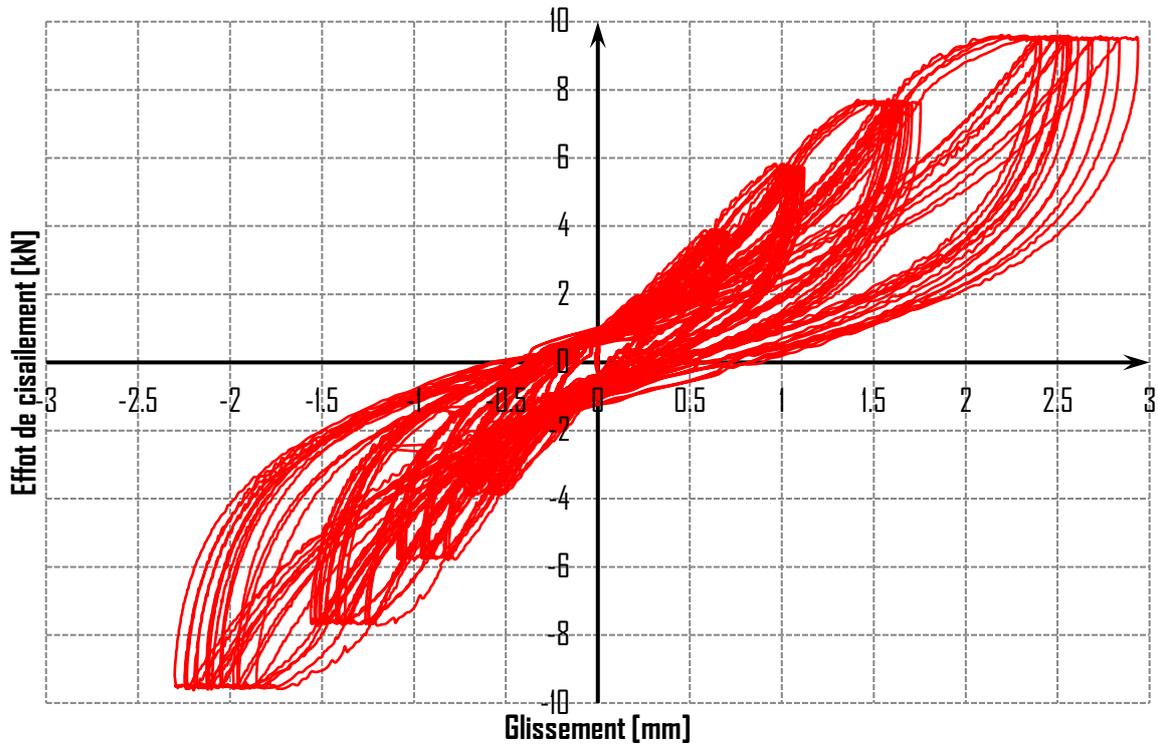


Figure 2-25 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-CYCL-9-1

Les différentes valeurs des paramètres pour un assemblage unitaire sont synthétisées dans les tableaux ci-dessous respectivement pour les seuils de 20%, 40%, 60%, 80% et 100% du seuil plastique défini dans le protocole [2]. Pour rappel, ce seuil s'élève à 2,25 kN pour un assemblage unitaire.

Tableau 2-8 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 20% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	K ₅	P ₁	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.61	-0.05	151.00	0.30	0.55	0.09	30.76	-0.89
CIS-CYC-6-1-2	0.70	-0.11	151.63	0.31	0.55	0.09	30.75	-1.02
CIS-CYC-6-1-3	0.64	-0.09	189.13	0.26	0.63	0.10	29.62	-1.00
CIS-CYC-6-1-4	0.82	-0.12	247.30	0.24	0.45	0.10	11.00	-0.44
CIS-CYC-6-1-5	0.74	-0.11	117.67	0.31	0.26	0.08	5.00	-0.70
Moyenne	0.70	-0.09	171.35	0.28	0.49	0.09	21.42	-0.81
Maximum	0.82	-0.05	247.30	0.31	0.63	0.10	30.76	-0.44
Minimum	0.61	-0.12	117.67	0.24	0.26	0.08	5.00	-1.02
Ecart type	0.08	0.03	49.42	0.03	0.14	0.01	12.45	0.24
COV	11.73%	-29.65%	28.84%	10.69%	28.76%	8.71%	58.09%	-29.68%

Tableau 2-9 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 40% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	K ₅	P ₁	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.48	-0.05	14.80	0.65	0.34	0.07	1.59	-0.89
CIS-CYC-6-1-2	0.49	-0.12	47.98	0.71	0.47	0.05	3.26	-1.03
CIS-CYC-6-1-3	0.46	-0.10	61.60	0.69	0.36	0.10	4.12	-1.00
CIS-CYC-6-1-4	0.52	-0.13	54.23	0.65	0.36	0.08	4.25	-0.83
CIS-CYC-6-1-5	0.53	-0.11	42.40	0.70	0.26	0.07	2.71	-0.70
Moyenne	0.50	-0.10	44.20	0.68	0.36	0.08	3.19	-0.89
Maximum	0.53	-0.05	61.60	0.71	0.47	0.10	4.25	-0.70
Minimum	0.46	-0.13	14.80	0.65	0.26	0.05	1.59	-1.03
Ecart type	0.03	0.03	17.92	0.03	0.07	0.02	1.09	0.13
COV	5.46%	-31.58%	40.55%	4.17%	20.16%	20.92%	34.31%	-14.65%

Tableau 2-10 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 60% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	K ₅	P ₁	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.37	-0.05	6.42	1.05	0.25	0.07	1.59	-0.89
CIS-CYC-6-1-2	0.39	-0.12	20.93	1.09	0.33	0.05	1.77	-1.23
CIS-CYC-6-1-3	0.37	-0.11	23.83	1.11	0.27	0.10	3.00	-1.21
CIS-CYC-6-1-4	0.40	-0.14	23.02	1.06	0.30	0.07	2.43	-1.15
CIS-CYC-6-1-5	0.43	-0.11	20.22	1.10	0.26	0.07	1.94	-1.05
Moyenne	0.39	-0.10	18.88	1.08	0.28	0.07	2.15	-1.11
Maximum	0.43	-0.05	23.83	1.11	0.33	0.10	3.00	-0.89
Minimum	0.37	-0.14	6.42	1.05	0.25	0.05	1.59	-1.23
Ecart type	0.02	0.03	7.12	0.03	0.03	0.02	0.57	0.14
COV	6.22%	-32.11%	37.72%	2.52%	11.58%	20.72%	26.48%	-12.49%

Tableau 2-11 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 80% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	K ₅	P ₁	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.31	-0.07	6.18	1.60	0.21	0.07	1.24	-1.32
CIS-CYC-6-1-2	0.32	-0.13	14.53	1.66	0.23	0.05	1.00	-1.49
CIS-CYC-6-1-3	0.28	-0.12	14.16	1.72	0.19	0.08	1.57	-1.52
CIS-CYC-6-1-4	0.31	-0.15	14.66	1.65	0.23	0.06	1.29	-1.56
CIS-CYC-6-1-5	0.34	-0.11	11.60	1.63	0.26	0.07	1.58	-1.68
Moyenne	0.31	-0.12	12.23	1.65	0.22	0.07	1.34	-1.51
Maximum	0.34	-0.07	14.66	1.72	0.26	0.08	1.58	-1.32
Minimum	0.28	-0.15	6.18	1.60	0.19	0.05	1.00	-1.68
Ecart type	0.02	0.03	3.60	0.04	0.03	0.01	0.24	0.13
COV	6.46%	-27.59%	29.45%	2.69%	12.21%	17.93%	18.14%	-8.57%

Tableau 2-12 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 100% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-1

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₀	U _{A,D}	K ₅	P ₁	K _y	U _{A,C}
CIS-CYC-6-1-1	0.23	-0.09	6.18	2.53	0.21	0.07	1.04	-2.48
CIS-CYC-6-1-2	0.26	-0.17	14.75	2.58	0.23	0.04	0.74	-2.61
CIS-CYC-6-1-3	0.21	-0.15	11.04	2.88	0.18	0.06	0.91	-2.81
CIS-CYC-6-1-4	0.24	-0.19	13.43	2.70	0.19	0.04	0.66	-2.56
CIS-CYC-6-1-5	0.26	-0.13	10.70	2.55	0.26	0.07	1.35	-2.88
Moyenne	0.24	-0.15	11.22	2.65	0.21	0.06	0.94	-2.67
Maximum	0.26	-0.09	14.75	2.88	0.26	0.07	1.35	-2.48
Minimum	0.21	-0.19	6.18	2.53	0.18	0.04	0.66	-2.88
Ecart type	0.02	0.04	3.28	0.15	0.03	0.01	0.27	0.17
COV	8.63%	-26.23%	29.22%	5.60%	14.74%	25.47%	29.13%	-6.40%

Suite à la présentation des valeurs des paramètres du modèle « hystérétique », il est possible de définir les fonction de chacun de ces paramètres en fonction du pourcentage du seuil plastique. Ces allures de courbes sont présentées dans les figures ci-dessous où l'équation de la fonction de chaque paramètre est affichée sur ce dernier.

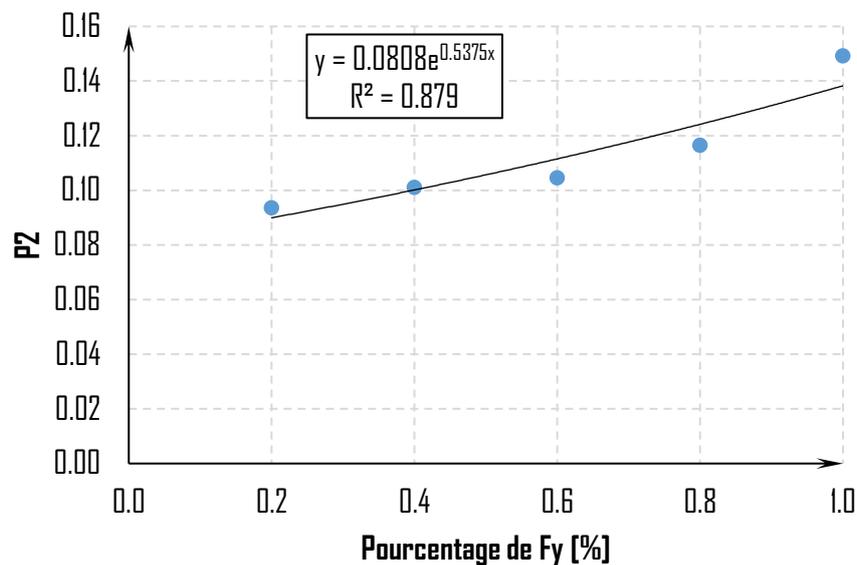


Figure 2-26 : Evolution du paramètre P_2 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

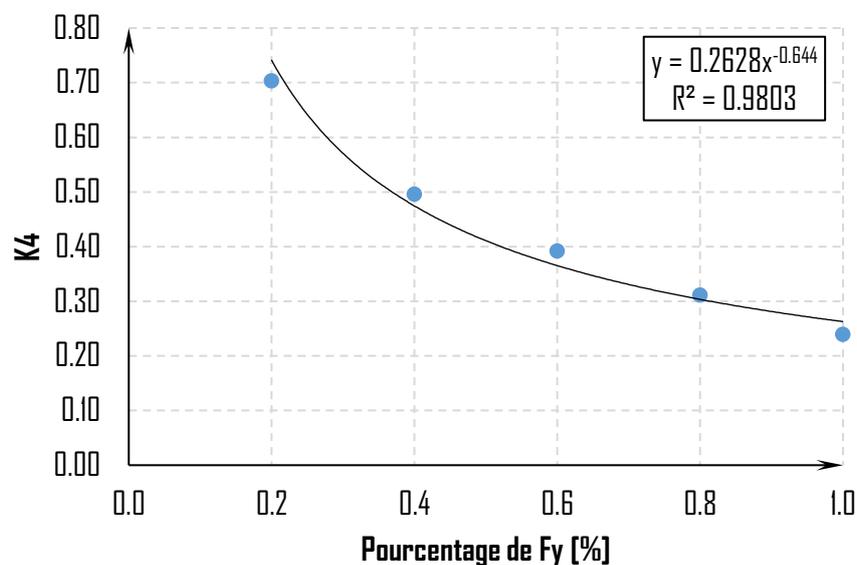


Figure 2-27 : Evolution du paramètre K_4 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

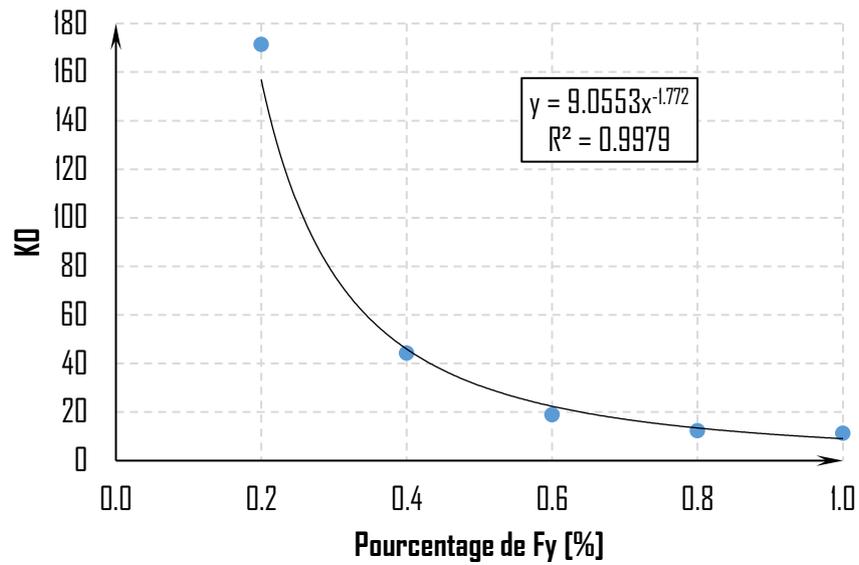


Figure 2-28 : Evolution du paramètre K_D en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

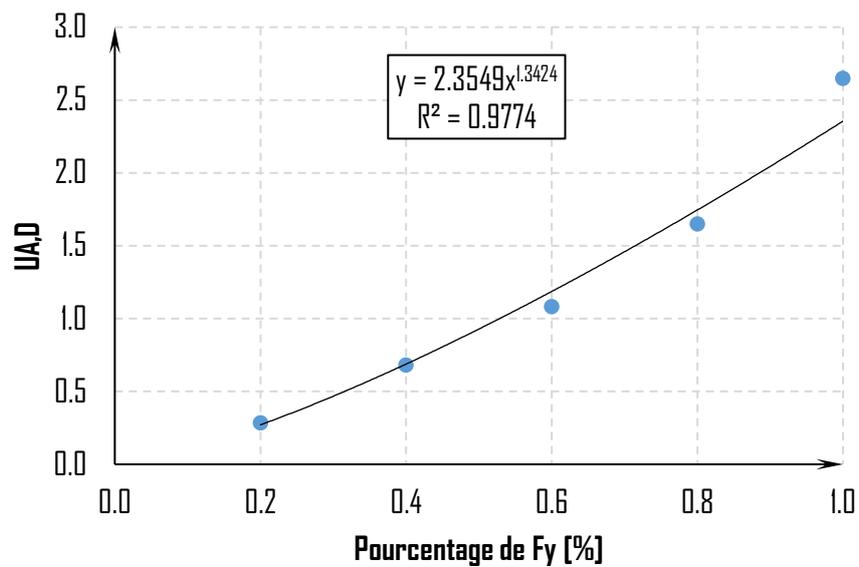


Figure 2-29 : Evolution du paramètre $U_{A,D}$ en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

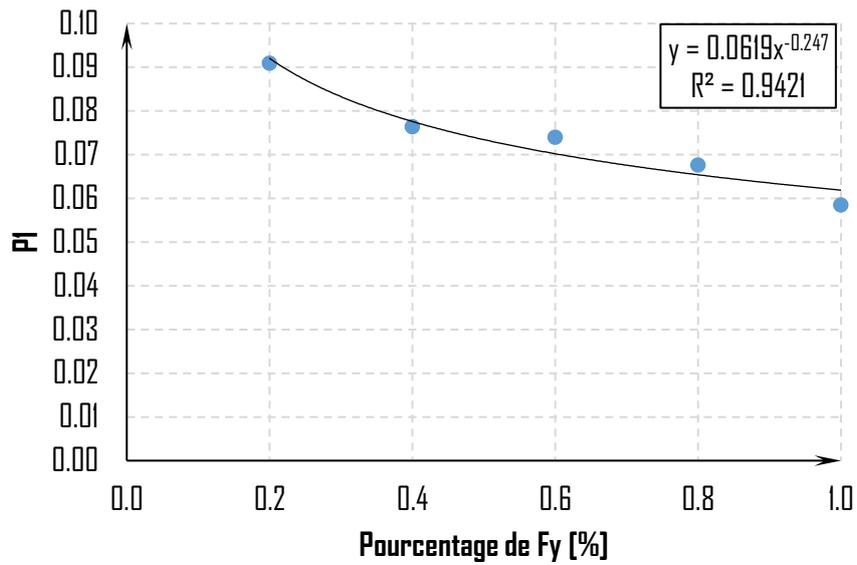


Figure 2-30 : Evolution du paramètre P_1 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

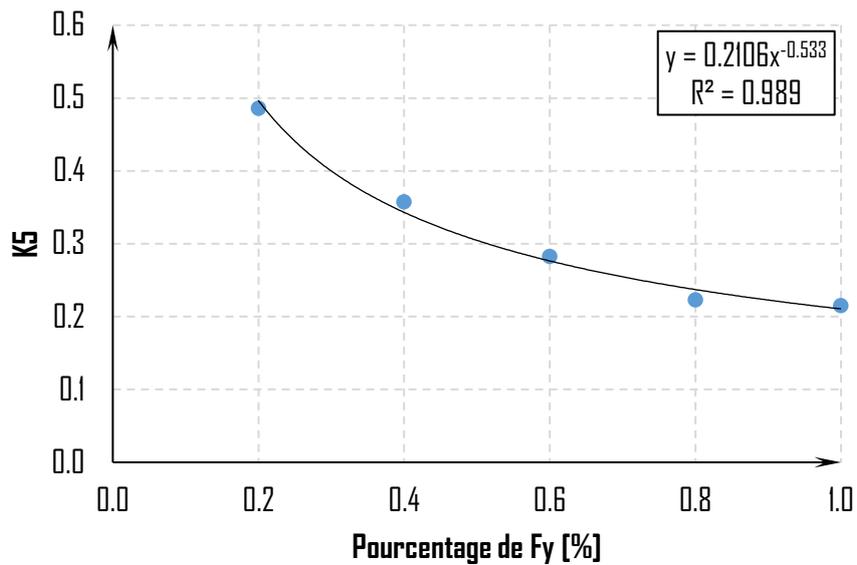


Figure 2-31 : Evolution du paramètre K_5 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

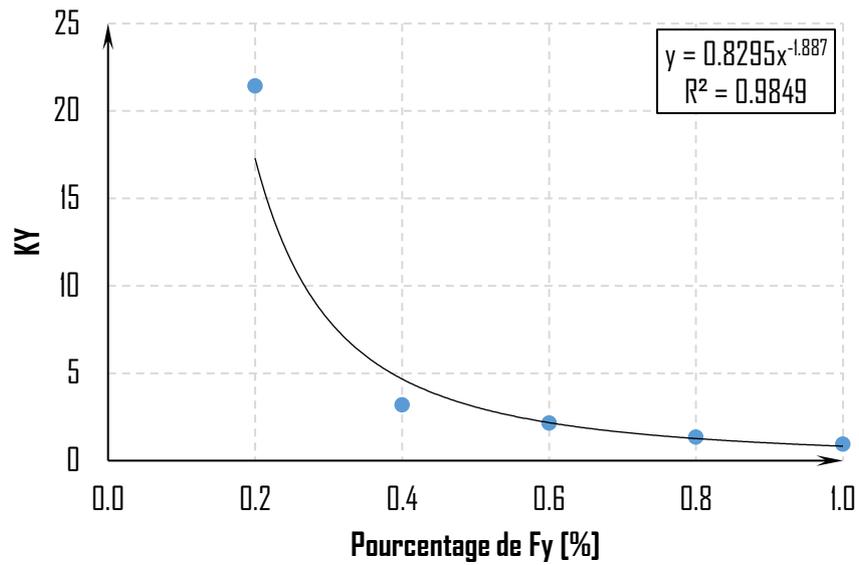


Figure 2-32 : Evolution du paramètre K_y en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

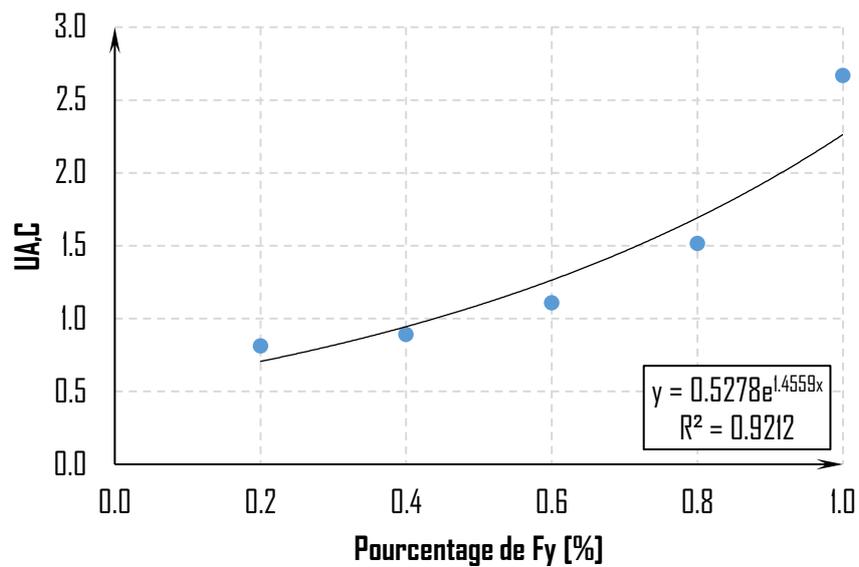


Figure 2-33 : Evolution du paramètre U_{Ac} en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-1

2.5. - CONFIGURATION CIS-CYCL-9-2

2.5.1. Echantillon

Pour rappel, la configuration CIS-CYCL-9-2 reproduit le comportement d'un assemblage mi-bois et de vis de diamètre 8mm et de longueur 200mm, positionnée à l'inclinaison de 45° par rapport au plan de cisaillement. Les dispositions constructives sont restées identiques à celles des essais statiques. Elles sont représentées en Figure 2-34.

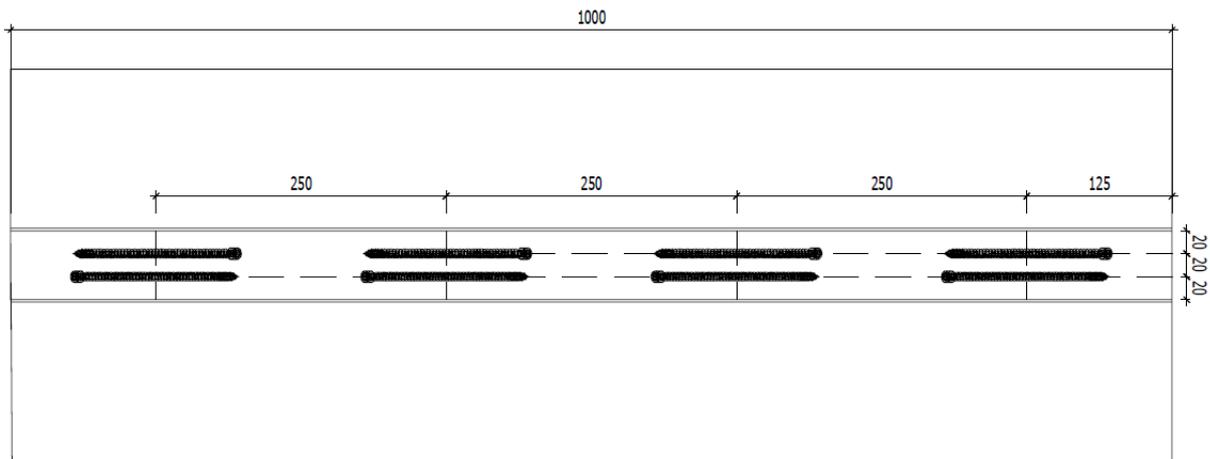


Figure 2-34 : Pinces de mise en œuvre pour la configuration CIS-CYCL-9-2

Le Tableau 2-13 présente la masse volumique de l'échantillon ramenée à 12% d'humidité pour la configuration CIS-CYCL-9-2.

Tableau 2-13 : Masse volumique des bois de la configuration CIS-CYCL-9-2

Configuration	Numéro d'échantillon	Masse volumique [kg/m ³]
9.1	1	434
	2	440
	3	443
	4	440
	5	418

2.5.2. Résultats

2.5.2.1. CIS-CYCL-9-2-1

La Figure 2-35 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

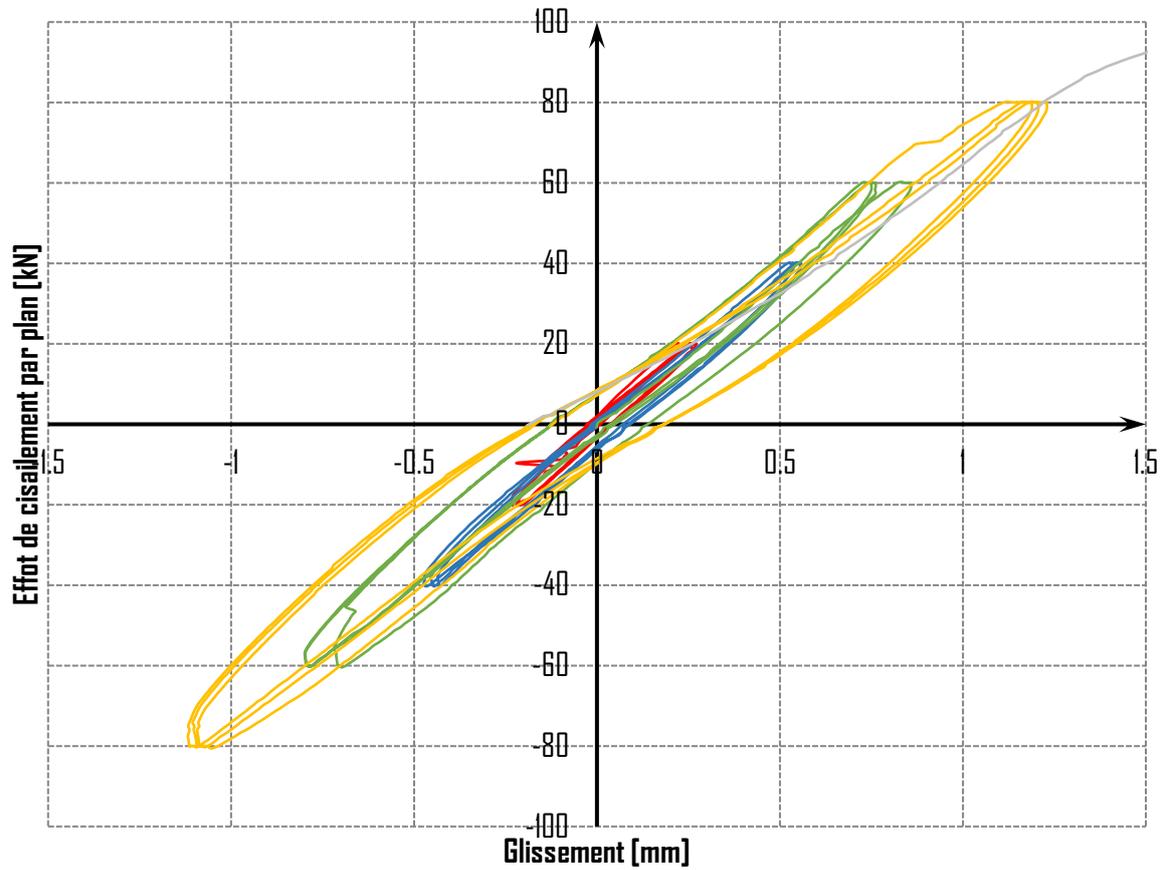


Figure 2-35 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-2-1

2.5.2.2. CIS-CYCL-9-2-2

La Figure 2-36 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

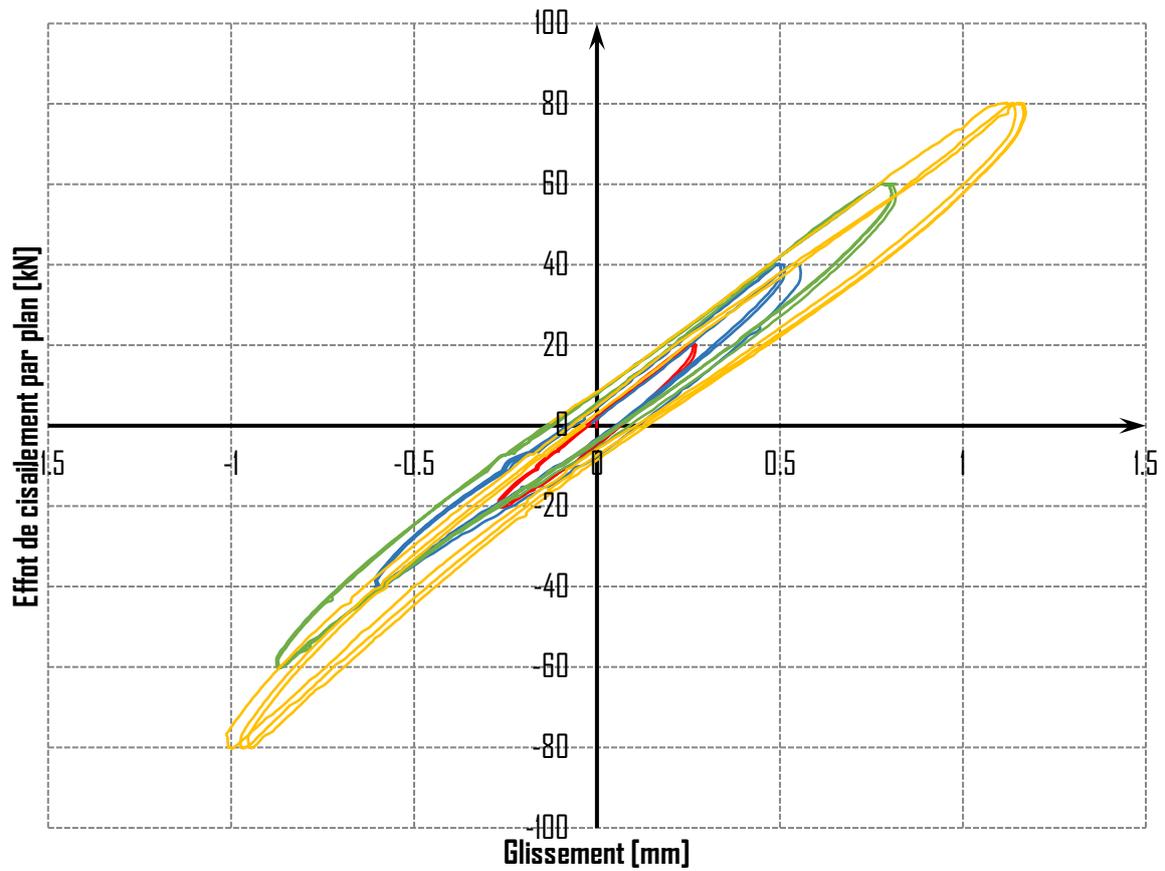


Figure 2-36 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-2-2

2.5.2.3. CIS-CYCL-9-2-3

La Figure 2-37 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

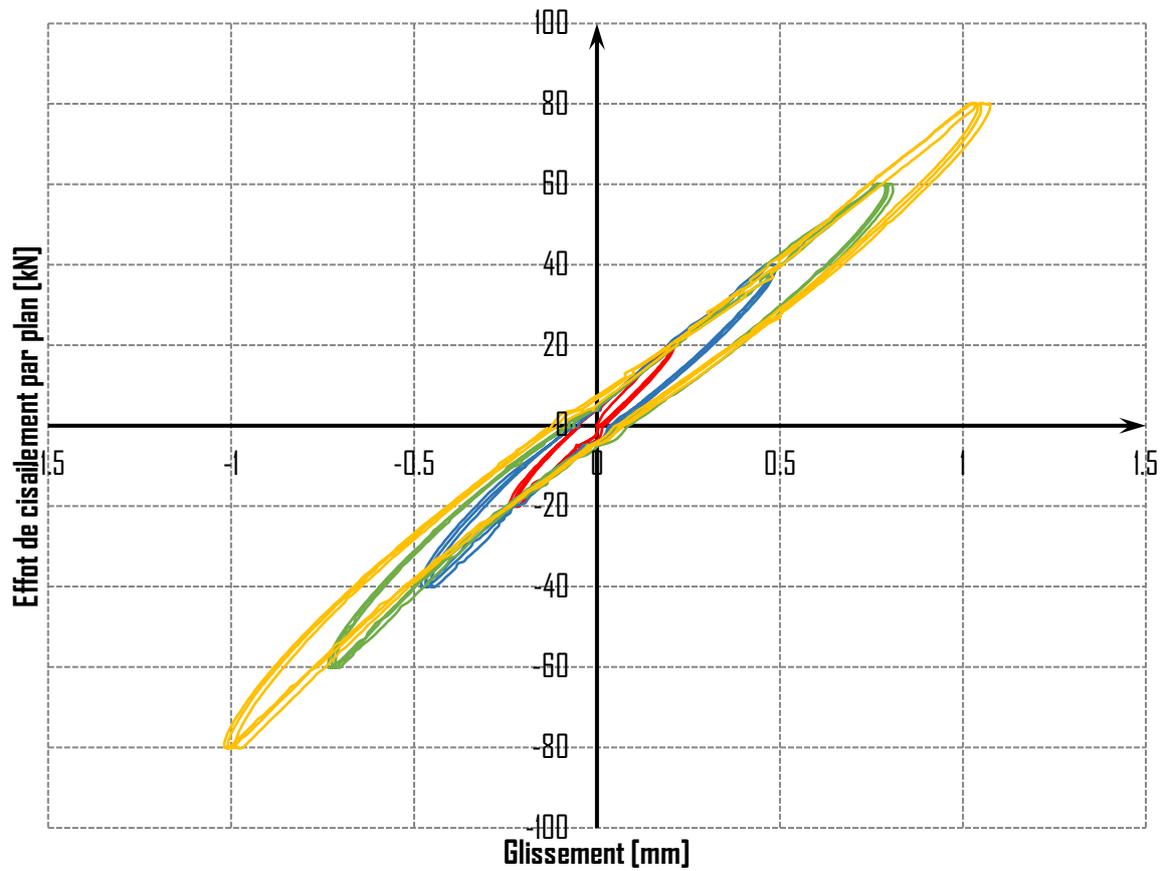


Figure 2-37 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-2-3

2.5.2.4. CIS-CYCL-9-2-4

La Figure 2-38 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

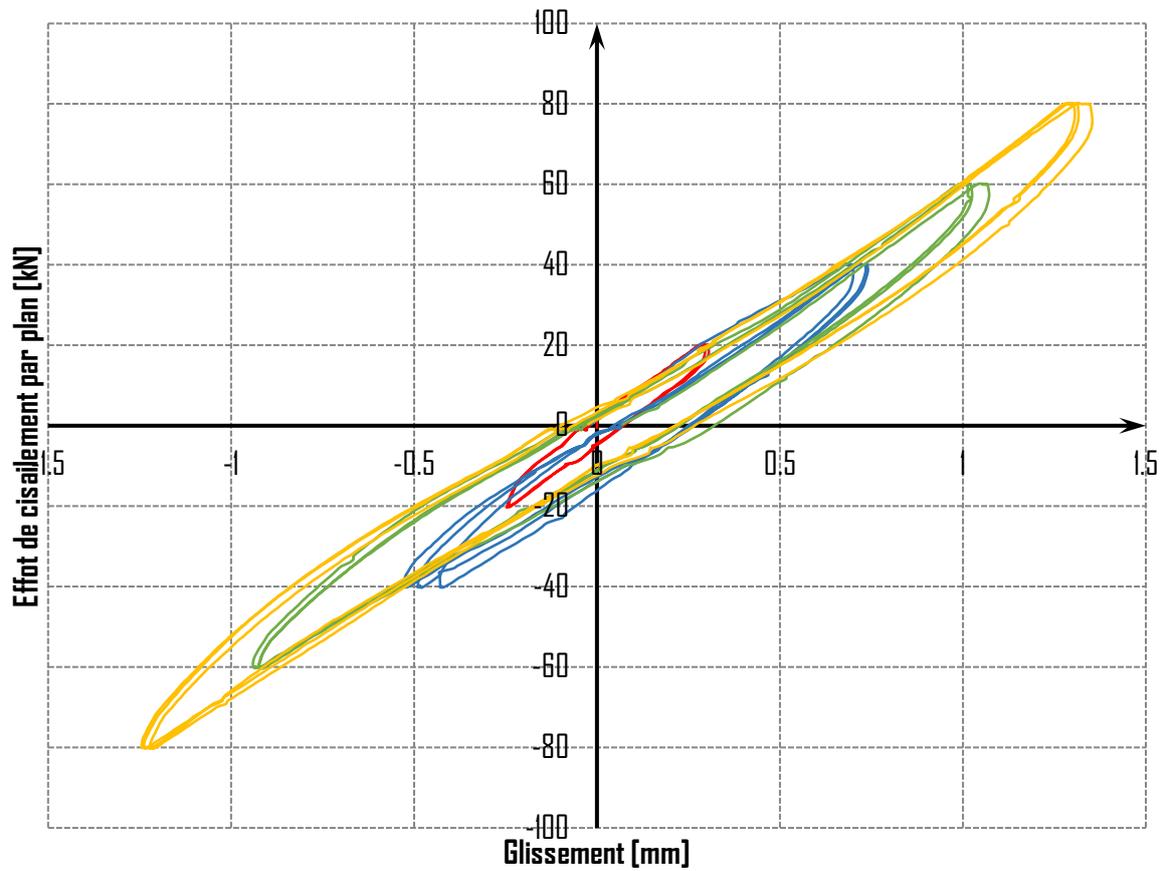


Figure 2-38 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-2-4

2.5.2.5. CIS-CYCL-9-2-5

La Figure 2-39 présente la courbe de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de celui-ci.

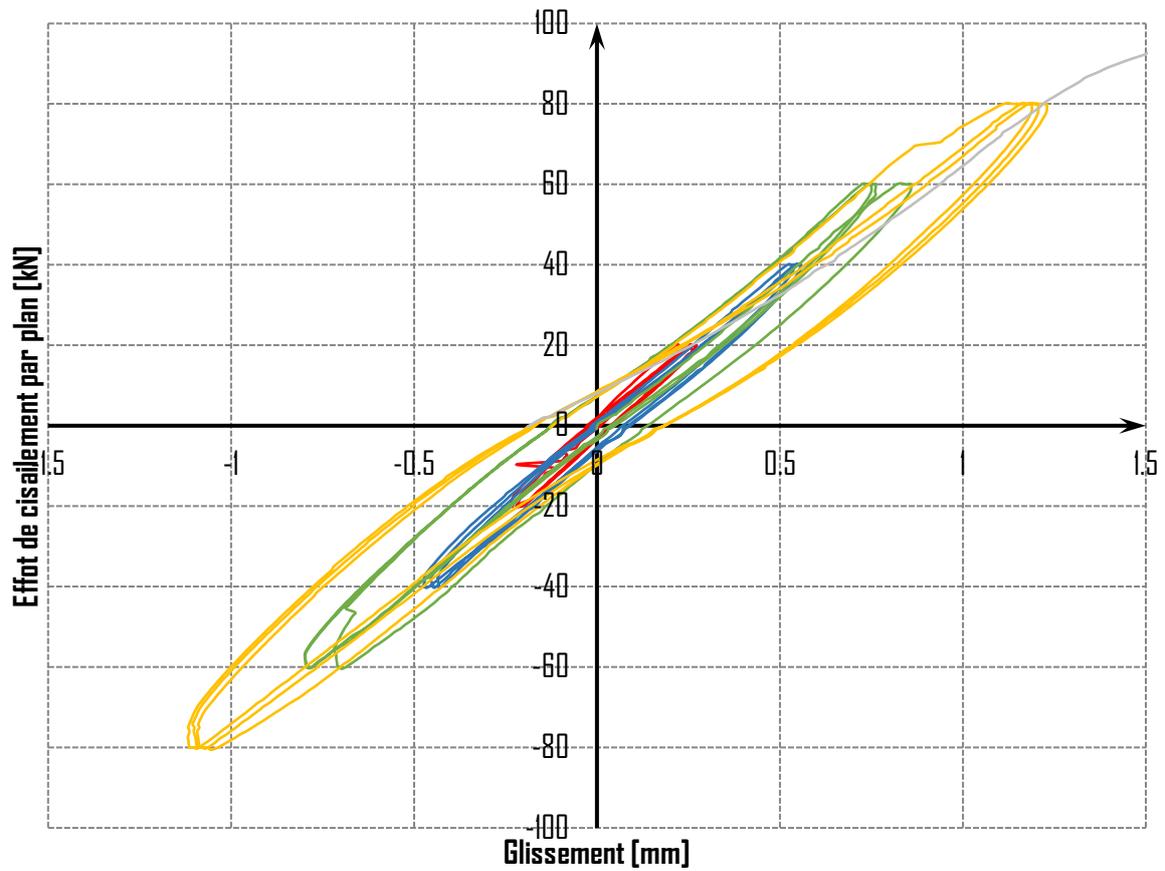


Figure 2-39 : Evolution de l'effort de cisaillement par plan en fonction du glissement moyen de l'échantillon de la configuration CIS-CYCL-9-2-5

2.5.2.6. Synthèse

La Figure 2-40 présente les courbes de l'effort de cisaillement dans l'assemblage en fonction du glissement moyen de celui-ci. Les résultats montrent un comportement semblable pour l'ensemble des échantillons. Contrairement aux deux premières configurations, le comportement des vis à 45° est dans l'ensemble linéaire. Ainsi, le modèle hystérétique du comportement n'est plus identique à celui proposé dans le protocole d'essai [2] et rappelé dans ce présent rapport.

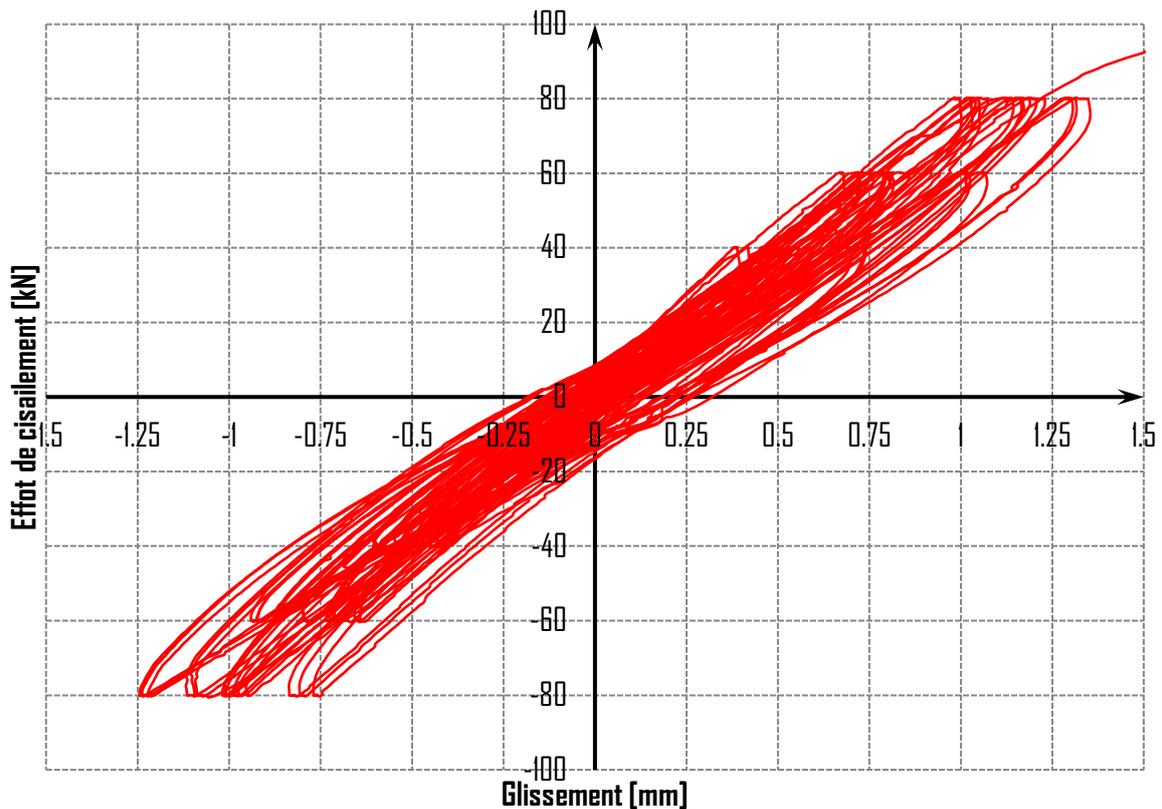


Figure 2-40 : Evolution de l'effort de cisaillement en fonction du glissement moyen des échantillons de la configuration CIS-CYCL-9-2

Le modèle pouvant reproduire ce type d'assemblage est simplement une droite affine avec un coefficient directeur et une ordonnée à l'origine pour le comportement en charge et en décharge. La dénomination des paramètres pour ce type d'assemblage est identique à ceux présentés dans ce présent rapport (K_4 , K_5 , P_1 et P_2).

Les différentes valeurs des paramètres pour un assemblage unitaire sont synthétisées dans les tableaux ci-dessus respectivement pour les seuils de 20%, 40%, 60%, 80% du seuil plastique défini dans le protocole [2]. Pour rappel, ce seuil s'élève à 25 kN pour un assemblage unitaire.

Tableau 2-14 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 20% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-2

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₅	P ₁
CIS-CYC-9-2-1	10.05	-0.30	9.98	0.20
CIS-CYC-9-2-2	9.74	-0.58	9.12	0.25
CIS-CYC-9-2-3	10.82	-0.25	10.45	0.37
CIS-CYC-9-2-4	8.28	-0.61	8.15	0.23
CIS-CYC-9-2-5	9.85	-0.64	9.12	0.14
Moyenne	9.75	-0.47	9.36	0.24
Maximum	10.82	-0.25	10.45	0.37
Minimum	8.28	-0.64	8.15	0.14
Ecart type	0.92	0.19	0.89	0.08
COV	9.43%	-39.25%	9.51%	35.85%

Tableau 2-15 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 40% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-2

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₅	P ₁
CIS-CYC-9-2-1	8.93	-0.74	8.61	0.07
CIS-CYC-9-2-2	8.45	-0.61	8.52	0.65
CIS-CYC-9-2-3	8.91	-0.42	8.74	0.48
CIS-CYC-9-2-4	6.60	-1.81	6.55	-0.36
CIS-CYC-9-2-5	8.78	-0.22	9.15	0.77
Moyenne	8.33	-0.76	8.31	0.32
Maximum	8.93	-0.22	9.15	0.77
Minimum	6.60	-1.81	6.55	-0.36
Ecart type	0.99	0.62	1.01	0.46
COV	11.87%	-81.76%	12.19%	143.37%

Tableau 2-16 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 60% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-2

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₅	P ₁
CIS-CYC-9-2-1	8.35	-0.64	7.56	0.91
CIS-CYC-9-2-2	7.88	-0.52	7.83	1.02
CIS-CYC-9-2-3	7.89	-0.39	7.85	0.56
CIS-CYC-9-2-4	5.92	-1.52	5.82	0.26
CIS-CYC-9-2-5	8.69	-0.81	8.65	0.18
Moyenne	7.75	-0.78	7.54	0.59
Maximum	8.69	-0.39	8.65	1.02
Minimum	5.92	-1.52	5.82	0.18
Ecart type	1.07	0.44	1.05	0.37
COV	13.86%	-57.20%	13.88%	63.77%

Tableau 2-17 : Résultats des paramètres de la loi pour le seuil de 80% du seuil plastique de la configuration CIS-CYCL-9-2

Echantillon	K ₄	P ₂	K ₅	P ₁
CIS-CYC-9-2-1	6.43	-1.15	6.08	1.01
CIS-CYC-9-2-2	7.48	-0.89	8.43	0.49
CIS-CYC-9-2-3	7.89	-0.46	7.61	0.89
CIS-CYC-9-2-4	5.72	-1.23	6.00	0.50
CIS-CYC-9-2-5	8.72	-1.82	8.35	-0.07
Moyenne	7.25	-1.11	7.29	0.56
Maximum	8.72	-0.46	8.43	1.01
Minimum	5.72	-1.82	6.00	-0.07
Ecart type	1.18	0.50	1.19	0.42
COV	16.33%	-44.83%	16.33%	75.02%

Suite à la présentation des valeurs des paramètres du modèle hystérétique, il est possible de définir les fonctions de chacun de ces paramètres en fonction du niveau de chargement par rapport au seuil plastique. Ces allures de courbes sont présentées dans les figures ci-dessus où l'équation de la fonction de chaque paramètre est affichée sur ce dernier. Pour le paramètres P₂, les valeurs absolues ont été prises pour définir la fonction.

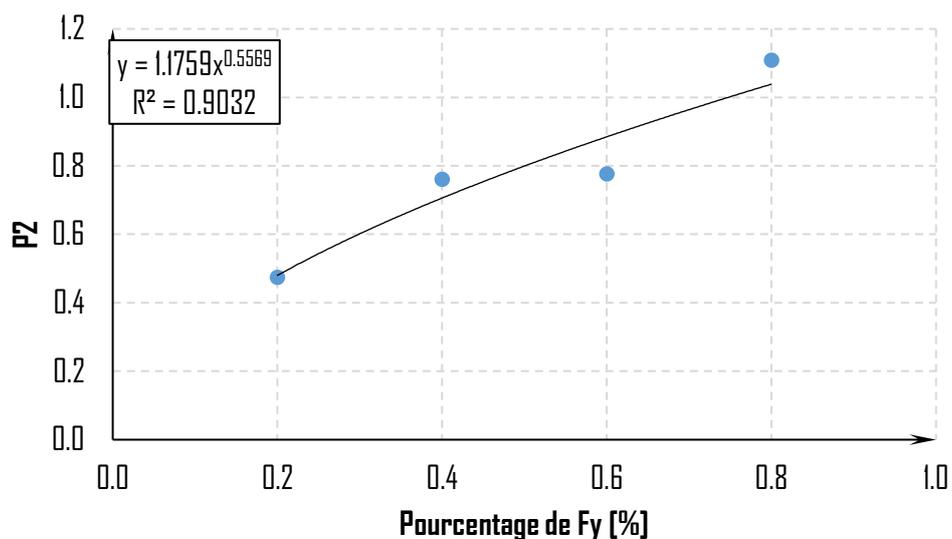


Figure 2-41 : Evolution du paramètre P₂ en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-2

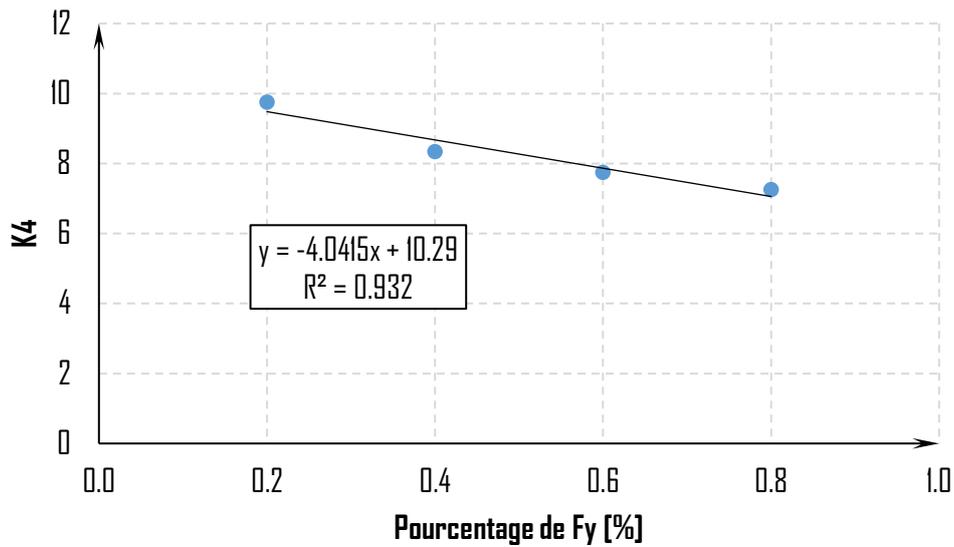


Figure 2-42 : Evolution du paramètre K_4 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-2

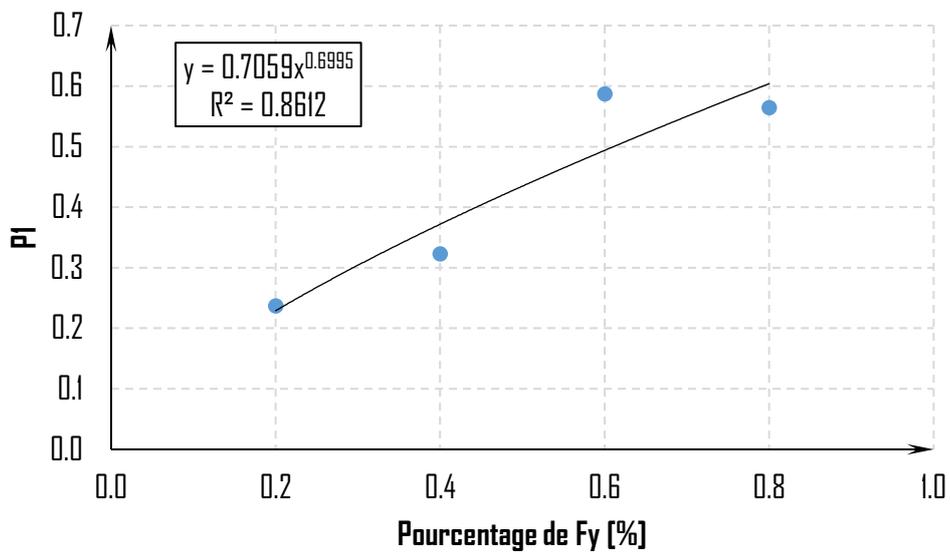


Figure 2-43 : Evolution du paramètre P_1 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-2

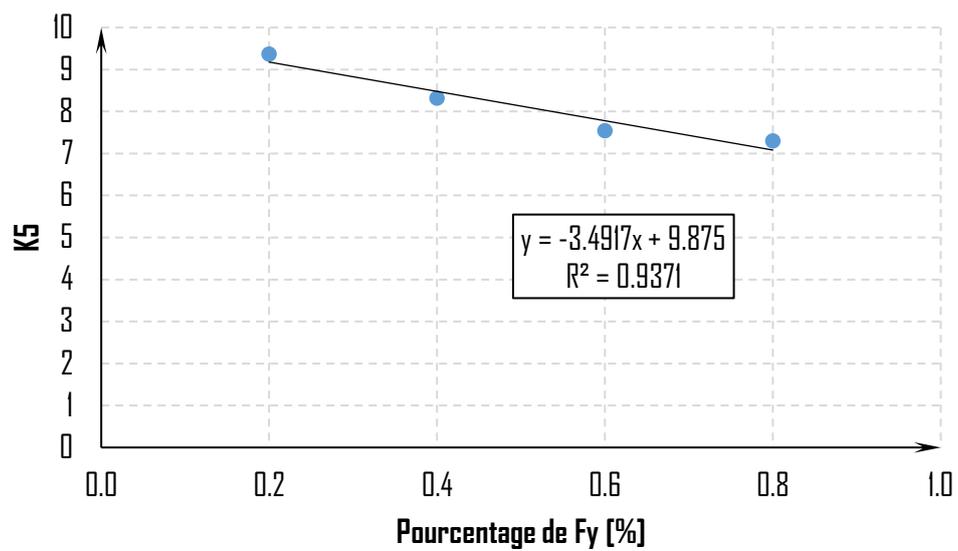


Figure 2-44 : Evolution du paramètre K_5 en fonction du niveau de charge plastique de cisaillement de la configuration CIS-CYCL-9-2

3.- CONCLUSIONS

Cette campagne d'essais avait pour but de déterminer la raideur vraie de l'assemblage en situation de sollicitation alternée de faible charge équivalent à une charge de vent ELS sur une construction de grange hauteur. Cette campagne a été effectuée sur trois des six configurations testées par essai statique. Le protocole d'essais mis en place pour caractériser les assemblages s'est révélé efficace et reproductible.

Les résultats montrent des pertes de raideurs significatives pour les vis mises perpendiculairement contrairement aux vis inclinés, où la perte de raideur reste très limitée. Ces résultats étaient cependant attendu à la vue des comportements statiques.

Tableau 3-1 : Tableau comparatif des raideurs

Configuration	K _{statique}	K _{20%}	K _{80%}
6-1	2,59	0,78	0,22
9-1	2,54	0,49	0,22
9-2	7,97	9,36	7,29

Afin d'accompagner le dimensionnement de ce type de couturage, un modèle « hystérétique » est proposé pour intégrer ce type de comportement dans un modèle. Les paramètres des lois mathématiques proposées ont été identifiés. Ils permettent d'interpoler entre les seuils testés et d'extrapoler pour des seuils à faibles charges c'est-à-dire à 20% du seuil plastique.

Fait à EPINAL le 17/12/2021

Jean-François BOCQUET

Maître de Conférences à l'ENSTIB

Enseignant chercheur du LERMAB



Damien LATHUILLIERE

Ingénieur de Recherche au LERMAB

4.- BIBLIOGRAPHIE :

- [1] N. Richard, L. Daudeville, and M. Yasumura, "Calcul dynamique de structures en bois fondé sur les comportements des assemblages," pp. 289-302, 2004.
- [2] LERMAB, "PRO-1 - Protocole d'essais alternés des assemblages par vis."



A D I V B O I S
www.adingbois.org