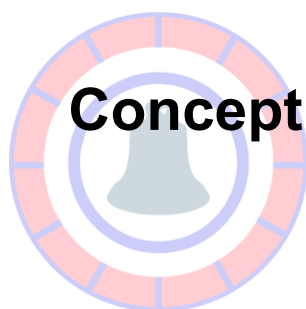




Campanistes de France



**Conception, fabrication et mise en service
des beffrois de cloches,
règles de base.**

Révision 1.1 – 15/10/19 - Version pour diffusion

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.



Campanistes de France

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Règles de base.

Conception, fabrication et mise en service des beffrois de cloches

Analyse

Le présent document vise la conception, la fabrication, la mise en service, et l'entretien de beffrois de cloches au regard des contraintes liées à leur environnement. Son objectif est de définir les règles de l'art de la profession des campanistes regroupées au sein de l'association « Campanistes de France » (ex- GIHEC).

Descripteurs

Mots clés : Beffrois, cloches, bois, conception, fabrication, mise en service, efforts dynamiques, oscillations harmoniques, angle de balancement, type de sonnerie en volée, fréquence de balancement, sommiers, croix de Saint-André, ceinture, chambre des cloches, cordeau, sommier, dalle, niche, oculus, mode de sonnerie, volée, calcul

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Avant-propos

Le groupement des installateurs en horlogerie d'édifices et équipements campanaires (Campanistes de France (ex.GIHEC)) a souhaité en 2013 à la suite d'un vote à l'unanimité en assemblée générale, étudier un document qui définit les règles de bases pour la conception, l'installation et la mise en service des beffrois des cloches dans les clochers au regard des contraintes liées à leur environnement.

Le présent accord n'engage que les signataires et n'a donc pas de valeur normative. Il constitue néanmoins un texte de référence qui peut servir de base pour la conception, la fabrication et la mise en service de beffrois en bois à installer dans un ouvrage déterminé par avance.

Dans le domaine des beffrois de cloche plusieurs types d'entreprises interviennent, en particulier les charpentiers et les campanistes. Ces derniers sont des praticiens du métier qui regroupent : la conception, la réalisation, l'installation, la restauration et l'entretien de sonneries de cloches et horloges d'édifices. Leur savoir-faire a ainsi évolué au fil du temps. De menuisier et horloger, ils sont devenus aussi électriciens, électromécaniciens, électroniciens. Réunies au sein de l'association « Campanistes de France », les entreprises des campanistes sont souvent artisanales et de petites tailles. Elles ont élaboré ce document pour mettre en commun leurs pratiques spécifiques à ce type de produits.

En effet, le beffroi est soumis à des efforts dynamiques importants et oscillations harmoniques lorsque les cloches balancent. La spécificité des beffrois nécessite la détermination des efforts des cloches selon un modèle de calcul lié à la connaissance des angles de balancement des cloches, du type de sonnerie en volée, et de la fréquence dans le sens du nombre de balancement par minute de la cloche.

La charge dynamique qui s'applique sur un beffroi supportant des cloches n'est pas comparable avec la charge statique qui s'applique à une charpente supportant une toiture.

Les beffrois ne sont pas partie intégrante de la structure des ouvrages (même si ils peuvent reprendre des charges très importantes), à l'inverse d'une charpente. La réalisation des ancrages et, plus généralement, la gestion des liaisons et interactions avec la structure de l'ouvrage existant sont bien spécifiques au regard des efforts appliqués.

Des problématiques de mise en résonance de la structure du bâti sont notamment à considérer.

La structure des beffrois doit permettre l'intégration et le mouvement des cloches. En outre, il y a lieu de prendre garde à ce que la ou les cloches n'entrent pas en collision entre elles, ni avec les croix de Saint-André pour éviter toute détérioration par ce biais de la structure du beffroi ou des cloches notamment.

La conception des beffrois en bois doit enfin permettre l'intégration des équipements campanaires et optimiser la diffusion de la sonnerie en fonction de la localisation des baies.

La conception des beffrois en bois est donc spécifique à la situation dans laquelle il doit être placé, notamment vis à vis des paramètres liés aux mouvements des cloches ainsi que des installations électriques et électrotechniques associées.

Le présent document vise ainsi la conception, la fabrication, la mise en service, et l'entretien de beffrois de cloches au regard des contraintes liées à leur environnement. Son objectif est de définir les règles de l'art de la profession des campanistes regroupées au sein du GIHEC.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Ont participé à l'élaboration collective de cet accord :

D.H.QUARTZ
08000 CHARLEVILLE - MEZIERES

MICHEL PILON ET FILS
16410 DIGNAC

ETS BROUILLET ET FILS
19600 NOAILLES

PRETRE ET FILS
25620 MAMIROLLE

SARL LEPICARD ET MARTY
31520 RAMONVILLE SAINT AGNE

BODET
49340 TREMENTINES

ETS FRANÇOIS CHRETIEN
54500 VANDOEUVRE

LEPERS ET FRERES
59440 DOMPIERRE SUR HELPE

LAUMAILLE
65421 IBOS

HORLOGES PLAIRE
71710 ST SYMPHORIEN DE MARMAGNE

LUSSAULT
85130 TIFFAUGES

PACCARD
74320 SEVRIER

HEURELEC
08090 TOURNES

SANNIER
18230 SAINT-DOULCHARD

ALAIN MACE
22950 TREGUEUX

ETS POITEVIN
30340 SAINT PRIVAT DES VIEUX

HIMS
42000 SAINT-ETIENNE

FONDERIE CORNILLE HAVARD
50800 VILLEDIEU-LES-POELES

F. GRADOUX ET FILS
54210 FERRIERES

HORLOGES HUCHEZ
60420 FERRIERES

DESMARQUEST
69005 LYON

BIARD-ROY
76570 SAINTE-AUSTREBERTHE

MAMIAS
93220 GAGNY

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Sommaire

1	Domaine d'application	5
2	Références normatives	5
3	Termes et définitions	6
4	Spécifications relatives aux pièces élémentaires.....	9
4.1	Bois	9
4.1.1	Bois massif.....	9
4.1.2	Cas des bois massif à forte humidité	10
4.1.3	Durabilité biologique.....	12
4.2	Organes d'assemblage	13
4.2.1	Organes d'assemblage métalliques	13
4.2.2	Chevilles en bois	14
5	Principes de conception et de calcul	15
5.1	Principes généraux de conception	15
5.1.1	Intégration des cloches	15
5.1.2	Situation sismique	15
5.1.3	Structure des beffrois	15
5.1.4	Stabilité et interface avec le bâti	15
5.2	Calculs de structure	16
5.2.1	Généralités	16
5.2.2	Classes de service et humidité	16
5.2.3	Dimensions des bois pour les calculs	17
5.2.4	Efforts dus au balancement des cloches	17
5.2.5	Effets de l'action sismique	18
5.2.6	Dimensionnement des barres bois	19
5.2.7	Dimensionnement des assemblages	20
5.2.8	Stabilité et interface avec le bâti	20
5.3	Comportement au feu	20
5.3.1	Général	20
5.3.2	Résistance	20
5.3.3	Réaction.....	21
6	Préparation des bois et fabrication	22
6.1	Durabilité biologique	22
6.2	Géométrie	22
6.2.1	Pièces de bois	22
6.2.2	Assemblages	23
6.2.3	Éléments prêts à être livrés	26
6.3	Conditionnement et stockage	26
7	Montage et mise en service	27
8	Contrôle et maintenance des ouvrages	28
9	Documentation relative au produit	29
10	Évaluation de la conformité	29
10.1	Généralités	29
10.2	Dossier d'évaluation initiale	29

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

10.3	Contrôle de production en atelier	29
10.3.1	Généralités	29
10.3.2	Contrôles	29
11	Marquage (optionnel)	30
ANNEXE A	31
ANNEXE B	33
ANNEXE C	34
ANNEXE D	44



Campanistes
de France

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

1 Domaine d'application

Le présent document fixe les spécifications de produits relatives aux beffrois de cloches en bois et à leurs composants à assembler mécaniquement, sur le site de production ou sur chantier, destinés à être utilisés dans les ouvrages de construction et fabriqués à partir de bois. Ces beffrois préfabriqués sont conçus pour une destination identifiée en classe de service 2 ou 3.

Les éléments concernés font systématiquement l'objet d'une définition caractérisant leur géométrie propre et leur position précise dans l'ouvrage final.

Ce document traite des beffrois bois accueillant d'une à six cloches, mais également des ensembles campanaires plus importants. Les cloches sonnent dans la même direction de balancement et sont montées en lancé franc, en mode rétrograde, rétro lancé ou équilibré.

Le présent document traite de la conception, de la fabrication, de la mise en service et de l'entretien des beffrois bois.

Ce document ne traite pas des types d'installations spécifiques liés à des particularités régionales et architecturales.

Ce document ne traite pas des beffrois métalliques, des structures recevant des cloches fixes ou de la restauration des beffrois.

Il vise les beffrois destinés à être installés en France métropolitaine ainsi que dans les départements et territoire d'outre-mer.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

NF EN 335, *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois — Définition des classes d'emploi* —.

NF EN 336, *Bois de structure— Dimensions, écarts admissibles*.

NF EN 338, *Bois de structure - Classes de résistance*.

NF EN 350-2, *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois — Durabilité naturelle du bois massif — Partie 2 : Guide de la durabilité naturelle et de l'imprégnabilité d'essences de bois choisies pour leur importance en Europe*.

NF EN 599-1, *Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Performances des produits préventifs de préservation du bois établies par des essais biologiques - Partie 1 : spécifications par classe de risque*.

NF EN 844-3, *Bois ronds et bois sciés — Terminologie — Partie 3 : Termes généraux relatifs aux bois sciés*.

NF EN 844-9, *Bois ronds et bois sciés — Terminologie — Partie 9 : Termes relatifs aux singularités des bois sciés*.

NF EN 1310, *Bois ronds et bois sciés — Méthode de mesure des singularités*.

NF EN 1365-2, *Essais de résistance au feu des éléments porteurs – Partie 2: Planchers et toitures (indice de classement P 92-120-2)*.

NF EN 1995-1-1, *Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments*.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

NF EN 1995-1-1/NA, *Eurocode 5 - conception et calcul des structures en bois - Partie 1-1 : généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments - Annexe Nationale à la NF EN 1995-1-1:2005 - Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments.*

NF EN 1995-1-2, *Eurocode 5 - Conception et calcul des structures en bois - Partie 1-2 : généralités - Calcul des structures au feu.*

NF EN 1993-1-1, *Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.*

NF EN 1993-1-1/NA, *Eurocode 3 - Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments – Annexe Nationale à la NF EN 1993-1-1 :2005 - Règles générales et règles pour les bâtiments.*

NF EN 13183-2, *Teneur en humidité d'une pièce de bois scié — Partie 1 : Estimation par la méthode de résistance électrique.*

NF EN 13238, *Essais de réaction au feu des produits de construction - Mode opératoire du conditionnement et règles générales de sélection des substrats.*

NF EN 13501-1, *Classement au feu des produits et éléments de construction — Partie 1 : Classement à partir des données d'essais de réaction au feu.*

NF EN 13823, *Essais de réaction au feu des produits de construction — Produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu.*

NF EN 14081-1, *Structures en bois — Bois de structure à section rectangulaire classé selon la résistance — Partie 1 : Exigences générales.*

NF EN 14592, *Structures en bois – Organes métalliques de type tige – Exigences.*

FD P 20-651, *Durabilité des éléments et ouvrages en bois.*

NF B 52-001-1, *Règles d'utilisation du bois dans la construction, Classement visuel pour l'emploi en structures des bois sciés français résineux et feuillus, Partie 1 : Bois massifs.*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes définis dans la norme NF EN 844-9 et les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1 Beffroi

Structure recevant les cloches.

Note à l'article : Il est réalisé traditionnellement en chêne.

3.2 Chapeau de ferme

Pièce horizontale, assemblée dans les montants, sur laquelle reposent les jogs.

3.3 Croix de Saint-André

Éléments d'un beffroi, assemblés à mi-bois à leur intersection, servant à rigidifier la structure.

3.4 Ferme

Élément vertical complet d'un beffroi, recevant un ou plusieurs niveaux de cloches.

Note à l'article : Egalement appelée palée.

3.5 Écharpe

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Pièce en bois diagonale d'une ferme, servant à rigidifier cette dernière.

Note à l'article : Également appelée jambe de force.

3.6 Joug

Élément de suspension de la cloche en bois ou en métal, reposant sur les chapeaux de fermes du beffroi.

Note à l'article : Également appelé mouton.

3.7 Montant de beffroi

Pièce d'extrémité reliant la base au chapeau d'une ferme.

3.8 Base de ferme

Pièce horizontale sur laquelle sont repris les éléments de la ferme, reposant habituellement de façon perpendiculaire sur les sommiers.

3.9 Voie

Espace entre deux fermes d'un beffroi permettant le passage des cloches et déterminé par leur diamètre.

Note à l'article : Également appelé travée.

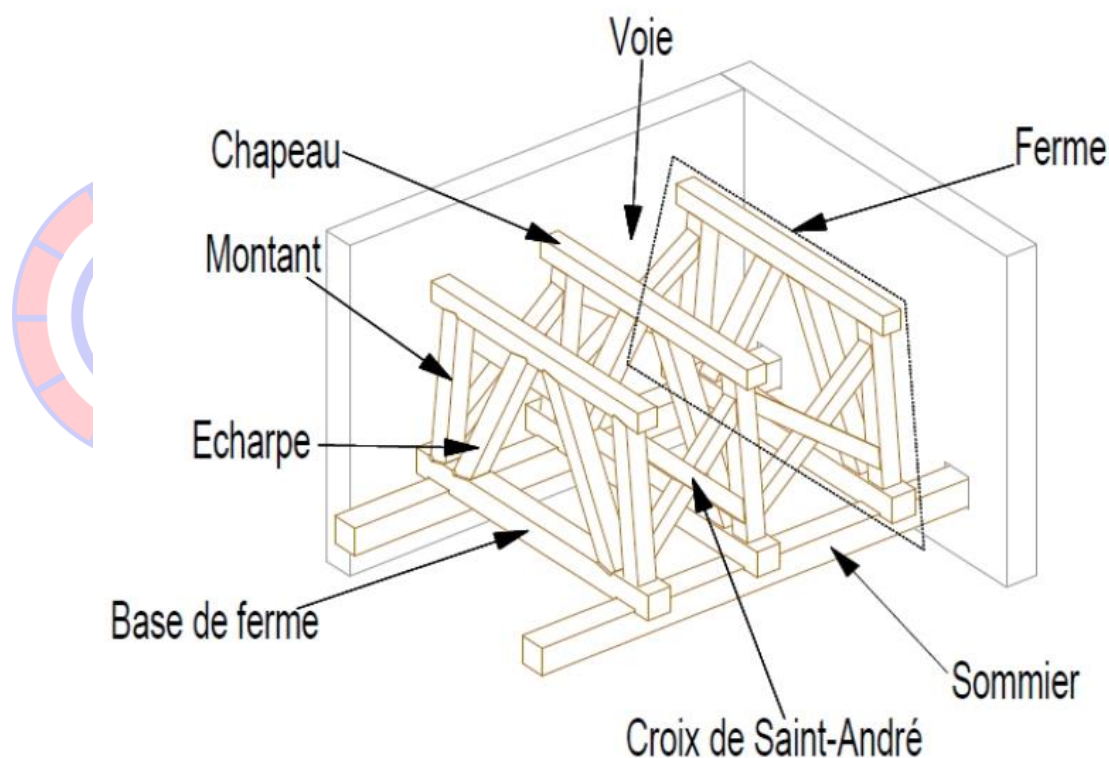


Figure 1 : Exemple de beffroi

3.10 Ceinture

Élément périphérique du clocher sur lequel reposent les sommiers du beffroi.

3.11 Chambre des cloches

Volume dans lequel reposent les cloches.

3.12 Corbeau

Élément généralement en pierre, mi encastré et mi en saillie, recevant les sommiers d'assise du beffroi.

3.13 Dalle

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Élément en maçonnerie dans le clocher, servant de plancher et au maintien des murs de l'édifice pouvant recevoir le beffroi.

3.14 Niche

Réservation en maçonnerie recevant les sommiers du beffroi.

3.15 Oculus

Ouverture ronde pratiquée sur un comble de voûte permettant le passage des cloches.

Note à l'article : Est également appelée Oculus une petite baie ronde dans un mur en élévation.

3.16 Lancé franc

Mode de sonnerie en volée où le battant frappe la cloche en position haute.

3.17 Mode rétrograde

Mode de sonnerie où la cloche frappe le battant en position basse.

3.18 Rétro lancé

Mode de sonnerie hybride obtenu avec un battant à contrepoids.

3.19 Mode équilibré

Mode de sonnerie rétrograde obtenu par l'équilibrage du joug.

3.20 Volée

Mouvement de la cloche en balancement.

3.21 Tintement

Frappe de la cloche par un élément extérieur.

3.22 Sommier

Pièce de bois posée en niche dans les murs ou reposant sur une ceinture maçonnée ou sur des corbeaux.

Note à l'article : Elle est destinée à supporter le beffroi et les cloches.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

4 Spécifications relatives aux pièces élémentaires

4.1 Bois

4.1.1 Bois massif

Les bois de structure de section rectangulaire doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 14081-1.

Pour un usage structural, sont admis les bois massifs d'un niveau de résistance minimal C18 ou D18 selon la norme NF EN 338, correspondant à une classe visuelle STIII selon la norme NF B 52-001.

Pour les sections non rectangulaires, les caractéristiques mécaniques et les sections et longueurs utiles à prendre en compte sont à identifier par le fabricant.

Les bois mis en œuvre dans les beffrois ou faisant appel à des assemblages mécaniques doivent être usinés et mis en œuvre à une humidité respectant les exigences du tableau 1.

Note: Cette exigence a pour objectif d'obtenir des bois à une humidité aussi voisine que possible de l'équilibre hygroscopique qu'ils atteindront dans la construction en exploitation. La carte en figure 2 apporte des informations pour les charpentes abritées dans des locaux ventilés non chauffés.

La teneur en humidité doit être mesurée avant usinage conformément à la norme NF EN 13183-2 à l'aide d'un appareil de mesure d'humidité à résistance électrique étalonné.

Classe de service de destination selon NF EN 1995-1-1+A.N.	Exemples de localisation de pièces de bois	Valeur moyenne d'humidité de mise en œuvre visée	Valeurs extrêmes localement
2 ($14\% < H_{\text{équilibre}} \leq 20\%$)	Constructions abritées en local couvert mais largement ouvert en zone climatique tempérée moyenne	18%	22% maxi
3 ($H_{\text{équilibre}} > 20\%$)	Constructions exposées à l'humidité non couvertes, non-abritées	22%	18% mini 25% maxi

Tableau 1 : Humidité des éléments avant usinage

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

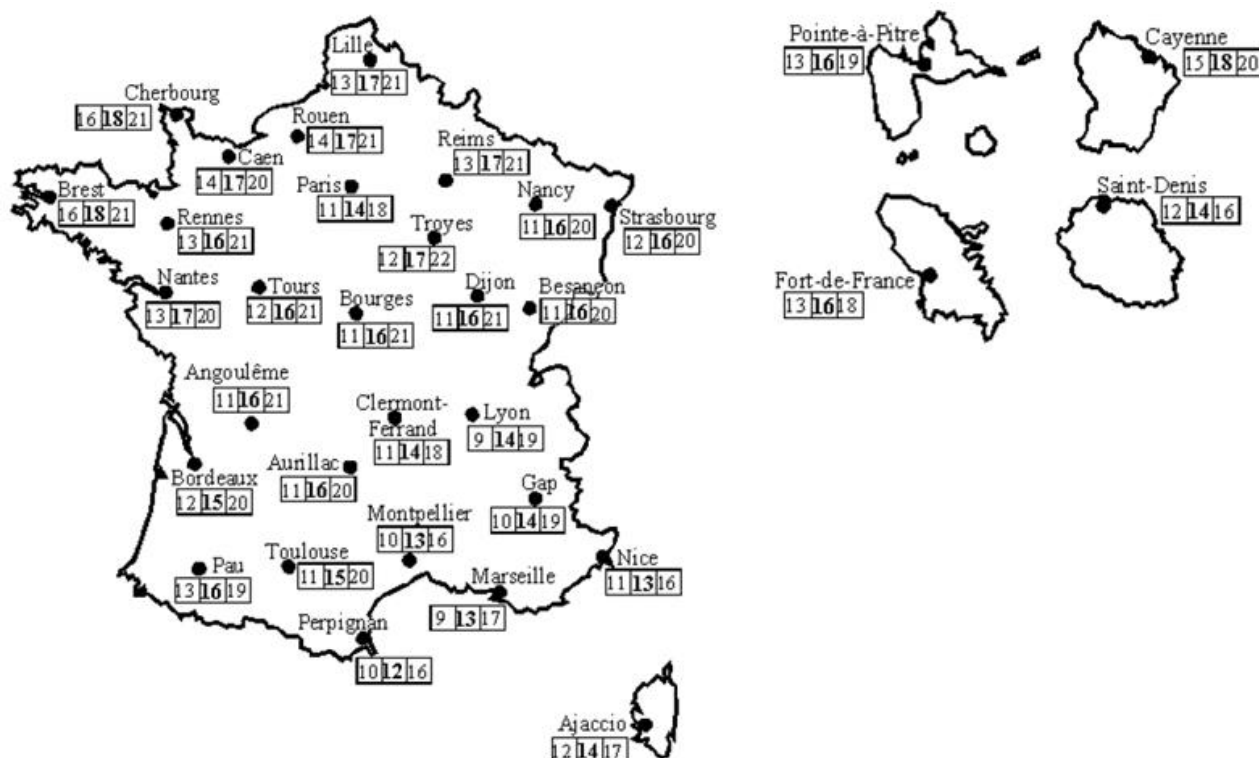


Figure 2 : Équilibre hygroscopique du bois en France selon les saisons pour les beffrois abrités dans des locaux ventilés non chauffés (Classe de service 2)

La tolérance d'humidité entre les éléments d'un même lot est de 5%.

4.1.2 Cas des bois massifs à forte humidité

Dans certains cas particuliers, pour des raisons historiques, patrimoniales, esthétiques par exemple, des bois massifs de sections non commerciales peuvent être mis en œuvre. Ces bois présentent des difficultés de séchage, au regard de leur essence, de leur section. Ils peuvent présenter à la mise en œuvre des taux d'humidité assez élevés dépassant les préconisations données dans le tableau 1 du présent document.

Néanmoins, les taux d'humidité ne dépassent pas les valeurs suivantes données pour les épaisseurs supérieures à 120 mm en feuillus et 140 mm en résineux :

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Classe de service / Essence		Feuillus taux d'humidité maximal	Résineux
1	Pièces fléchies	18%	18 %
	Pièces comprimées ou tendues	22 %	20 %
2		120 mm < Epaisseur ≤ 180 mm = 25 %	25 %
		Epaisseur supérieure à 180 mm = 30 %	
3		30 %	30 %

Tableau 2 : Taux d'humidité maximum

Pour les bois d'épaisseur inférieure, il convient de se référer au tableau 1 du présent document. Ces bois massifs à forte teneur en humidité peuvent être mis en œuvre sous réserve que les conditions suivantes soient respectées :

- Le calcul, notamment en fluage, prend en compte la teneur en humidité des bois. Conformément aux exigences de la NF EN 1995-1-1 et de son annexe nationale, pour les bois dont l'humidité est supérieure à 20% lors de la mise en œuvre et susceptible de sécher sous charge, il convient notamment d'augmenter les valeurs de K_{def} de 1,0.
- De manière sécuritaire les calculs se font systématiquement en classe de service 3.
- Les déformations à venir des bois sont anticipées au niveau de la conception des assemblages pour éviter tout désordre lié au retrait, aussi bien au sein même de l'élément (cas d'une ferme par exemple) qu'au niveau de ses ancrages.
- Il y a, lieu le cas échéant, de prévoir les jeux nécessaires avec le gros œuvre pour éviter tout désordre (poussées, ...).
- Il faut impérativement s'assurer que ces déformations n'entraînent pas de désordres sur d'autres ouvrages et corps d'état en vérifiant qu'elles sont compatibles avec les déformations admissibles du gros œuvre et du second œuvre.
- Les assemblages qui ne sont pas impactés par le retrait du bois sont privilégiés (éviter les assemblages par contact bois/bois, mettre en place des ferrures avec trous oblongs, ...).
- On ne prend pas en compte l'effet de corde dans le calcul des organes d'assemblage.

NOTE : Des déformations (flèches, gauchissement, tuilage) et des fentes, définies par la NF B 52-001, vont apparaître après mise en œuvre notamment dans les locaux chauffés ou fortement ventilés.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

4.1.3 Durabilité biologique

Les bois utilisés doivent présenter une durabilité naturelle ou conférée par un traitement approprié, compatible avec la destination de l'ouvrage.

NOTE 1 : Pour répondre à cette exigence de durabilité notamment, les beffrois sont traditionnellement réalisés en chêne.

Les caractéristiques de durabilité des bois peuvent par ailleurs, être identifiées, soit par la norme NF EN 350-2 pour la durabilité naturelle, soit par la norme NF B 50-105-3 pour la durabilité conférée. Si une essence tropicale n'est pas mentionnée dans la norme NF EN 350-2, il convient de consulter le CIRAD qui tient à jour des fiches techniques sur les essences tropicales.

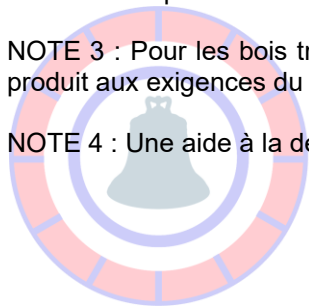
NOTE 2 : Le CIRAD est le Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement. Les fiches Tropix du CIRAD donnent les principales caractéristiques technologiques de 245 essences forestières tropicales.

Les bois de structure traités avec un produit de préservation contre les attaques biologiques sont conformes à la norme NF EN 15228.

Dans le cas de conception basée sur la durabilité naturelle des bois, le duramen, qui est reconnu durable pour la classe d'emploi prévue, doit être identifiable visuellement. Les bois doivent être purgés d'aubier. On tolère toutefois des traces d'aubier non traité pour la classe d'emploi visée qui n'excèdent pas 5% de la section de la pièce en tout endroit.

NOTE 3 : Pour les bois traités, la certification CTB B+ ou son équivalent, vaut la preuve de la conformité du produit aux exigences du présent document.

NOTE 4 : Une aide à la décision est apportée par le FD P 20-651



Campanistes
de France

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

4.2 Organes d'assemblage

4.2.1 Organes d'assemblage métalliques

Les organes d'assemblage doivent satisfaire aux exigences des référentiels suivants :

- NF EN 14 592 pour les organes de type tige (vis, pointes, boulons, broches ...)
- o Les rondelles ou plaquettes ont les dimensions minimales suivantes (d étant le diamètre du boulon) :
 - Diamètre de la rondelle : 3 d
 - Coté de la plaquette : 3 d
 - Epaisseur : 0.3 d
- ETAG 15 pour les organes volumiques (sabots, équerres, ...)
- Les assemblages fabriqués sur mesure devront être réalisés à partir d'acier de qualité S 235 et devront être conçus en conformité avec la NF EN 1993-1-1.

Les organes d'assemblage doivent être protégés contre la corrosion conformément aux exigences de la NF EN 1995-1-1. Le tableau ci-après définit les choix des protections des matériaux à utiliser en fonction de la classe de service et du type d'assemblage.

Assemblages	Classes de service selon NF EN 1995-1-1+A.N. ^{a)}	
	2 (intérieur humide)	3 (extérieur)
Pointes, vis et tirefonds avec $\varnothing \leq 4$ mm	Fe/Zn 12c Z275 ^{b)}	Fe/Zn 25c Z350 ^{b)}
Boulons, broches, pointes, vis et tirefonds avec $\varnothing \geq 4$ mm	Rien	Fe/Zn 25c Z350 ^{b)}
Agrafes	Fe/Zn 12c Z275 ^{b)}	Acier inoxydable
Plaques métalliques embouties et plaques à clous d'épaisseur ≤ 3 mm	Fe/Zn 12c Z275 b)	Acier inoxydable
Plaques métalliques d'épaisseur comprises entre 3 mm et 5 mm	Fe/Zn 12c Z275 ^{b)}	Fe/Zn 25c Z350 ^{b)}
Plaques métalliques d'épaisseur > 5 mm	Rien	Fe/Zn 25c Z350 ^{b)}
a) Pour des conditions particulièrement corrosives, il convient d'envisager le Fe/Zn 40, un revêtement par galvanisation à chaud et par shérardisation, ou de l'acier inoxydable.		
b) Revêtement par galvanisation à chaud conforme à la NF EN 10346.		

Tableau 3 : Protection des matériaux en fonction de la classe de service

Tout autre procédé de protection peut être employé à condition de conférer aux matériaux une protection au moins aussi grande que celle obtenue par galvanisation.

Les matériaux de fixation et d'assemblage recevant une protection électrolytique doivent être conformes à la norme NF EN ISO 4042.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Les matériaux de fixation et d'assemblage recevant un revêtement par galvanisation à chaud doivent être conformes à la norme NF EN 10326.

Les matériaux de fixation et d'assemblage recevant un revêtement par shérardisation doivent être conformes à la norme NF EN 13811.

Les matériaux de fixation et d'assemblage en acier inoxydable doivent être conformes à la norme NF EN 10088-3.

L'utilisation de pointes montées sur fil métallique pour pose au pistolet cloueur n'est pas admise pour les ouvrages visibles.

Pour la compatibilité entre les éléments constitutifs de la fixation et l'élément bois à assembler, on se réfère au tableau 4.

Matériaux	zinc	cuivre	alu	plomb	acier inox	acier galvanisé	acier	acier peint
Sapin Pin peuplier	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Chêne Châtaignier Douglas	non	oui	non	non	selon qualité inox	oui*	oui	oui

*de préférence se limiter à la classe de service 2 ou prévoir une étude spécifique.

Tableau 4 : Compatibilité entre éléments constitutifs

Si le bois est traité avec un produit de préservation contre les attaques biologiques et/ou un produit de protection contre le feu, la compatibilité du traitement des organes d'assemblage contre la corrosion avec ces produits doit avoir fait l'objet d'une évaluation.

4.2.2 Chevilles en bois

Les chevilles doivent être réalisées en bois dur : acacia, de droit fil et être de forme conique. Leurs longueurs doivent être telles qu'elles dépassent des pièces après assemblage de 3 à 5cm de part et d'autre, ceci afin de permettre le resserrage ultérieur de l'assemblage. Le diamètre du perçage doit être égal à celui de la cheville à mi longueur.

Ces chevilles n'ont qu'un rôle de maintien de l'assemblage et en aucun cas elles ne peuvent être considérées comme capables de transmettre les inversions d'efforts. Ainsi, la mise en œuvre d'organes complémentaires (vis, boulons, ...) est nécessaire pour reprendre les efforts de traction sauf justification particulière par essai, du type de celui qui est réalisé lors de la réception du beffroi (voir paragraphe 7) par exemple.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

5 Principes de conception et de calcul

5.1 Principes généraux de conception

5.1.1 Intégration des cloches

La structure des beffrois doit permettre l'intégration et le mouvement des cloches et de leurs équipements. En outre, la ou les cloches ne doivent pas entrer en collision entre elles, ni avec les croix de Saint-André pour éviter notamment toute détérioration par ce biais de la structure du beffroi ou des cloches.

La conception des beffrois doit permettre l'intégration des équipements campanaires, appareils de mise en volée et appareils de tintement.

Afin d'optimiser la diffusion de la sonnerie en fonction de la localisation des baies, la hauteur des cloches par rapport aux abat-sons doit être prise en compte.

5.1.2 Situation sismique

La rupture ou la chute d'un beffroi présente potentiellement un risque pour la sécurité des personnes et l'intégrité de la structure du bâtiment en cas de séisme. Ainsi, il y a lieu de respecter les dispositions du paragraphe 4.3.5 la NF EN 1998-1 et son annexe nationale pour s'assurer qu'il résiste à l'action sismique de calcul.

5.1.3 Structure des beffrois

Pour une meilleure répartition des efforts, il est recommandé d'utiliser les fermes de forme trapézoïdale.

La structure du beffroi doit être dimensionnée pour être stable lors du balancement des cloches. Ce point notamment doit être justifié par une note de calcul qui reprend les efforts dynamiques verticaux et horizontaux.

La structure doit être assemblée par tenon-mortaise avec embrèvement, avec des chevilles en acacia montées à la tire. Les assemblages doivent pouvoir travailler en traction/compression, ainsi, les embrèvements et les assemblages à mi-bois doivent être boulonnés. Des perçages dans les fonds de mortaise des bases de ferme doivent être réalisés. Les jeux dans les assemblages sont très préjudiciables pour la sonnerie des cloches et la pérennité du beffroi. Ceci veut donc dire que les bois doivent être mis en œuvre à une humidité aussi proche que possible de l'humidité d'équilibre en service.

L'assemblage des bases de ferme sur les sommiers doit présenter un enfourchement. La structure ne doit pas présenter de poteaux verticaux centraux sous les appuis des cloches.

5.1.4 Stabilité et interface avec le bâti

Aucune partie supérieure aux sommiers ne doit être en contact ou solidaire avec la structure du clocher.

Le beffroi doit reposer sans bridage ou liaison mécanique sur les sommiers sauf dispositions particulières dues à la géométrie de la chambre des cloches. Ces sommiers doivent être disposés perpendiculairement au sens de balancement des cloches, ou des poutres intermédiaires doivent être intercalées lorsque les sommiers sont disposés dans le sens des bases des fermes.

Seuls deux ou quatre sommiers (positionnés à chaque extrémité des fermes) doivent être mis en œuvre. La mise en place d'un sommier central entrainerait un effet de bascule préjudiciable à la pérennité de l'ouvrage.

Note : Le non-respect de ces préconisations peut avoir comme conséquences de graves désordres sur les édifices (maçonneries, charpentes, toitures, nefs, ...).

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

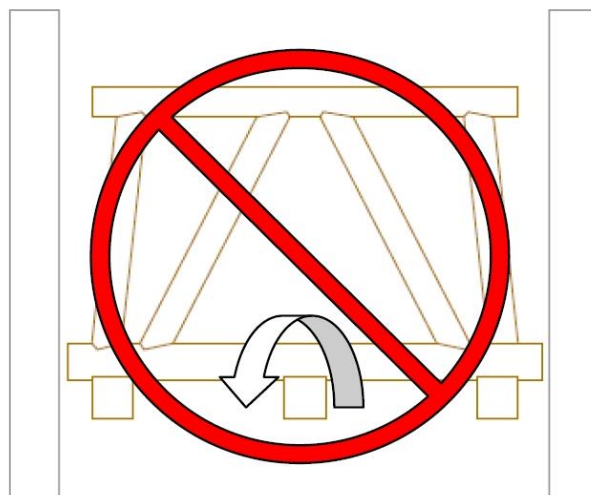


Figure 3 : Exemple de disposition impropre

Les efforts dans le plan des fermes doivent être repris en pied par les enfourchements réalisés dans les bases de fermes. Les efforts perpendiculaires aux plans des fermes doivent être repris par des dispositifs appropriés qui sont détaillés au paragraphe C.8. A noter que les efforts dus au balancement des cloches sont supposés être rigoureusement dans le plan des fermes, les efforts perpendiculaires aux plans des fermes sont les efforts sismiques.

Dans le cas où les appareils de mise en volée génèrent des efforts perpendiculaires au plan des fermes, une justification spécifique par calcul doit être menée.

Le beffroi doit être dimensionné pour ne pas présenter de risque de soulèvement ni de renversement lors du balancement des cloches. C'est le seul poids propre du beffroi et des cloches qui assure cette stabilité. Ce point doit être également justifié par la note de calcul qui précise également les descentes de charges. Ces descentes de charges doivent être transmises à l'architecte et/ou au bureau d'études structure.

La mise en volée des cloches peut présenter un risque de mise en résonance de la structure du bâti si la fréquence de balancement des cloches est proche de la fréquence propre du bâtiment. Il faut par conséquent faire appel à un bureau d'étude spécialisé pour vérifier que tout risque de mise en résonance de la structure du bâti est écarté.

Des patins antivibratoires seront mis en place sous les appuis des sommiers ou à défaut entre les sommiers et les bases des fermes.

5.2 Calculs de structure

5.2.1 Généralités

La structure des beffrois et leurs assemblages doivent être calculés et dimensionnés suivant les préconisations de la NF EN 1995-1-1 et son annexe nationale.

Il y a notamment lieu de respecter les prérequis spécifiés dans la section 10 : détails structuraux et contrôle de la NF EN 1995-1-1 et son annexe nationale.

5.2.2 Classes de service et humidité

Les classes de services sont définies par la NF EN 1995-1-1 et son annexe nationale comme suit :

- Classe de service 1 : Structure intérieure en milieu sec : l'humidité moyenne des bois est stabilisée de 7 % à 13 % d'humidité.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

- Classe de service 2 : Charpente abritée soumise à variations hygrométriques : l'humidité moyenne est stabilisée de 13 % à 20 % d'humidité.
- Classe de service 3 : Conditions climatiques amenant des humidités moyennes supérieures à celles de la classe de service 2.

Il est précisé que pour une structure composée d'éléments appartenant à plusieurs classes de service et calculée en tant que telle, on considérera la classe de service la plus élevée.

NOTE : Les bois de la structure des beffrois ne sont pas systématiquement abrités des intempéries.

Pour du bois qui est installé à une humidité supérieure à 20% et qui est susceptible de sécher sous charges, il convient d'augmenter les valeurs de k_{def} de 1. Ce coefficient permet l'évaluation de la déformation de fluage, il tient compte de la classe de service.

5.2.3 Dimensions des bois pour les calculs

L'annexe nationale de la NF EN 1995-1-1 indique que pour les calculs, les dimensions doivent être rapportées à 12% d'humidité, humidité de référence pour les propriétés mécaniques, quelle que soit la classe de service visée.

Pour chaque dimension de section, le coefficient de correction β_{90} est de 0,25%, par % de variation d'humidité pour les résineux et de 0,30%, par % de variation d'humidité pour les feuillus.

Cette prescription s'applique pour la justification des éléments aux ELU (résistances) et ELS (déformations). Des variations dimensionnelles s'appliquent entre le point de saturation des fibres et l'équilibre hygroscopique à l'air.

Pour les bois tempérés, le point de saturation se situe à environ 30% d'humidité.

C'est-à-dire, si $H_{ref} < 30\%$: $D = D_{ref} * [1 - \beta_{90} * (H_{ref} - 12)]$

Avec :

- D la dimension cherchée de l'élément à 12 % d'humidité
- D_{ref} la dimension (épaisseur ou hauteur) connue de l'élément à H_{ref} % d'humidité
- $\beta_{90} = 0,0025$ valeur moyenne pour les bois résineux
- $\beta_{90} = 0,0030$ valeur moyenne pour le chêne

EXEMPLE :

Elément dont la section est de 75 x 225 mm² à 20% d'humidité

Épaisseur à 12% = $75 * [1 - 0,0025 * (20 - 12)] = 73,5$ mm

Largeur à 12% = $225 * [1 - 0,0025 * (20 - 12)] = 220,5$ mm

Dans les calculs aux ELU (résistances) et aux ELS (déformations), la section à utiliser pour le calcul de cet élément est de 73,5 x 220,5 mm².

5.2.4 Efforts dus au balancement des cloches

Chaque beffroi est prévu pour une association de cloches donnée, avec leur mode de sonnerie et de motorisation, engendrant des efforts particuliers qui constituent une des principales données d'entrée du calcul. Toute modification (type de cloche, mode de lancé, mode d'entraînement, ...) doit être suivie d'une nouvelle justification par le calcul et impacte potentiellement le dimensionnement ainsi que les descentes de charges.

Ces efforts dépendent des caractéristiques des cloches (poids propre, angle de balancement, fréquence de frappe du battant, coefficient de forme). Ces caractéristiques doivent être obtenues auprès du fabricant de la

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

cloche. Dans le cas où elles ne sont pas connues, elles peuvent être déterminées de manière approchée au moyen du tableau 3 en Annexe A.

Les traditions locales peuvent amener à des angles de balancement supérieurs aux valeurs tabulées données dans le tableau 3 en annexe A. Il convient de prendre en compte les angles réels de balancement, et plus généralement les caractéristiques réelles de cloches, pour le dimensionnement des beffrois.

Les efforts dus au balancement des cloches peuvent ensuite être déterminés au moyen de la figure 4 en annexe B.

Les courbes présentées sur cette figure permettent de déterminer les valeurs maximales des forces de liaison de la cloche, en fonction de l'angle de balancement α . Les efforts ne sont pas maximums en même temps dans les directions verticale et horizontale. Ainsi, deux cas de figure sont à considérer :

- Cas 1 : Poids propre + effort vertical maximal V_{max} (ici l'effort horizontal associé est nul) ;
- Cas 2 : Poids propre + effort horizontal maximal H_{max} + effort vertical associé V_{Hmax} .

NOTE : C'est l'angle de balancement maximum qui doit être pris en compte dans les calculs.

NOTE : Pour un calcul selon les préconisations de la NF EN 1995-1-1 et son annexe nationale, il y a lieu de préciser la durée du chargement du au balancement des cloches. Une estimation montre que ce chargement correspond à un chargement de moyen terme au sens de la NF EN 1995-1-1, soit d'une durée comprise entre 1 semaine et 6 mois en cumulé sur 50 ans.

5.2.5 Effets de l'action sismique

La vérification sous sollicitation sismique est à mener en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du bâtiment tel que décrit dans le tableau ci-dessous :

		Catégorie d'importance du bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone de sismicité	1	Aucune exigence	Aucune exigence	Aucune exigence	Aucune exigence
	2	Aucune exigence	Vérification recommandée	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire
	3	Aucune exigence	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire
	4	Aucune exigence	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire
	5	Aucune exigence	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire	Vérification réglementaire

Tableau 5 : Exigences de vérification sismique

En fonction de la catégorie d'importance des bâtiments et de la zone sismique, les beffrois, ainsi que leurs liaisons et ancrages, doivent être vérifiés pour la situation sismique de calcul. Les cloches sont considérées ne pas avoir été mises en mouvement lors d'une situation de séisme. Autrement dit, l'hypothèse est faite que les efforts dus au balancement des cloches ne se cumulent pas aux sollicitations sismiques.

Ainsi, pour les efforts dans le plan des fermes, on doit considérer la situation la plus défavorable entre le balancement des cloches et la situation de séisme. En revanche, pour les efforts perpendiculaires aux plans des fermes, seuls les efforts dus au séisme sont à considérer.

Les effets de l'action sismique sur les beffrois sont déterminés conformément aux préconisations de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale, au moyen de la formule suivante :

$$F_a = S_a \times W_a / 2$$

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Avec :

- F_a : Force sismique horizontale, agissant au centre de gravité de l'élément structural, dans la direction la plus défavorable ;
- W_a : Poids de l'élément non structural (structure du beffroi, cloches et divers) ;
- S_a : Coefficient sismique applicable aux éléments non structuraux ;

$$S_a = a_{gr} \times \gamma_I / 9.81 \times S \times 5.5$$

Où :

- S : coefficient de sol (selon NF EN 1998-1+A.N. et arrêté du 22 Octobre 2010) ;

Classes de sol	S (Zones de sismicité 1 à 4)	S (Zone de sismicité 5)
A	1	1
B	1,35	1,2
C	1,5	1,15
D	1,6	1,35
E	1,8	1,4

Tableau 6 : Coefficients de sol

- a_{gr} : accélération de référence dépendant de la zone sismique (selon NF EN 1998-1+A.N. et arrêté du 22 Octobre 2010):

Zone de sismicité	a_{gr} (m/s ²)
1	0,4
2	0,7
3	1,1
4	1,6
5	3

Tableau 7 : Accélération de référence

- γ_I : coefficient d'importance (selon NF EN 1998-1+A.N. et arrêté du 22 Octobre 2010) :

Catégorie d'importance	γ_I
II	1
III	1,2

Tableau 8 : Catégories d'importance

NOTE : Les lieux de culte sont des ERP qui sont répartis dans deux catégories d'importance selon l'arrêté du 22 Octobre 2012 modifié :

- catégorie II pour les ERP de catégories 4 et 5 (moins de 300 personnes)
- catégorie III pour les ERP de catégories 1, 2 et 3 (plus de 300 personnes)

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

5.2.6 Dimensionnement des barres bois

Conformément à la NF EN 1995-1-1, l'analyse de la structure doit tenir compte des éventuels excentremets ou imprécisions dans le positionnement des pièces.

NOTE : à la date de publication du présent document il s'agit du paragraphe 5.4 Sous-systèmes

La flèche des ouvrages ou éléments d'ouvrages, calculée aux états limites de service, doit être inférieure aux valeurs limites indiquées en clause 7.2(2) Valeurs limites pour les flèches de la norme NF EN 1995-1-1 /NA.

5.2.7 Dimensionnement des assemblages

Les assemblages doivent être conçus et calculés conformément aux spécifications de la norme NF EN 1995-1-1 et en particulier, conformément à sa section 8 : Assemblages par organes métalliques et à l'annexe A : Cisaillement de bloc des assemblages bois-métal multiples de type tige.

Il doit être justifié par le calcul que les enfourchements des bases de ferme sur les sommiers ont des dimensions suffisantes pour transmettre les efforts qui leurs sont appliqués, en particulier en ce qui concerne la compression transversale localisée.

A noter que la cheville bois participe au maintien des assemblages (notamment dans les tenons mortaises). Cependant, il convient de vérifier l'utilisation de l'assemblage : dans le cas d'efforts de compression le maintien est assuré, mais dans le cas d'efforts de traction, il est nécessaire de prévoir un renforcement par un boulon ou autre moyen approprié sauf justification particulière par essai comme évoqué au paragraphe 4.2.2 du présent document.

5.2.8 Stabilité et interface avec le bâti

Les bases de ferme ne sont pas solidaires des sommiers, donc la stabilité au soulèvement et au renversement est assurée par le seul poids propre du beffroi et des cloches. Ainsi, il y a lieu de s'assurer lors du dimensionnement que ce poids propre est suffisant pour compenser les éventuels efforts de soulèvement aux appuis en situation de balancement des cloches et en situation de séisme.

Les déplacements suivant l'axe longitudinal des bases de ferme sont bloqués par les enfourchements. Les déplacements perpendiculaires au plan des fermes doivent être bloqués par des moyens appropriés. Ce blocage peut être réalisé par la mise en œuvre d'équerres tel que décrit au paragraphe C.8 du présent document. Les efforts ainsi engendrés doivent être communiqués au bureau d'étude structure.

Il doit être vérifié par le calcul que la surface d'appui des sommiers est suffisante au regard de la compression transversale localisée. Les entailles aux appuis éventuelles doivent être justifiées par le calcul.

Sauf justification particulière en accord avec le bureau d'étude gros œuvre, aucun effort ne doit être transmis perpendiculairement au plan des murs en partie courante.

La fréquence propre du clocher doit être plus élevée que la plus haute fréquence partielle du troisième ordre de la cloche et avoir avec celle-ci une marge d'au moins 20% de sa valeur (marge de résonance). La fréquence d'oscillation de la cloche « n », nombre d'oscillations de la cloche par minute vaut : $n = a/2$ (« a » est déterminé dans le tableau en annexe A). La fréquence de la troisième harmonique vaut $3.n = 3.a/2$.

Si la fréquence propre du clocher est déterminée par des mesures pour un bâtiment achevé ou existant, la marge de résonance ne doit pas descendre en dessous de 10%. La mise en évidence des efforts du clocher venant des oscillations verticales n'est pas requise à cause de la grande rigidité verticale observée normalement pour les clochers. Il est suffisant de prendre en compte la force de liaison maximale verticale de la cloche.

5.3 Comportement au feu

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

5.3.1 Général

Il doit être porté une attention particulière sur la compatibilité des traitements d'ignifugation avec les hypothèses faites sur les performances mécaniques de la charpente.

5.3.2 Résistance

La résistance au feu de la structure des beffrois doit être justifiée :

- soit par la norme NF EN 1995-1-2 et son annexe nationale ;
- soit par le biais d'une caractérisation spécifique par essai selon NF EN 1365-2

5.3.3 Réaction

La classe de réaction au feu des éléments en bois massif ou en bois lamellé collé est donnée dans le tableau 9.

Lorsque le fabricant souhaite obtenir une autre classification ou une classification supérieure (par exemple : bois traité par ignifugation), il doit respecter la démarche prévue par les normes NF EN 13501-1 et NF EN 13823.

Produit ^a	Détails du produit	Masse volumique ^c minimale (kg/m ³)	Épaisseur minimale (mm)	Classe ^b
Bois de structure	Bois de structure classé visuellement ou par machine, à section transversale rectangulaire mis en forme par sciage, rabotage ou autre méthode, ou à section transversale ronde	350	22	D-s2, d0

^a S'applique à toutes les essences et adhésifs couverts par les normes de produits.

^b Classe telle que prévue dans la décision de la Commission 2000/147/EC Annexe Tableau 1. Pour les essais, la surface entière des deux ailes dans l'appareil SBI est couverte de pièces de bois montées bord à bord (jointes par le bout), sans liaison ou collage, et orientées horizontalement ou verticalement. Les pièces de bois sont soutenues par des lattes de bois d'au minimum 40 mm par 40 mm, fixées aux planches d'appui, distantes de 400 mm - 600 mm horizontalement ou verticalement (perpendiculairement à l'orientation des pièces de bois).

^c Correspondant au conditionnement conforme à NF EN 13 238

Tableau 9 : Bois de structure considéré comme classé sans essai supplémentaire

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

6 Préparation des bois et fabrication

6.1 Durabilité biologique

Les bois doivent respecter les préconisations du paragraphe 4.1.3.

Les bois doivent être traités après taillage en particulier pour les classes d'emploi 3 et 4 selon NF EN 335. Dans le cas où les bois sont traités avant la taille (classes d'emploi 1 et 2 uniquement), il est nécessaire de traiter localement (badigeonnage) les parties taillées.

6.2 Géométrie

6.2.1 Pièces de bois

Les dimensions réelles des pièces de bois doivent être conformes aux dimensions prévues, dans les limites de tolérance fixées pour la classe de tolérance 1 de la NF EN 336.

La mesure des dimensions des bois doit être corrigée avec la différence d'humidité entre celle résidant au moment de la mesure et celle attendue de l'ouvrage mis en oeuvre.

En plus des exigences de classes spécifiées dans les normes produits citées, le bois doit satisfaire aux critères suivants pour les flèches de rive, flèches de face, gauchissements et tuilages tels que définis dans la norme NF EN 844-3 et mesurés conformément à la norme NF EN 1310.

Toutes les dimensions contenues dans le tableau 10 correspondent à des exigences à humidité de livraison retenues pour le marché considéré (voir tableau 1).

Critères	Cas général pour éléments destinés à être assemblés ou non (Exigences s'appliquant exclusivement à des dimensions fonctionnelles) (arbalétriers, entrants, poinçons, fiches pannes, poutres, sablières)
Bois raboté : Hauteur, largeur	± 1 mm
Bois brut : Hauteur, largeur	± 2 mm
Longueur ^{a)}	Coupe droite : ± 2 mm Coupe braise : ± 5 mm
Angle de coupe en bout	± 1 %
Flèche de rive Flèche de face	2 mm maximum par 2 m de longueur ; avec maxi 10 mm jusqu'à 8 m pour la flèche de rive 1 mm par 50 cm pour les éléments de moins de 2m
Gauchissement :	maxi 2 mm par m de longueur, avec un maximum de 10 mm sur la longueur de la pièce
Tuilage :	1mm maximum par 100 mm de face

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Tableau 10 : Tolérances dimensionnelle



Campanistes
de France

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

6.2.2 Assemblages

Élément considéré	Tolérance de positionnement de l'assemblage par rapport à sa position théorique de conception	Tolérances de perçage
Assemblage par entailles	La position de l'entaille est de ± 5 mm / position théorique	<p>Les mortaises, embrèvements, etc. doivent présenter un évidement légèrement supérieur (2 mm au maximum) aux tenons et abouts des pièces qu'ils reçoivent.</p> <p>Pour des facilités de montage, un jeu supérieur localisé peut être admis dans la mesure où il n'affaiblit pas mécaniquement l'assemblage.</p> <p>Les chevilles sont en bois dur (Humidité environ 15%), de droit fil et dont la durabilité naturelle ou conférée est assurée.</p>
Pointe	À proscrire	
Vis	À proscrire	
Boulons	<p>Pour les éléments en bois d'une hauteur inférieure à 30 cm. Le positionnement d'un boulon par rapport à son emplacement théorique dans l'assemblage fini doit être exact à ± 5 mm.</p> <p>Pour les éléments en bois d'une hauteur comprise entre 30 cm et 70 cm, la tolérance est de ± 1 cm.</p> <p>Pour les éléments en bois d'une hauteur supérieure à 70 cm, la tolérance est de $\pm 1,5$ cm.</p>	<p>Le diamètre des trous de boulons est égal au diamètre nominal des boulons augmenté de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 mm dans les cas d'assemblages traditionnels dans lesquels les boulons n'assurent que le maintien en place des pièces assemblées, - 1 mm dans le cas où les boulons assurent la transmission d'un effort ou d'un couple, - 0 mm ou au maximum 2 mm dans le cas de flasques métalliques. Dans ce dernier cas, il convient de tenir compte des jeux d'assemblages, - sans jeu : 0 mm dans le cas de structures triangulées boulonnées, - 2 mm pour les montages en place dans le cas où ce jeu a été prévu à l'étude

<https://campanistes-de-france.fr/>

Élément considéré	Tolérance de positionnement de l'assemblage par rapport à sa position théorique de conception	Tolérance de perçage
Broches	Le positionnement d'une broche par rapport à son emplacement théorique dans l'assemblage fini doit être exact à ± 5 mm. Les broches sont placées alternativement de part et d'autre des lignes de répartition théorique, le décalage étant au plus égal à 0,5 fois le diamètre sans excéder 5 mm.	Les broches sont enfoncées à force dans des avant-trous dont le diamètre est égal au diamètre de la broche diminué d'au plus 0,5 mm.
Tire-fond	À proscrire	
Anneaux	À proscrire	
Crampons à dents	À proscrire	
Plaques métalliques pré-percées ou non	± 10 mm	<p>Pour les plaques pré-percées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - le pré-perçage dans la plaque doit être au maximum supérieur de 2 mm au diamètre nominal de la tige d'assemblage, - pour le percement de la partie bois, on admet une tolérance de + 1 mm par rapport à l'implantation théorique. <p>Pour les plaques non pré-percées : voir rubrique de l'assembleur utilisé (vis et pointes).</p>
Goussets bois (LVL ou contreplaqués)	À proscrire	
Sabots / Étriers	± 1 mm à +/- 10 mm selon les applications	

Tableau 11 : Tolérances de positionnement et de perçage

<https://campanistes-de-france.fr/>

6.2.3 Eléments prêts à être livrés

- Eléments livrés non assemblés :

Les exigences correspondant à ces éléments sont mentionnées dans le tableau 10.

- Eléments livrés assemblés :

Dimension de référence convenue au cas par cas suivant la géométrie des éléments assemblés	Tolérances sur les éléments d'ouvrage préfabriqués (sortie usine sans déformation générée par poids propre)
Longueur	(-5, +5) mm
Hauteur	(-5, +5) mm
Longueur du rampant	± 10 mm
Contre-flèche	$\pm 25\%$ de la contre-flèche définie par le calcul

Tableau 12 : Tolérance sur les éléments livrés assemblés

Les variations dimensionnelles entre éléments identiques (par exemple différences d'épures de fermes principales d'un ouvrage) ne doivent pas dépasser 10 mm.

6.3 Conditionnement et stockage

Le conditionnement prévu par le fabricant doit permettre d'isoler les pièces du sol et une libre circulation de l'air.

Pour les éléments non assemblés, le conditionnement prévu doit permettre en outre de limiter les déformations ultérieures qui pourraient apparaître (par exemple des variations dimensionnelles dues à une variation d'humidité).

Pour les éléments non assemblés, un cerclage et une palettisation, complétés s'il y a lieu d'un bâchage, conviennent

Pour certains types de traitement (classe 1 et 2 par exemple) les méthodes de conditionnement usuelles (bâchage par exemple) ne permettent pas de faire face à des stockages de longue durée.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

7 Montage et mise en service

Le montage ne peut se faire qu'avec des connaissances de l'art campanaire. Il doit permettre de respecter la disposition des cloches dans le clocher, leurs usages, les rythmes et le respect des modes de sonneries.

La réception du beffroi est conditionnée à la mise en service de toutes les cloches sonnantes à la volée sur une durée de 5 minutes.

Le beffroi est installé dans la chambre des cloches, et repose, le plus souvent, sur deux sommiers bois. Il est positionné dans le sens traditionnel de balancement des cloches. Les sommiers doivent être installés perpendiculairement au sens de balancement des cloches.

Exemples courants de montages :

- Sommiers dans des niches :

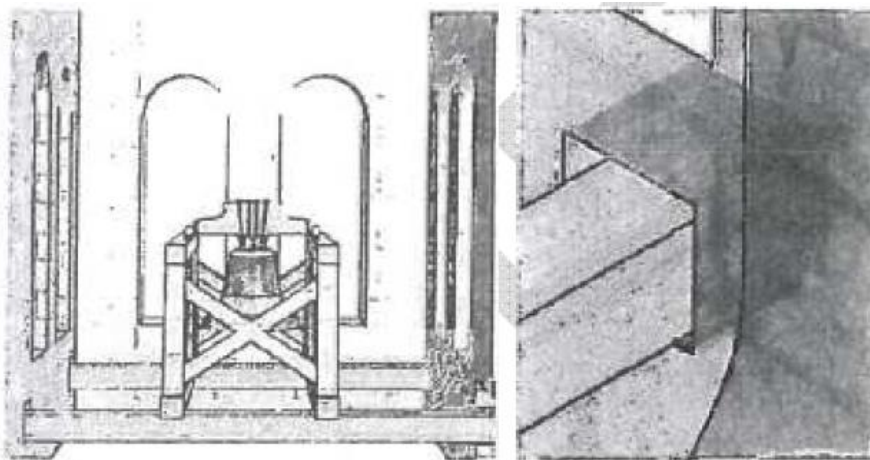


Figure 4 : Sommiers dans les niches

- Sommiers sur corbeaux :

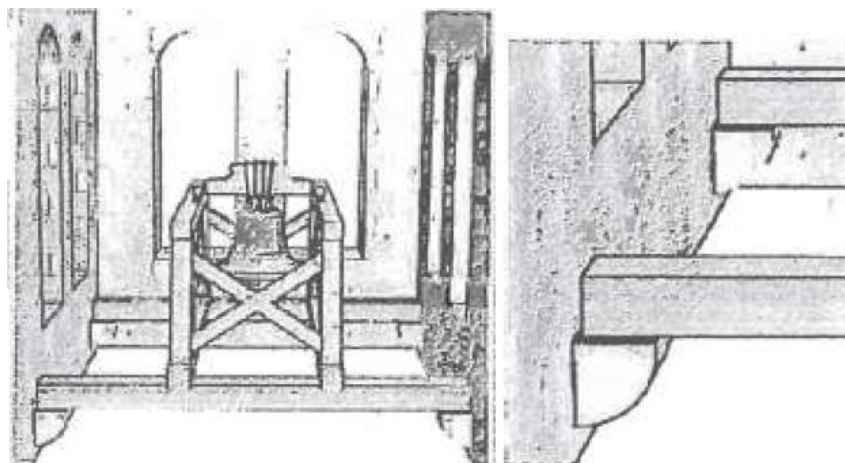


Figure 5 : Sommiers sur corbeaux

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

- Sommiers sur ceinture :

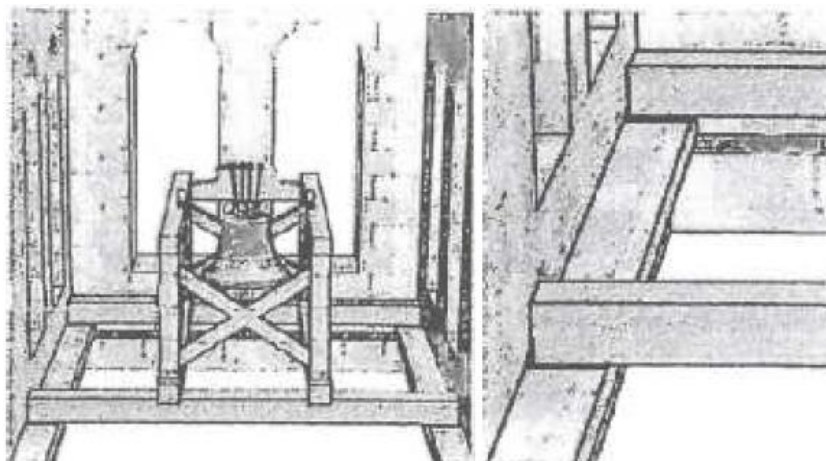


Figure 6 : Sommiers sur ceinture

- Sommiers sur une dalle :

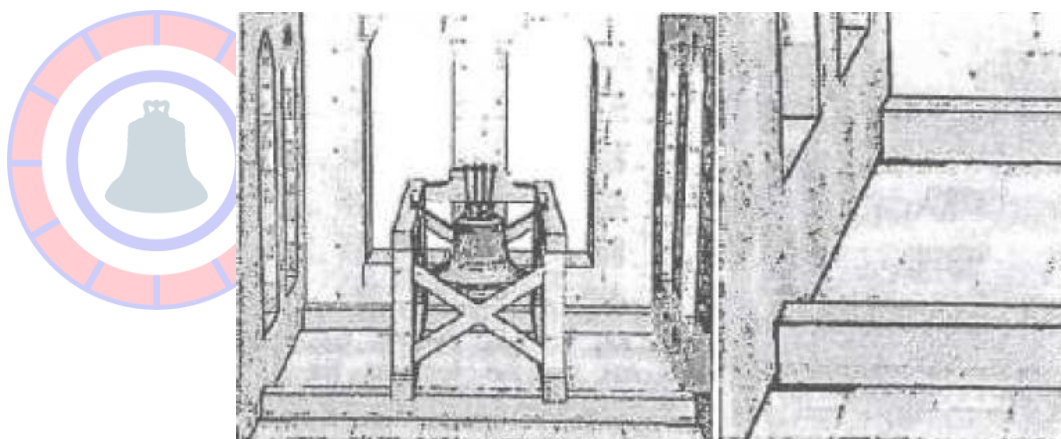


Figure 7 : Sommiers sur dalle

Le montage de l'installation électrique sur le beffroi doit répondre à la norme C15-100 et être réalisé par du personnel habilité aux travaux électriques.

8 Contrôle et maintenance des ouvrages

À partir de l'installation et après la mise en service du beffroi, il est nécessaire d'effectuer une visite annuelle de contrôle.

Les opérations de maintenance consistent à :

- Resserrer les assemblages (chevilles, boulons, ferrures, ...)
- Vérifier et régler les amplitudes de volée des cloches à leur mise en volée ;
- Examiner visuellement les pièces de bois et les assemblages ;

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

- Examiner visuellement la maçonnerie et la chambre des cloches.

9 Documentation relative au produit

La livraison du produit doit être accompagnée d'un dossier chantier complet, comportant notamment un jeu de plans (avec les emplacements des surfaces d'appuis), la note de calcul reprenant les hypothèses relatives à la mise en place et mise en œuvre des cloches et équipements campanaires et une nomenclature des composants livrés. Suivant la complexité de l'ensemble, des notices de manutention, de stockage et de montage peuvent être nécessaires.

10 Évaluation de la conformité

10.1 Généralités

La conformité d'un élément de structure avec les exigences du présent document doit être démontrée au moyen :

- D'un dossier interne à l'entreprise (dossier d'évaluation initiale) rassemblant l'ensemble des données génériques appliquées pour la fabrication courante (exemple : traitement de préservation, type d'assembleurs, type de qualité des bois...)
- D'un contrôle de production assuré par l'entreprise.

10.2 Dossier d'évaluation initiale

L'évaluation initiale doit être effectuée pour démontrer la conformité avec le présent document. Pour certains éléments spécifiques, il peut être réalisé des essais qui peuvent être pris en compte pour l'évaluation initiale.

10.3 Contrôle de production en atelier

10.3.1 Généralités

Le fabricant doit établir, documenter et maintenir un système de contrôle de la production en atelier pour garantir que les éléments fabriqués sont conformes aux exigences du présent document. Le système de contrôle de la production en atelier est établi à l'aide de procédures de contrôles réguliers (à l'aide d'essais éventuellement) lors des différentes étapes de la fabrication.

10.3.2 Contrôles

10.3.2.1 Principes généraux du contrôle

Les points suivants doivent être contrôlés pour chaque partie d'ouvrage :

- | | |
|-----------------------------------|--|
| — contrôle des approvisionnements | — classe de résistance mécanique du bois, voir 4.1.1 ; |
| | — dimensions du bois, voir 6.2.1 ; |
| | — défauts géométriques, voir 6.2.1 ; |
| | — teneur en humidité, voir 4.1.1 ; |
| | — choix essence/traitement en fonction de la résistance aux organismes biologiques si nécessaire, voir 4.1.3 ; |
| — contrôle conception | — justification mécanique selon 5.2 |
| — contrôle des éléments usinés | — type, positionnement, orientation et jeu de l'assemblage, voir 6.2.2 ; |
| | — vérification des cotes, voir 6.2.1 |
| | — montage à blanc, le cas échéant |

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

- conformité efficacité préservation si traitements après usinages
- contrôle du produit monté — tolérances dimensionnelles, voir 6.2.3;
- contrôle avant expédition — conditionnement ;
- documents ;
- Principes généraux du contrôle.

10.3.2.2 Modalités d'application

- Ces contrôles sont réalisés au moins une fois par jour de production ou une fois par poste de production ou une fois par lot, en retenant l'opération la plus fréquente
- Tous les appareillages de mesure d'essai et de fabrication doivent être régulièrement contrôlés conformément aux procédures, fréquences et critères documentés.
- Les enregistrements indiqués ci-après doivent être conservés pendant au moins 10 ans :
 - pour chaque lot :
 - numéro de commande et nom du client ;
 - date et poste de production ;
 - schémas de fabrication montrant les dimensions des pièces de bois, le type d'assembleurs, leurs dimensions et leur positionnement, la qualité du bois, le traitement de protection du bois (le cas échéant), les dimensions hors tout horizontales et verticales, et la contre-flèche (le cas échéant). Dans le cas où le fabricant a fait la conception, il s'agira de ses propres dessins; lorsque le fabricant réalise selon la conception d'une tierce partie, il s'agira soit des dessins de la tierce partie, soit d'une référence à ces dessins ;
 - les résultats des contrôles effectués selon 10.3.2.1
 - pour l'appareillage :
 - résultats de contrôles



Campanistes
de France

11 Marquage (optionnel)

Dans la mesure où un marquage est appliqué, chaque ensemble conditionné (palette,...) doit comporter un marquage clair et indélébile comportant les informations suivantes :

- identification du fabricant ;
- identification de la commande et du lot ;
- référence au présent document.

En outre l'information suivante doit être portée soit sur l'élément de structure, soit dans un document d'accompagnement :

- emplacement des surfaces d'appui.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

ANNEXE A

Caractéristiques des cloches

Colonne	1	2				3				4			
Ligne	Note	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
		d	G	α	a	d	G	α	a	d	G	α	a
		Profil											
		Léger				Moyen				Moyen-lourd			
1	Fa	2250	58	54	39	2320	71	51	37	2470	91	49	35
2	Fa#	2120	48	54	40	2220	59	52	38	2310	82	50	36
3	Sol	2000	40	55	42	2100	50	53	40	2180	61	51	37
4	Sol#	1880	34	56	43	2000	41	54	41	2070	53	52	39
5	La	1780	28	57	45	1880	35	55	43	1950	44	53	40
6	La#	1680	24	58	46	1760	29	56	44	1840	37	54	42
7	Si	1580	20	59	47	1660	24	57	45	1730	31	55	43
8	Do	1480	16	60	49	1570	20	58	47	1630	26	56	45
9	Do#	1400	14	61	51	1475	17	59	49	1530	21	57	47
10	Ré	1325	11	62	52	1390	14	60	51	1450	18	58	49
11	Ré#	1240	10	63	54	1310	12	61	52	1365	15	59	50
12	Mi	1170	8.0	64	55	1240	10	62	53	1290	12	60	51
13	Fa	1110	7.0	65	57	1170	8.0	63	55	1210	10.5	61	52
14	Fa#	1035	5.5	66	58	1100	7.2	64	56	1155	8.7	62	54
15	Sol	980	4.6	67	59	1040	6.0	65	57	1090	7.5	63	55
16	Sol#	930	4.0	68	60	980	5.0	66	59	1010	6.3	64	57
17	La	875	3.2	69	61	925	4.3	67	60	955	5.2	65	58
18	La#	830	2.8	70	63	870	3.5	68	61	900	4.3	66	60
19	Si	780	2.3	72	65	820	3.0	69	63	850	3.5	67	61
20	Do	740	2.0	74	66	775	2.5	70	64	800	3.1	68	62
21	Do#	690	1.6	75	67	730	2.1	71	65	750	2.5	69	64
22	Ré	650	1.4	76	68	690	1.7	72	66	705	2.1	70	65
23	Ré#	600	1.1	77	69	645	1.5	73	67	665	1.7	71	66
24	Mi	575	0.9	78	70	60	1.2	74	68	625	1.4	72	67
25	Fa	550	0.8	79	72	580	1.0	75	69	590	1.2	73	68
26	Fa#	510	0.65	80	74	545	0.8	76	70	555	1.0	74	69
27	Sol	480	0.55	81	75	510	0.7	78	72	520	0.85	76	70
28	Sol#	450	0.45	82	77	480	0.59	79	74	490	0.7	77	71
29	La	425	0.38	83	79	455	0.5	80	76	460	0.6	78	73
30	La#	390	0.32	84	81	430	0.4	82	78	435	0.48	79	75
31	Si	370	0.25	85	83	405	0.35	83	80	415	0.4	80	77
32	Do	350	0.2	86	85	380	0.3	85	82	385	0.35	82	79
33	Coefficient de forme	c = 0.75				c = 0.76				c = 0.77			

Tableau 3 : Caractéristiques des cloches

Avec d : diamètre de la cloche (mm) ; G : poids propre de la cloche (kN) ; α : angle limite de frappe (°) ; a : fréquence de frappe (1/min) ; c : coefficient de forme.

NOTE 1 : Il convient de réaliser une interpolation linéaire pour les valeurs non précisées dans le tableau.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

NOTE 2 : Les valeurs des coefficients de forme sont données pour des jougs droits.

Colonne	1	5				6				7			
Ligne	Note	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
		d	G	a	a	d	G	a	a	d	G	a	a
		Profil											
Lourd				Très lourd				Super lourd					
1	Fa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Fa#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Sol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Sol#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	La	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	La#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Si	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Do	1680	31	55	45	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Do#	1580	25	56	46	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Ré	1500	21	57	48	-	-	-	-	-	-	-	-
11	Ré#	1410	17	58	50	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Mi	1330	15	59	51	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Fa	1250	1	60	52	1350	17	58	51	1410	20	57	51
14	Fa#	1175	11	61	54	1280	14	59	53	1330	17	58	52
15	Sol	1110	9.0	62	55	1210	12	60	54	1255	15	59	54
16	Sol#	1040	7.2	63	57	1140	10	61	56	1180	12	60	56
17	La	985	6.2	64	58	1070	8.5	62	57	1120	10	61	57
18	La#	930	5.3	65	59	1010	7.0	63	58	1050	8.6	62	58
19	Si	880	4.3	66	60	950	6.0	64	59	990	7.2	63	59
20	Do	830	3.7	67	62	900	5.0	65	61	940	6.1	64	61
21	Do#	780	3.2	68	63	850	4.3	66	62	885	5.1	65	62
22	Ré	735	2.6	69	64	800	3.6	67	63	840	4.3	66	63
23	Ré#	690	2.1	70	65	750	3.0	68	64	790	3.6	67	64
24	Mi	650	1.7	71	66	710	2.5	69	65	740	3.0	68	65
25	Fa	620	1.5	72	67	670	2.1	70	66	700	2.5	69	66
26	Fa#	595	1.2	73	68	630	1.8	71	67	660	2.1	70	67
27	Sol	550	1.0	74	69	600	1.5	72	68	620	1.8	71	68
28	Sol#	525	0.9	75	70	565	1.2	73	69	590	1.5	72	69
29	La	495	0.75	76	72	530	1.0	74	70	555	1.3	73	70
30	La#	465	0.65	77	73	500	0.9	75	72	520	1.0	74	71
31	Si	440	0.5	78	75	475	0.75	76	73	495	0.9	75	72
32	Do	415	0.43	80	77	450	0.65	78	75	470	0.75	77	74
33	Coefficient de forme	c = 0.78				c = 0.79				c = 0.80			

Tableau 3 : Caractéristiques des cloches (suite)

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

ANNEXE B

Coefficients d'efforts dus au balancement des cloches

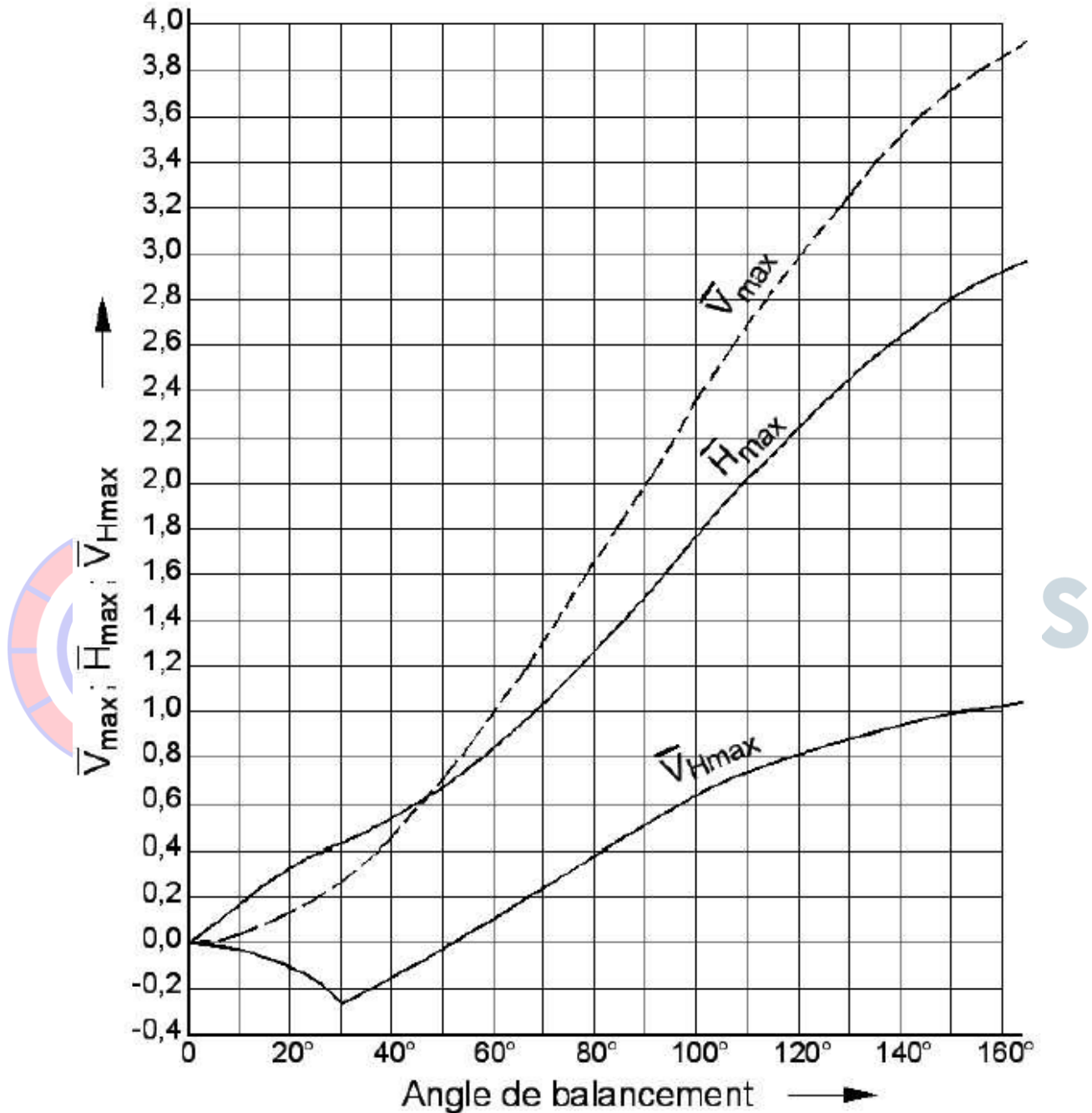


Figure 4 : Coefficients d'efforts dus au balancement des cloches

NOTE IMPORTANTE : Les efforts qui sont déterminés au moyen de cette figure ne prennent pas en compte un éventuel dépassement des angles de balancement, dans le cas d'une sonnerie manuelle par un sonneur non averti par exemple. Dans ce cas de figure, une étude particulière est à mener en prenant en compte notamment une valeur de l'effort maximal horizontal égal à 3 fois le poids de la cloche.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

ANNEXE C

Règle de moyen pour le dimensionnement

La règle de moyen présentée ici a pour objectif de fournir, sous certaines hypothèses et dans un cadre particulier décrit dans ce qui suit, une méthodologie de dimensionnement simplifiée permettant de s'affranchir d'une justification complète par calcul potentiellement complexe. La contrepartie de cette simplification pouvant être que les sections des pièces du beffroi ne sont pas optimisées de la même manière que si le dimensionnement était effectué par calcul.

C.1 Domaine d'emploi et hypothèses

La présente règle de moyen s'applique aux beffrois tels que définis ci-dessous :

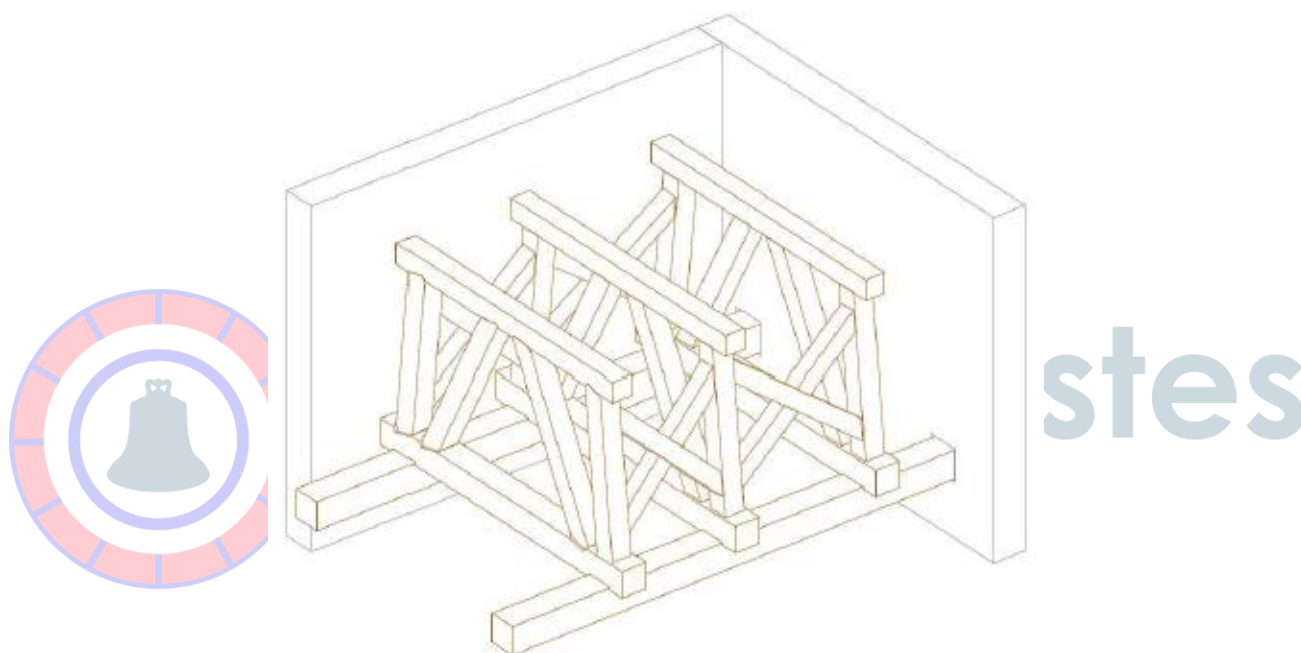


Figure 8 : Exemple de beffroi

Ces beffrois comportent deux voies, et donc trois fermes. Une loche par voie est mise en place. Les cloches sont supportées à mi portée des chapeaux de fermes et sont montées en lancé franc. Elles doivent avoir un angle de balancement strictement supérieur à 55° , un diamètre strictement inférieur à 1800 mm et un poids inférieur à 28 kN.

Dans le cas où les caractéristiques des cloches sont fournies par le fabricant, elles doivent être similaires à celles spécifiées en annexe A. À diamètre et coefficient de forme équivalents, les efforts engendrés ne doivent pas être supérieurs à ceux donnés dans l'annexe A.

De manière sécuritaire, on considère que toutes les cloches donnent les efforts maximums en même temps. L'influence du choix n'est en revanche pas considérée. Au sens des Eurocodes, le chargement dû au balancement des cloches est de classe de durée de moyen terme, soit d'une durée cumulée sur 50 ans comprise entre 1 semaine et 6 mois. La vérification de la non mise en résonance du clocher n'est pas envisagée par la présente règle de moyen, elle est à effectuer par ailleurs conformément aux exigences du paragraphe 5.2.8 notamment.

Pour le dimensionnement, chaque ferme est considérée individuellement et c'est à plus défavorable (celle qui reprend le plus d'efforts) qui pilote le dimensionnement. Les calculs sont réalisés en classe de service 3. Les

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

bois doivent être usinés et mis en œuvre à une humidité aussi proche que possible de celle qu'ils atteindront en œuvre.

Dans tous les cas, cette humidité moyenne ne dépasse pas 20% en partie courante.

De manière sécuritaire, le poids des croix de Saint André n'est pas pris en compte pour le dimensionnement au soulèvement. La présence d'un assemblage tenon/mortaise n'est pas prise en compte dans le calcul des assemblages. La présente règle de moyen est établie pour des bois ayant une classe de résistance mécanique au moins égale à D18 au sens de la NF EN 338. Les boulons doivent être conformes à la NF EN 14592, ils doivent être de classe 6.8 à minima.

En ce qui concerne l'action sismique, seule l'action horizontale est prise en compte. L'action sismique ne doit pas être supérieure à celle pour un beffroi implanté dans un bâtiment de catégorie d'importance II, en zone de sismicité 4 et en classe de sol B (le plus fréquente en France métropolitaine). Le produit $y_i \times S \times a_{gr}$ ne doit pas être supérieur à 2.16.

L'action sismique doit être considérée dans les deux directions principales du beffroi, dans le plan des fermes et perpendiculairement à ce plan. L'hypothèse est faite que les cloches ne sont pas mises en mouvement en situation de séisme. Il doit être vérifié, pour les deux directions, qu'il n'y a pas de risque de soulèvement pour cette sollicitation et que les éléments constitutifs et leurs assemblages peuvent reprendre les efforts engendrés.

Les efforts sismiques dus au poids propre des fermes sont appliqués au centre de gravité de la structure. L'hypothèse est faite que ce centre de gravité se situe à mi-hauteur des fermes. En revanche, les efforts sismiques dus au poids propre des cloches sont appliqués sur le dessus du chapeau de ferme.

Une exigence de stabilité au feu de 30 min est prise en compte pour les justifications de la règle e moyen du présent document. Le feu est considéré attaquer les pièces sur toutes leurs faces en partie courante. Il est considéré ci que les cloches ne sont pas mises en mouvement en situation d'incendie dans le beffroi.

C.2 Définition des critères géométriques

Les fermes doivent être symétriques et toutes identiques (sections, assemblages, ...) au sein d'un même beffroi.

Au sein d'une même ferme, toutes les pièces ont une même section carrée. Dans tous les cas, aucun élément du beffroi ne doit avoir une section inférieure à 100x100 mm² à 20% d'humidité. Les croix de Saint-André ont la même section que les éléments constitutifs des fermes.

Les fermes sont triangulées de telle sorte que leurs éléments constitutifs ne travaillent pas en flexion, le cisaillement induit est pas conséquent très limité et peut être négligé dans le cadre de la présente règle de moyen.

Toutes les barres sont biarticulées. La présente règle de moyen est établie pour un rapport l/L égal à 0.8.

La longueur L est comprise entre 1.5 m et 4 m. L'angle φ entre la base de ferme et les montants vaut $85^\circ + 2^\circ$.

La largeur minimum d'une voie (vide entre montants) est de $0.6 \times \ell$. Les croix de Saint-André forment un angle δ avec les montants des fermes compris entre 36° et 77° .

En ce qui concerne les assemblages, le talon des embrèvements et enfourchements vaut 150 mm. La profondeur des embrèvements et enfourchements est de h/6 (h : hauteur de la pièce entaillée). Au sujet du feu sur les embrèvements, l'hypothèse est faite que seules les faces latérales des pièces sont attaquées. Autrement dit, la valeur de h/6 initiale n'est pas diminuée en situation d'incendie.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

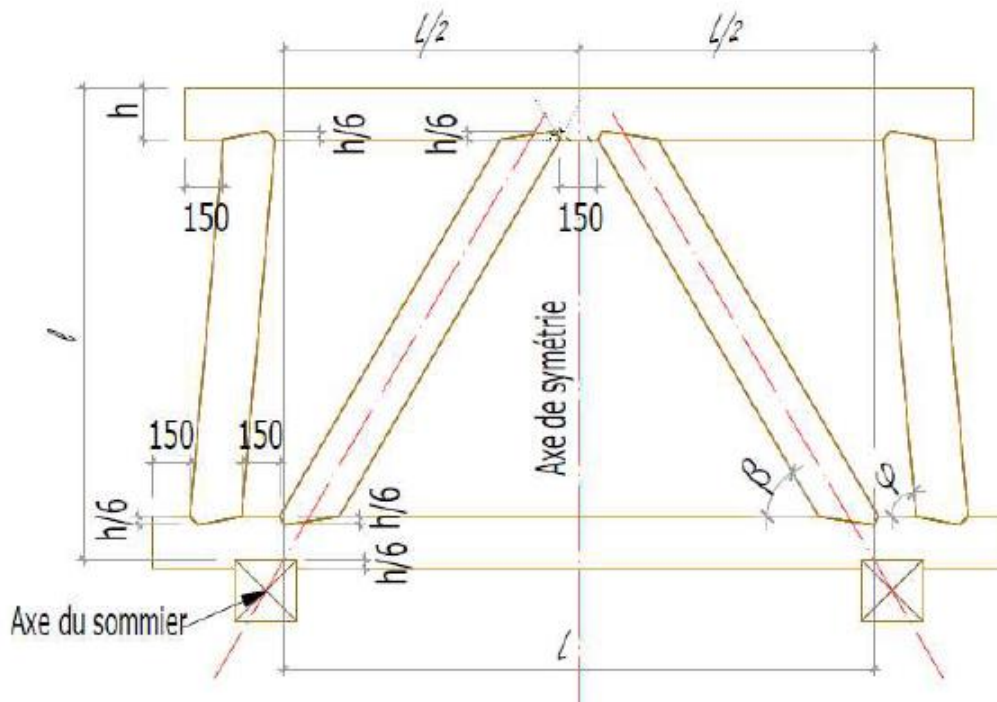


Figure 9 : Critères géométriques ferme

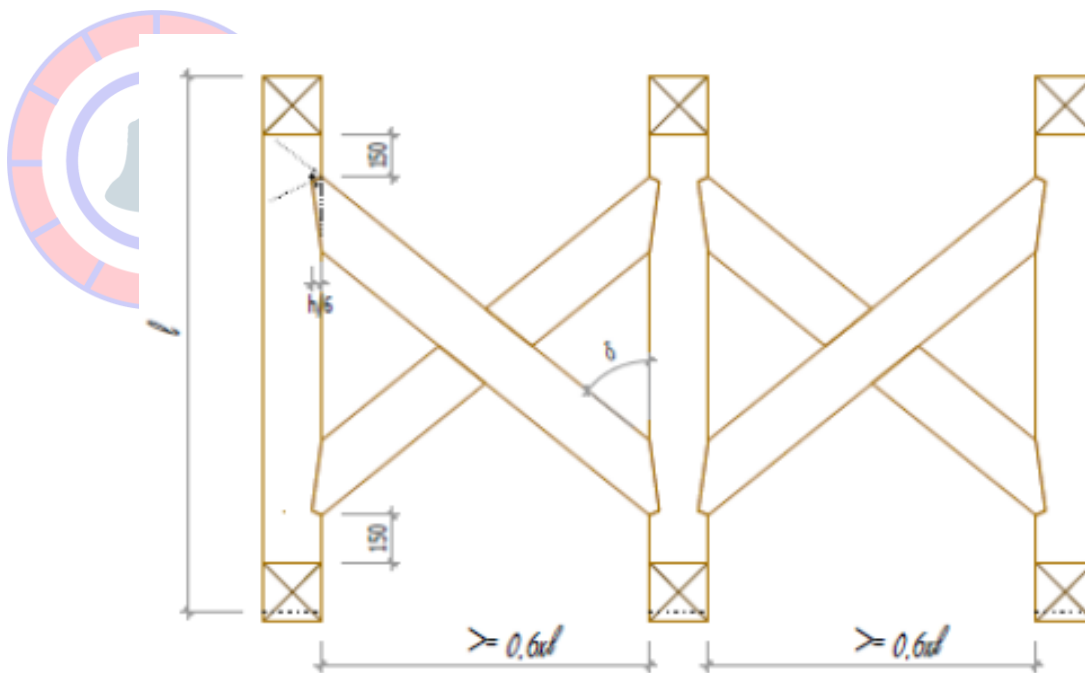


Figure 10 : Critères géométriques croix de Saint-André

Au regard de la diffusion des efforts au sein du chapeau de ferme, de la section de ce dernier et de la fixation des cloches sur celui-ci, les efforts des cloches sont supposés s'appliquer de manière équivalente en tête des deux écharpes. Pour la reprise de la traction notamment, les écharpes et les montants sont dans tous les cas assemblés sur les bases de ferme et sur les chapeaux de fermes tel que décrit ci-dessous.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

- Dans le cas où la section des éléments est inférieure ou égale à $200 \times 200 \text{ mm}^2$:

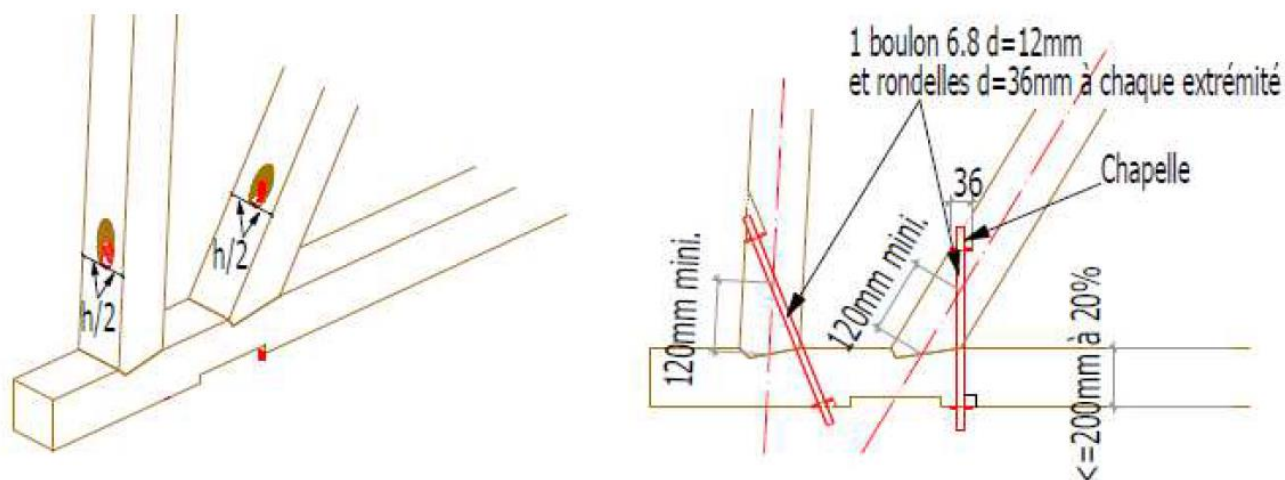


Figure 11 : Assemblages fermes pour sections inférieures ou égales à $200 \times 200 \text{ mm}^2$

- Et dans le cas où la section des éléments est supérieure à $200 \times 200 \text{ mm}^2$:

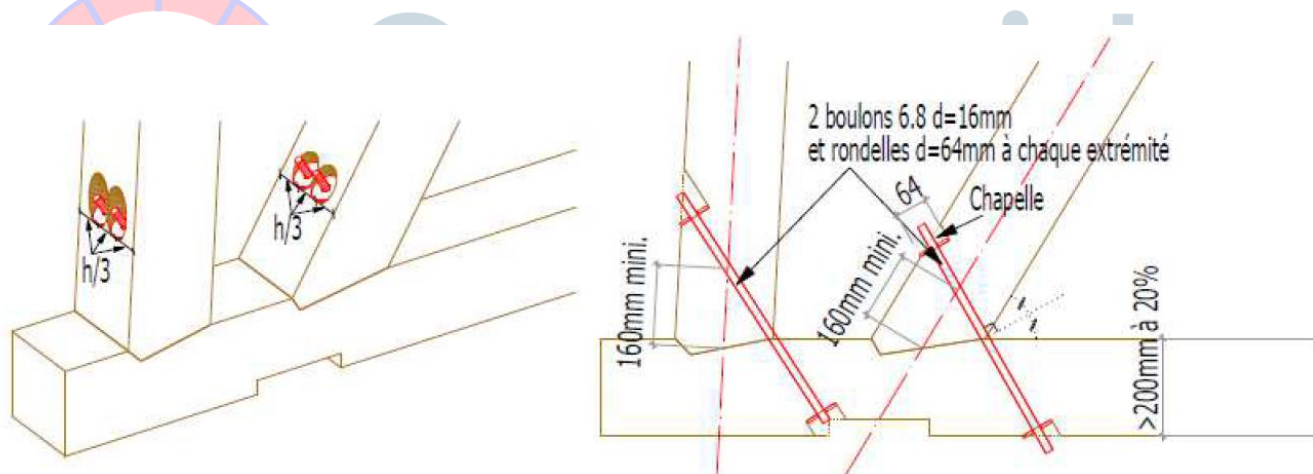


Figure 12 : Assemblages fermes pour sections supérieures à $200 \times 200 \text{ mm}^2$

De la même manière que pour les montants et les écharpes, la compression dans les croix de Saint-André est reprise au moyen d'un embrèvement sur les montants des fermes. De même, pour reprendre la traction dans les croix de Saint-André, un boulonnage est mis en œuvre sur celles-ci selon les dispositions suivantes :

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

- Dans le cas où la section des éléments est inférieure ou égale à $200 \times 200 \text{ mm}^2$:

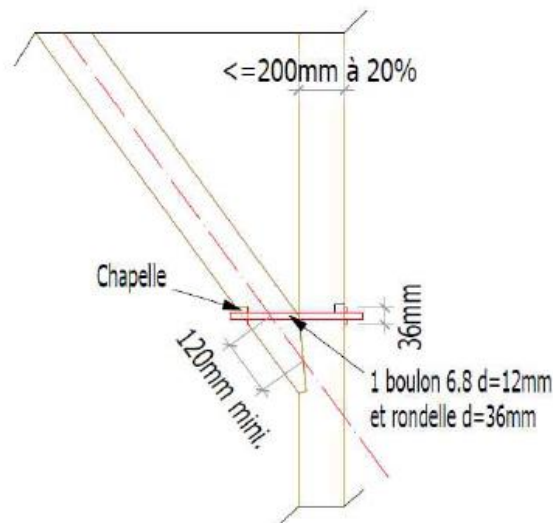


Figure 13 : Assemblages croix de Saint-André sections inférieures ou égales à $200 \times 200 \text{ mm}^2$

- Et dans le cas où la section des éléments est supérieure à $200 \times 200 \text{ mm}^2$:

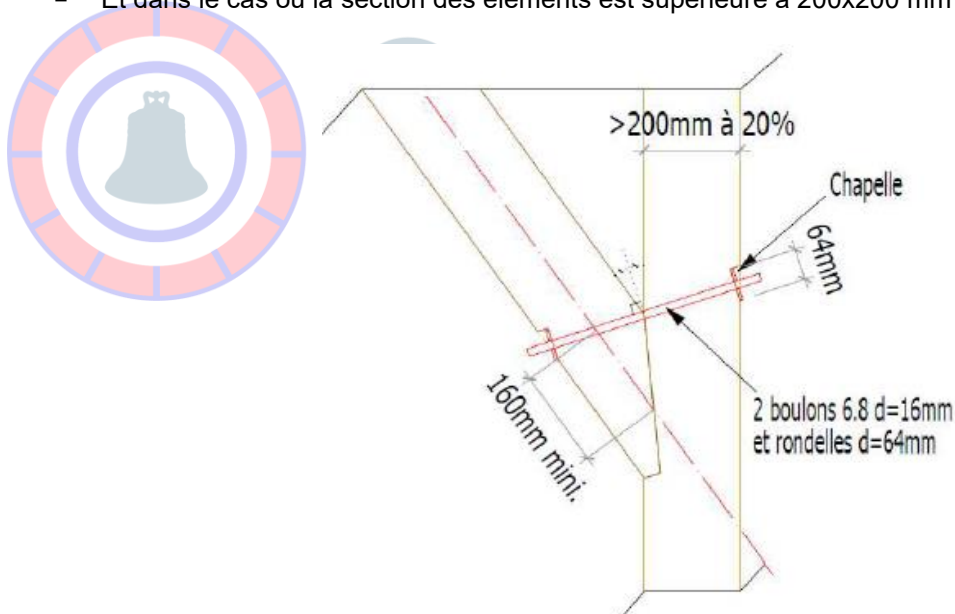


Figure 14 : Assemblages croix de Saint-André sections supérieures à $200 \times 200 \text{ mm}^2$

Si le beffroi est dans le domaine d'emploi de la règle de moyen et si les critères géométriques sont respectés, alors la règle de moyen de dimensionnement peut être utilisée. Dans le cas contraire, si le beffroi n'est pas dans le domaine d'emploi ou si les critères géométriques ne sont pas respectés, la règle de moyen ne s'applique pas et il faut alors faire une justification par calcul conformément au paragraphe 5.2.

À noter que si les critères géométriques sont respectés, les fermes peuvent être modélisées de la manière suivante : les lignes d'épures coïncident avec les axes des pièces, les appuis en pied sont modélisés juste sous les écharpes et les efforts sont appliqués de manière équivalente en tête des deux écharpes. À noter qu'il faut prendre garde aux excentricités dues à l'épaisseur des pièces dans le cas d'une modélisation 2D ou

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

3D. À noter également qu'une modélisation 3D permet d'avoir une vision globale des effets de torsion sur le beffroi.

C.3 Vérification à mener dans le cadre général

De manière générale, une fois que les efforts dus au balancement des cloches sont déterminés, les différentes vérifications qui doivent être effectuées pour justifier le beffroi sont les suivantes :

- Vérification du soulèvement ;
- Vérification des écharpes et assemblages ;
- Vérification des enfourchements sur les bases de ferme ;
- Vérification de la compression transversale base de ferme/sommier ;
- Vérifications du beffroi sous sollicitation sismique (dans le plan des fermes et perpendiculairement)
- Vérifications du beffroi en fatigue ;
- Vérifications du beffroi au feu ;
- Vérification des sommiers en partie courante (situation normale, sismique, feu et fatigue).

Seules les vérifications évoquées ci-dessus sont considérées dans le cadre de la présente règle de moyen. Il y aura par ailleurs notamment lieu de vérifier l'ancrage des sommiers sur le gros œuvre ainsi que l'accroche des cloches sur les chapeaux.

C.4 vérifications à mener dans le cadre de la présente règle de moyen

La présente règle de moyen est construite de telle sorte qu'une fois que les efforts dus au balancement des cloches sont déterminés, les différentes vérifications qui doivent être effectuées pour justifier le beffroi sont les suivantes :

- Vérification des critères géométriques ;
- Vérification du soulèvement ;
- Vérification des sommiers en partie courante (situation normale, sismique, feu et fatigue).

Toutes les autres justifications sont considérées comme étant satisfaites si et seulement si les trois conditions suivantes sont respectées :

- Le beffroi est dans le domaine d'emploi de la règle de moyen ;
- Les critères géométriques sont respectés conformément au paragraphe C.6 ;
- Il n'y a pas de soulèvement conformément au paragraphe C.7.

Les différentes étapes évoquées ci-dessus (détermination des efforts et les trois vérifications à mener) sont détaillées dans les paragraphes suivants. Un exemple est traité en Annexe D.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

C.5 Détermination des efforts dus au balancement des cloches

Ensuite, en fonction des angles de balancement, la figure 4 en annexe B permet de déterminer les coefficients :

- \bar{V}_{max} (effort vertical maximum normé)
- \bar{H}_{max} (effort horizontal maximum normé)
- $\bar{V}H_{max}$ (effort vertical normé associé à \bar{H}_{max})

Enfin, les efforts maximaux non pondérés, V_{max} , H_{max} et VH_{max} , sont calculés selon la formule $X=\bar{X} \times c \times G$.

Par convention dans le cadre de la présente règle de moyen, les fermes et les cloches sont repérées de la manière suivante :

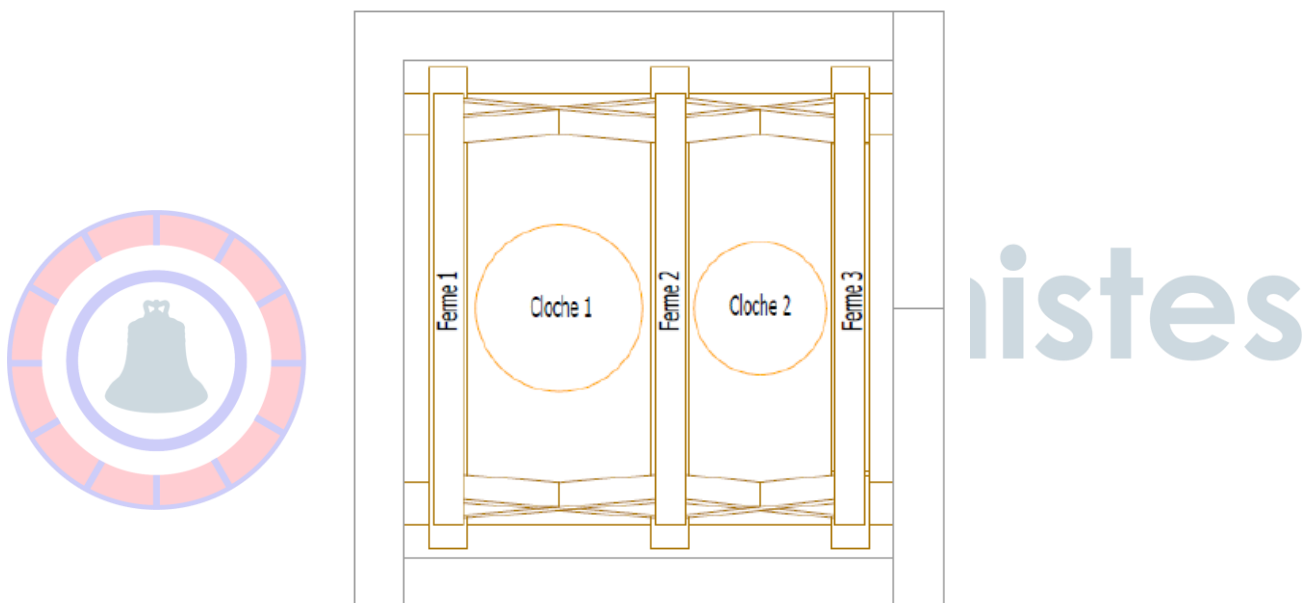


Figure 15 : Vue en plan, exemple de beffroi

Sont ensuite déduits les efforts maximaux non pondérés par ferme $V_{max,ferme}$, $H_{max,ferme}$ et $VH_{max,ferme}$.

Comme précisé au paragraphe 5.2.4, deux cas de charge sont à envisager (hors pondérations) :

- Cas 1 : Poids propre + effort vertical maximal V_{max} (ici l'effort horizontal associé est nul) ;
- Cas 2 : Poids propre + effort horizontal maximal H_{max} + effort vertical associé VH_{max}

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

C.6 Vérification des critères géométriques

Il s'agit ici de vérifier que le beffroi considéré respecte les critères géométriques. Si le beffroi considéré respecte ces critères, alors la règle de moyen peut être utilisée.

Si ces critères ne sont pas respectés (ou si le beffroi n'est pas dans le domaine d'emploi de la règle de moyen), la présente règle de moyen n'est pas applicable et une étude particulière (modélisation 2D ou 3D par exemple) est nécessaire. Il en va de même si les hypothèses générales prises plus haut ne sont pas respectées.

Il est rappelé que les bois doivent être usinés et mis en œuvre à une humidité aussi proche que possible de celle qu'ils atteindront en œuvre.

C.7 Vérification du soulèvement

On doit en premier lieu vérifier que la masse des fermes est suffisante au regard des efforts dus au balancement des cloches pour éviter tout soulèvement. De manière sécuritaire, le poids des croix de Saint-André n'est pas pris en compte dans le calcul du poids des fermes. Dans le cadre de la démarche adoptée, c'est donc la ferme qui présente le risque de soulèvement le plus important qui pilote le dimensionnement du beffroi à ce niveau.

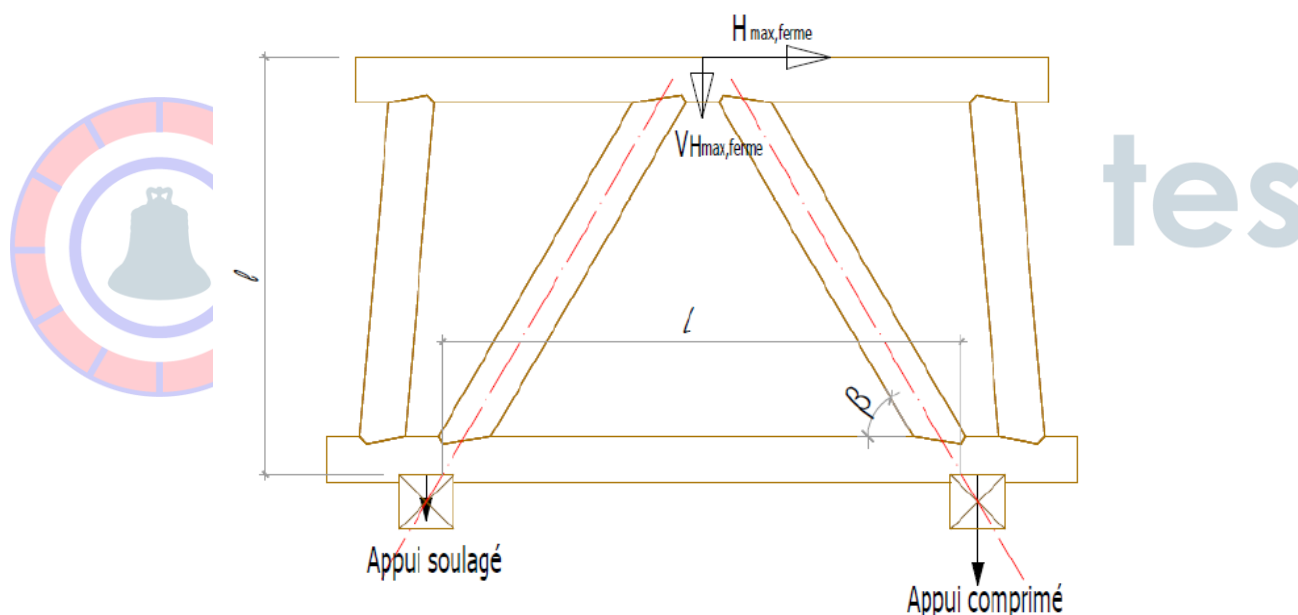


Figure 16 : Effort de basculement

On doit calculer le poids propre de la ferme et de la ou des cloches qu'elle supporte. Pour cela, et de manière sécuritaire, la masse volumique moyenne du bois à 12% ainsi que les sections ramenées à 12% sont utilisées. La masse volumique moyenne à 12% pour du bois de classe de résistance mécanique D18 vaut 570 kg/m³ selon la NF EN 338. Conformément aux préconisations de la NF EN 1990 et son annexe nationale, c'est la combinaison EQU qui est utilisée pour vérifier le soulèvement.

Le poids propre G de la ferme est le volume de bois à 12% d'humidité multiplié par la masse volumique moyenne à 12% d'humidité. Pour les appuis soulagés, les réactions se calculent comme suit :

$$\frac{0.9 \times (G_{ferme} + G_{cloches}) + 1.5 \times V_{H_{max,ferme}}}{2} - 1.5 \times H_{max,ferme} \times \frac{l}{L}$$

Équation 1 : Formule pour le calcul de la réaction des appuis soulagés

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

On doit alors ensuite vérifier qu'aucune réaction n'est négative ce qui indiquerait un risque de soulèvement. Si tel est le cas, les sections doivent être augmentées par exemple afin d'ajouter de la masse.

Comme précisé plus haut, toutes les autres justifications évoquées sont automatiquement satisfaites si et seulement si les trois conditions suivantes sont respectées :

- Le beffroi est dans le domaine d'emploi de la règle de moyen ;
- Les critères géométriques sont respectés ;
- Il n'y pas de soulèvement.

C.8 Vérification des sommiers en partie courante (situation normale, sismique, feu et fatigue)

Les sommiers sont dimensionnés grâce aux réactions d'appui des fermes calculées comme suit au moyen de la combinaison STR pour les deux cas de charges. À noter qu'il faut également prendre en compte le poids des Croix de Saint-André (CSA). Pour mémoire, les cas de charges sont, hors pondérations :

- Cas 1 : Poids propre + effort vertical maximal V_{max} (ici l'effort horizontal associé est nul) ;
- Cas 2 : Poids propre + effort horizontal maximal H_{max} + effort vertical associé V_{Hmax} .

Pour le cas 1, la poussée est nulle. La descente de charge se calcule au moyen de la formule suivante :

$$\frac{1.35 \times (G_{ferme} + G_{CSA} + G_{cloches}) + 1.5 \times V_{max,ferme}}{2}$$

Équation 2 : Formule pour le calcul de la réaction des appuis comprimés cas 1

Pour le cas 2, la poussée est égale à $H_{max,ferme}$. De manière sécuritaire, il est considéré ici que chaque sommier doit pouvoir reprendre seul la poussée totale.

Pour ce cas, la descente de charge se calcule comme suit :

$$\frac{1.35 \times (G_{ferme} + G_{CSA} + G_{cloches}) + 1.5 \times V_{Hmax,ferme}}{2} + 1.5 \times H_{max,ferme} \times \frac{l}{L}$$

Équation 3 : Formule pour le calcul de la réaction des appuis comprimés cas 2

À noter que de manière sécuritaire, seules les réactions d'appui de la ferme la plus défavorable peuvent être considérées. Les deux cas de charge doivent être vérifiés. À noter que dans le cas 2, les sommiers travaillent en flexion combinée, c'est-à-dire autour de deux axes principaux de la section.

Les descentes de charges à communiquer au bureau d'étude gros œuvre sont les réactions d'appui des sommiers (poussées et descentes de charge).

Étant donné que l'hypothèse que les cloches ne sont pas mises en mouvement en situation d'incendie dans le beffroi, si les sommiers sont convenablement dimensionnés à l'ELU à froid, ils sont par conséquent également convenablement dimensionnés au feu, et cette vérification n'est par conséquent pas nécessaire.

Pour la vérification en fatigue, il doit être procédé comme suit, sur la base des préconisations de l'annexe A de la NF EN 1995-2 :

- Si le taux de travail ELU en flexion du sommier, noté ω_f est supérieur à 40%, pour tenir compte des effets de la fatigue, on doit augmenter le côté de la section d'un coefficient $\sqrt[3]{\omega_f \times 1.7}$. Ce coefficient

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

ne sera jamais pris inférieur à 1. Si le calcul de ω_f donne une valeur inférieure à 1, cela signifie que le sommier est convenablement dimensionné à la fatigue en flexion en l'état.

- Si le taux de travail ELU en cisaillement du sommier, noté ω_v est supérieur à 30%, pour tenir compte des effets de la fatigue, on doit augmenter le coté de la section d'un coefficient $\sqrt{\omega_v \times 3.7}$. De la même manière que précédemment, ce coefficient ne doit jamais être pris inférieur à 1. Si le calcul de ω_v donne une valeur inférieure à 1, cela signifie que le sommier est convenablement dimensionné en fatigue au cisaillement en l'état.

En situation sismique, afin de bloquer le beffroi dans le cas d l'action perpendiculaire au plan des fermes, le principe suivant doit être mis en œuvre :

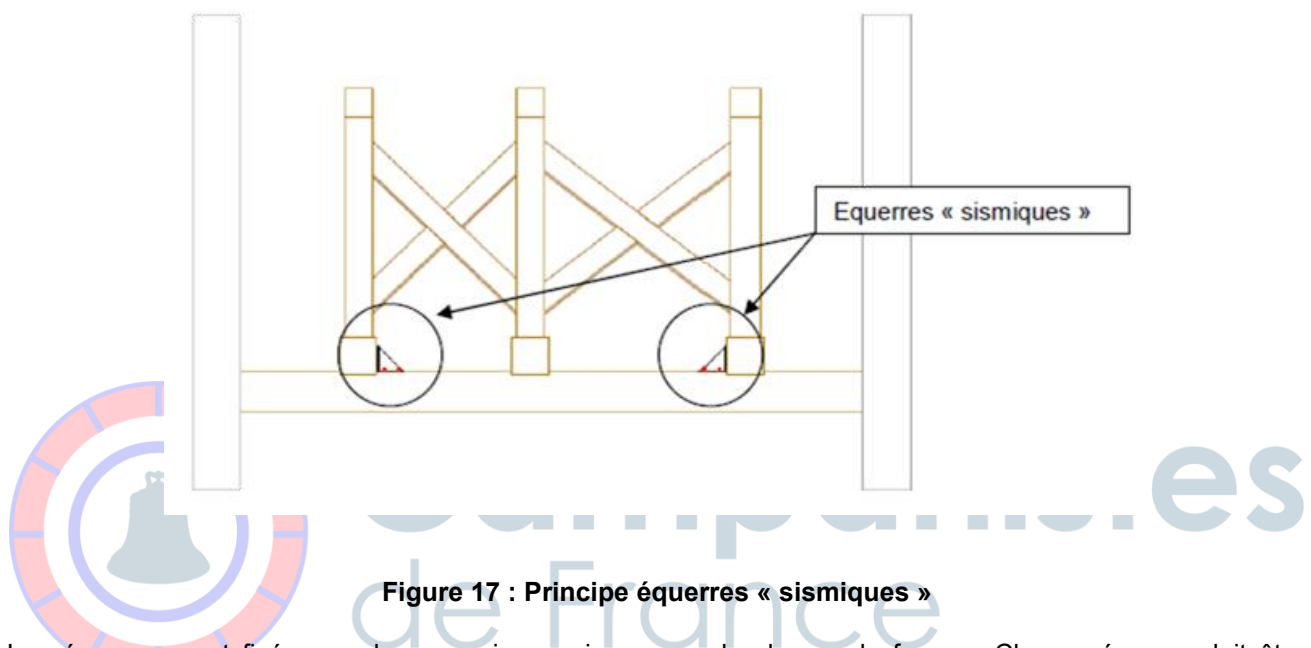


Figure 17 : Principe équerres « sismiques »

Les équerres sont fixées sur les sommiers mais pas sur les bases de fermes. Chaque équerre doit être dimensionnée avec les efforts sismiques (donc en situation accidentelle) non pondérées suivants, appliqués au droit de chaque file de croix de Saint-André :

- Dans le cas où la section des éléments est inférieure ou égale à 200x200mm² : 1030 DaN ;
- Dans le cas où la section des éléments est supérieure à 200x200mm² : 3600 DaN.

Les poussées ainsi engendrées suivant l'axe des sommiers en situation sismique doivent être transmises au bureau d'étude gros œuvre.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

ANNEXE D

Exemple de justification selon la règle de moyen proposée en Annexe C

D.1 Détermination des efforts dus au balancement des cloches

Dans le cadre de cet exemple, les caractéristiques des cloches mises en place, fournies par le fabricant, sont les suivantes :

	d : diamètre (mm)	G : poids propre (kN)	α : angle de balancement (°)	a : fréquence de frappe (1/min)	c : coefficient de forme
Cloche 1	1005	5.93	66	58	0.75
Cloche 2	800	2.99	69	65	0.75

Tableau 14 : caractéristiques des cloches

NOTE 1 : Dans le cas où les caractéristiques des cloches ne sont pas fournies, elles peuvent être déterminées sur la base du tableau donnée en Annexe A.

NOTE 2 : C'est l'angle de balancement maximum qui doit être pris en compte dans les calculs.

En fonction des angles de balancement, la figure 4 en annexe B permet de déterminer les coefficients suivants :

	\bar{V}_{max}	\bar{H}_{max}	$\bar{V}H_{max}$
Cloche 1	1.2	0.95	0.2
Cloche 2	1.3	1	0.23

Tableau 15 : Coefficients de force

Les efforts maximaux non pondérés, calculés selon la formule $X = \bar{X} \times c \times G$, sont les suivants :

	V_{max} (kN)	H_{max} (kN)	V_{Hmax} (kN)
Cloche 1	5.34	4.23	0.89
Cloche 2	2.92	2.24	0.52

Tableau 16 : Efforts maximaux non pondérés

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Comme évoqué précédemment, par convention dans le cadre de la présente règle de moyen, les fermes et les cloches sont repérées de la manière suivante :

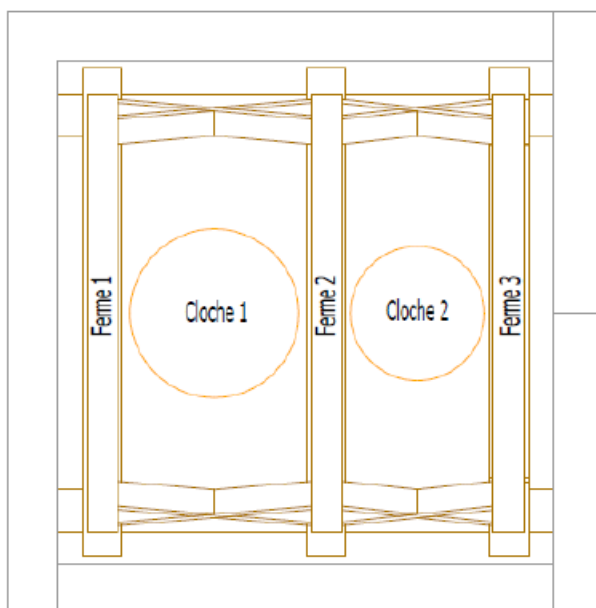


Figure 18 : Vue en plan exemple de beffroi

Par ferme, les efforts maximaux non pondérés sont les suivants :

	$V_{max,ferme}$ (kN)	$H_{max,ferme}$ (kN)	$V_{Hmax,ferme}$ (kN)
Ferme 1	2.67	2.12	0.45
Ferme 2	4.13	3.24	0.71
Ferme 3	1.46	1.13	0.26

Tableau 17 : Efforts maximaux non pondérés par ferme

Comme précisé au paragraphe 5.2.4, deux cas de charge sont à envisager (hors pondération) :

- Cas 1 : Poids propre + effort vertical maximal V_{max} (ici l'effort horizontal associé est nul) ;
- Cas 2 : Poids propre + effort horizontal maximal H_{max} + effort vertical associé V_{Hmax} .

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

D.2 Vérification des critères géométriques

On vérifie que le beffroi considéré respecte les critères géométriques. Comme précisé au paragraphe C.6, si ces critères ne sont pas respectés (ou si le beffroi n'est pas dans le domaine d'emploi de la règle de moyen), la présente règle de moyen n'est pas applicable et une étude particulière (modélisation 2D ou 3D par exemple) est nécessaire. Il en va de même si les hypothèses générales prises au paragraphe C.1 ne sont pas respectées.

Les caractéristiques géométriques du beffroi étudié sont les suivantes (dimensions à 20%) :

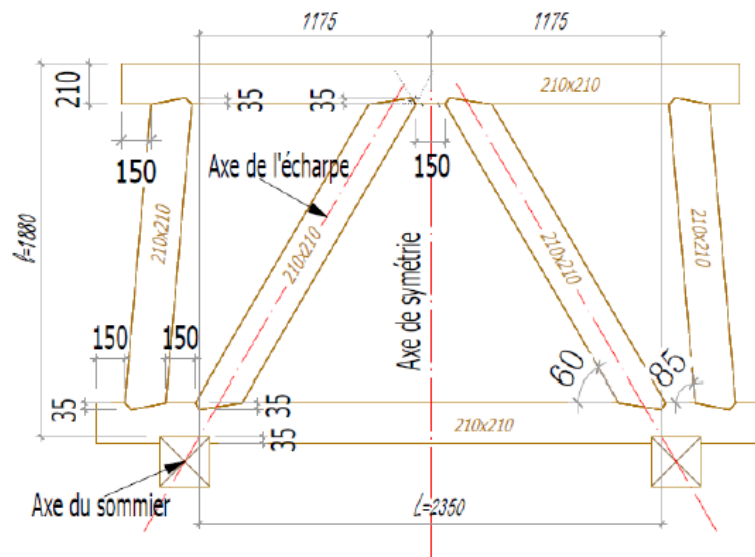


Figure 19 : Ferme beffroi étudié

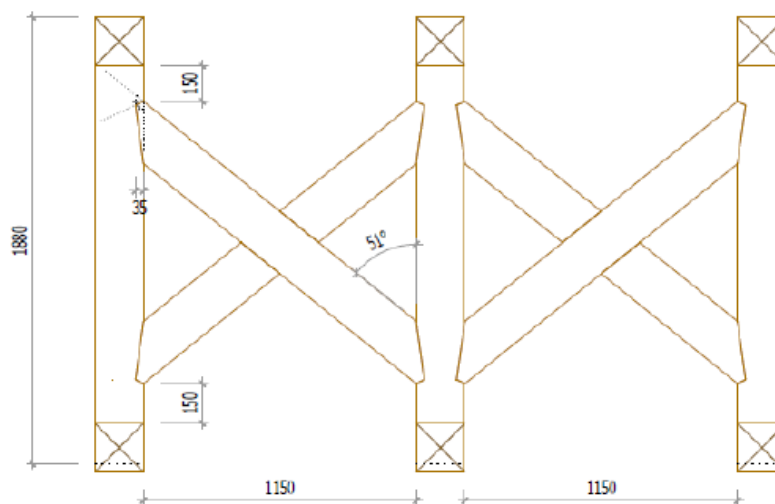


Figure 20 : Croix de Saint-André beffroi étudié

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Il est rappelé que les bois doivent être usinés et mis en œuvre à une humidité aussi proche que possible de celle qu'ils atteindront en œuvre.

Les critères géométriques sont respectés. Les assemblages sont conformes aux critères définis au B.2. La règle de moyen peut donc être utilisée.

À noter dans le cas d'une modélisation 2D ou 3D, il y aura lieu de prendre en compte les excentricités entre la fibre neutre du chapeau de ferme et le point d'application de la charge, ainsi qu'entre la fibre neutre de la base de ferme et les points d'appui. Ne pas prendre en compte ces excentricités conduit à sous-estimer les efforts de soulèvement.

D.3 Vérification du soulèvement

Comme évoqué au paragraphe C.7, on doit en premier lieu vérifier que la masse des fermes est suffisante au regard des efforts dus au balancement des cloches pour éviter tout soulèvement. De manière sécuritaire, le poids des croix de Saint-André n'est pas pris en compte dans le calcul du poids des fermes. Dans le cadre de la démarche adoptée, c'est donc la ferme qui présente le risque de soulèvement le plus important qui pilote le dimensionnement du beffroi à ce niveau.

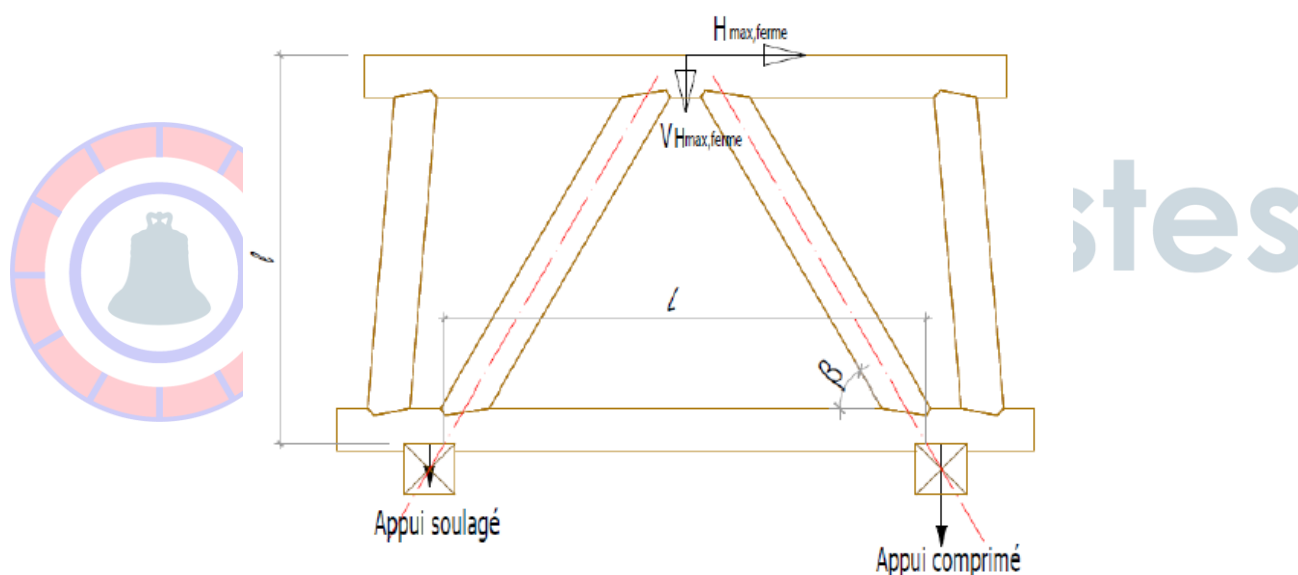


Figure 21 : Effort de basculement

On doit calculer le poids propre de la ferme et de la ou des cloches qu'elle supporte. Pour cela, et de manière sécuritaire, la masse volumique moyenne du bois à 12% ainsi que les sections ramenées à 12% sont utilisées. La masse volumique moyenne à 12% pour du bois de classe de résistance mécanique D18 vaut 570 kg/m^3 selon la NF EN 338. Conformément aux préconisations de la NF EN 1990 et annexe nationale, c'est la combinaison AQU qui est utilisée pour vérifier le soulèvement.

Le poids propre G de la ferme est le volume de bois à 12% d'humidité multiplié par la masse volumique moyenne à 12% d'humidité. Pour les appuis soulagés, les réactions se calculent comme suit :

$$\frac{0.9 \times (G_{ferme} + G_{cloches}) + 1.5 \times V_{H_{max,ferme}}}{2} - 1.5 \times H_{max,ferme} \times \frac{l}{L}$$

Équation 1 : Formule pour le calcul de la réaction des appuis soulagés

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Dans le cadre de cet exemple, ceci donne :

	L (mm)	ℓ (mm)	G _{ferme} (kN)	G _{cloches} (kN)	Réaction pondérée appui soulagé (kN)
Ferme 1	2350	1880	3.09	2.965	0.52
Ferme 2	2350	1880	3.09	4.460	0.04
Ferme 3	2350	1880	3.09	1.495	0.90

Tableau 18 : Réactions pondérées des appuis soulagés

Aucune des réactions d'appui calculées n'est négative, il n'y a par conséquent pas de soulèvement. Si cela avait été le cas, il aurait fallu augmenter les sections par exemple. À noter que c'est la ferme 2 qui présente l'appui le plus soulagé pour le cas pratique étudié.

Comme précisé plus haut, toutes les autres justifications évoquées sont automatiquement satisfaites si et seulement si les trois conditions suivantes sont respectées :

- Le beffroi est dans le domaine d'emploi de la règle de moyen ;
- Les critères géométriques sont respectés ;
- Il n'y a pas de soulèvement.

D.4 Vérification des sommiers en partie courante (situation normal, sismique, feu et fatigue)

Les sommiers sont dimensionnés grâce aux réactions d'appui des fermes calculées comme suit au moyen de la combinaison STR pour les deux cas de charges. À noter qu'il faut également prendre en compte le poids des croix de Saint-André (CSA). Pour mémoire, les cas de charges sont, hors pondérations :

- Cas 1 : Poids propre + effort vertical maximal V_{max} (ici l'effort horizontal associé est nul) ;
- Cas 2 : Poids propre + effort horizontal maximal H_{max} + effort vertical associé $V_{H_{max}}$.

Pour le cas 1, la poussée est nulle. La descente de charge se calcule au moyen de la formule suivante :

$$\frac{1.35 \times (G_{ferme} + G_{CSA} + G_{cloches}) + 1.5 \times V_{max,ferme}}{2}$$

Équation 4 : Formule pour le calcul de la réaction des appuis comprimés cas 1

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.

Ce qui donne :

Cas 1	G _{CSA} (kN)	Poussée (kN)	Réaction pondérée appui comprimé (kN)
Ferme 1	0.80	0	6.23
Ferme 2	1.60	0	9.27
Ferme 3	0.80	0	4.73

Tableau 19 : réactions pondérées appuis comprimés cas 1

Pour le cas 2, la poussée est égale à $H_{max,ferme}$. De manière sécuritaire, il est considéré ici que chaque sommier doit pouvoir reprendre seul la poussée totale.

Pour ce cas, la descente de charge se calcule comme suit :

$$\frac{1.35 \times (G_{ferme} + G_{CSA} + G_{cloches}) + 1.5 \times V_{H\ max,ferme}}{2} + 1.5 \times H_{max,ferme} \times \frac{l}{L}$$

Équation 5 : Formule pour le calcul de la réaction des appuis comprimés cas 2

Ce qui donne :

Cas 2	G _{CSA} (kN)	Poussée (kN)	Réaction pondérée appui comprimé (kN)
Ferme 1	0.80	3.17	7.49
Ferme 2	1.60	4.86	10.58
Ferme 3	0.80	1.69	5.17

Tableau 20 : Réactions pondérées appuis comprimés cas 2

À noter que de manière sécuritaire, seules les réactions d'appui de la ferme la plus défavorable peuvent être considérées. Les deux cas de charge doivent être vérifiés. À noter que dans le cas 2, les sommiers travaillent en flexion combinée, c'est-à-dire autour de deux axes principaux de la section.

Les descentes de charges à communiquer au bureau d'étude gros œuvre sont les réactions d'appui des sommiers (poussées et descentes de charge).

Étant donné que l'hypothèse que les cloches ne sont pas mises en mouvement en situation d'incendie dans le beffroi, si les sommiers sont convenablement dimensionnés à l'ELU à froid, ils sont par conséquent également convenablement dimensionnés au feu et cette vérification n'est par conséquent pas nécessaire.

Pour la vérification en fatigue et en situation de séisme, il faut procéder conformément au paragraphe C.8.

<https://campanistes-de-france.fr/>

Le présent document est la propriété des Campanistes de France (ex.GIHEC), fruit d'une commission beffroi regroupant les membres du Gihec.

Tous droits de reproduction totale ou partielle réservés.