

Structure & Patrimoine

1bis, allée de la Pépinière 92150 Suresnes
Tel : 01 41 44 13 86 Fax : 09 70 62 83 00 Port : 06 68 05 18 18
Email : bmasse@structure-patrimoine.fr



BEFFROI DE BERGUES (59)

NOTICE STRUCTURE – PRO-DCE

SEPTEMBRE 2017

ARCHITECTE :

VINCENT BRUNELLE – ACMH
1, RUE DONCRE
62000 ARRAS

SOMMAIRE

<i>I. Objet de l'étude :</i>	<i>3</i>
<i>II. Rappel des conclusions de la phase AVP</i>	<i>3</i>
<i>III. Dimensionnement de la structure du carillon</i>	<i>4</i>
A. Présentation de la structure	4
B. Hypothèses de charge	5
1. Charges permanentes	5
2. Surcharges d'exploitation	6
3. Surcharge de vent	6
C. Résultats	6
D. Conclusion	7
<i>IV. Préconisations finales</i>	<i>8</i>
A. Charpente de la salle de musique	8
B. Restauration des planchers BA intérieurs	9
C. Création d'une structure métallique de renfort du carillon	9

I. Objet de l'étude :

Cette notice structure concerne le beffroi de Bergues (59). Elle s'inscrit dans le cadre d'une mission de maîtrise d'œuvre pour la restauration du beffroi dirigée par l'agence Vincent Brunelle ACMH, et pour le compte du maître d'ouvrage, la ville de Bergues.

Cette mission de maîtrise d'œuvre s'inscrit dans la continuité de l'étude préalable réalisée par l'agence Vincent Brunelle, et vise à confirmer et préciser ses conclusions.

Cette notice structure relative à la phase PRO-DCE de la mission est à lire en complément de la note réalisée lors de la phase AVP.

Dans cette note, nous rappelons tout d'abord les conclusions émises à l'issue de la phase AVP. Nous justifions ensuite le dimensionnement de la structure métallique de renfort du beffroi que nous proposons.

II. Rappel des conclusions de la phase AVP

À l'issue de la phase AVP, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- les fermes de la charpente des salles de musiques, ne possédant qu'un entrain retroussé, sont sujettes à des déformations importantes, provoquant des poussées sur les murs de façade est et ouest. Ces murs n'étant pas contreventé par des murs de refend, ils ont subi des déformations importantes. (dévers vers l'extérieur).
- les planchers en béton armé de niveaux supérieurs du beffroi (planchers des niveaux 5 et 6) sont dégradés : les armatures, sous l'effet d'infiltrations d'eau, se sont corrodées, provoquant fissures et éclatements des bétons.
- la structure du carillon, au sommet du beffroi, présente de nombreux désordres : on constate plusieurs bois très humides voire pourris, ainsi que la présence ponctuelle de champignons. De plus la structure a subi des déformations importantes : la structure n'est manifestement plus verticale et plusieurs assemblages sont déboîtés.

Nos préconisations à l'issue de la phase AVP étaient les suivantes (ces préconisations sont détaillées à la fin de cette note) :

- les fermes de la charpente de la salle de musique seront renforcées d'une part par la mise en œuvre d'aiseliers assemblés à l'entrait retroussée et aux arbalétriers, et d'autre part par la mise en œuvre de tirants métalliques permettant de reprendre les poussées des fermes sur les murs de façade. De plus on réalisera une révision de l'ensemble de la charpente et des assemblages, ainsi qu'un système de contreventement entre les fermes (croix de Saint-André).
- les bétons dégradés des planchers du beffroi seront restaurés.
- la structure en bois du carillon sera restaurée et renforcée par la création d'une structure métallique qui portera les cloches du carillon, afin de soulager la structure bois existante.

Le but de cette note est de préciser le dimensionnement de la structure métallique de renfort du carillon.

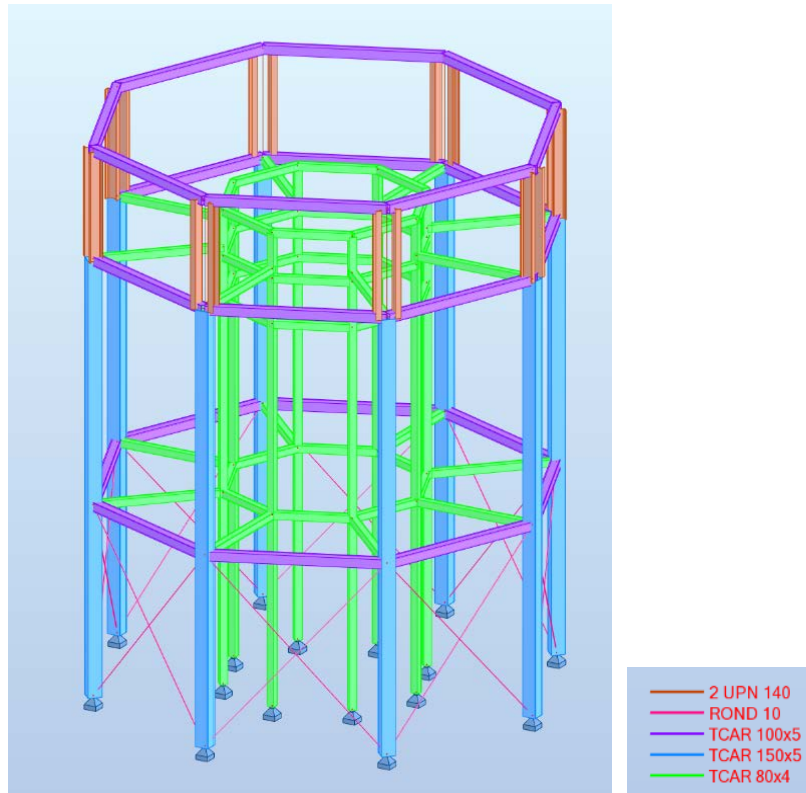
III. Dimensionnement de la structure du carillon

A. Présentation de la structure

La structure métallique de renfort du carillon sera réalisé à l'intérieur de la structure bois existante. Elle sera constituée d'une structure périphérique portant les cloches les plus lourdes et d'une structure centrale portant les cloches les plus légères. De plus, un niveau de plancher (porté par la structure métallique) sera créé au-dessus du plancher actuel afin d'accéder au niveau des cloches.

La structure métallique à créer n'a donc pour but que de porter les cloches du carillon ainsi que le niveau de plancher de visite. Le bulbe formant la toiture du carillon sera toujours porté par la structure en bois d'origine.

Afin de dimensionner la structure métallique de renfort, nous avons réalisé un modèle à l'aide du logiciel Autodesk Robot. une représentation de ce modèle est donnée ci-dessous.



Modèle de la structure métallique

La composition de la structure est la suivante :

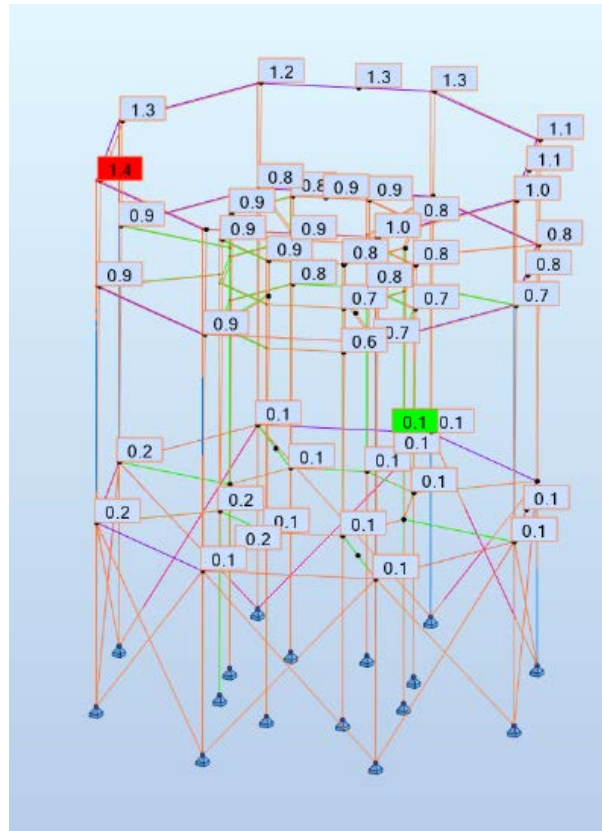
- la structure centrale (en vert) est constituée de tubes carrés 80x4 mm ;
- les poteaux périphériques sont constitués de tubes carrés 150x5 mm ainsi que de 2 UPN140 dans leur partie supérieure (afin d'échapper aux aisseliers de l'enrayure existante en partie haute de la structure bois du carillon) ;
- les traverses périphériques sont constituées de tubes carrés 100x5 mm ;
- la structure est contreventée par des croix constituées de ronds de diamètre 10 mm.

B. Hypothèses de charge

1. Charges permanentes

Les charges permanentes sont constituées :

- du poids des cloches ; le détail du poids de chaque cloche nous a été transmis par M. Martel, Carillonneur du beffroi de Bergues. Le total du poids des cloches est de 6 161 kg ;
- du poids du plancher à créer pour la visite, que l'on considère égal à 100 kg/m².



Déplacements maximaux [cm] sous combinaisons ELS

D'après ces résultats, la contrainte maximale dans les éléments est d'environ 205 MPa (sous combinaisons ELU), donc inférieure à la contrainte admissible de l'acier égale à 235 MPa.

D'autre part, les déformations maximales (principalement dues aux charges de vent latéral) sont au maximum de 1,4 cm. La structure ayant une hauteur d'environ 6 m, ceci représente un déplacement d'environ 1/430^{ème} de la hauteur de la structure. Ce déplacement est donc acceptable (la valeur maximale couramment admise étant de 1/300^{ème} de la hauteur).

D. Conclusion

La structure métallique décrite ci-dessus est donc suffisamment dimensionnée pour recevoir les cloches ainsi qu'un plancher de visite en toute sécurité. Cette structure viendra en complément de la structure bois existante qui portera toujours le bulbe formant la toiture du carillon. Cette structure bois, aujourd'hui dégradé, devra être restaurée afin d'en assurer la stabilité : réfection des assemblages déboîtés (avec éventuelle mise en œuvre d'étriers afin d'assurer le maintien futur des assemblages) ; remplacement des pièces de bois pourries ou altérées par les

champignons. En particulier, les pieds des poteaux (non visibles à leur base mais probablement pourris) devront être restaurés. Afin d'assurer un ancrage de la structure en bois existante, on créera un système de longrine en béton armé, reposant sur le plancher BA existant, sur lequel seront ancrés les poteaux de la structure ; ce système sera constitué d'une longrine périphérique octogonale (reprenant la disposition de la structure du campanaire) et de deux longrines transversales.

La structure métallique sera liaisonnée à la structure bois existante afin de lester celle-ci (la structure en bois étant sujette au soulèvement sous l'effet du vent) ; elle sera de plus ancrée dans les longrines en béton armé créées.

Les charges sont reprises par les poutres BA existantes au dernier niveau de plancher du beffroi (plancher de support du campanaire). Ces poutres BA devant être restaurées, on en purgera les bétons afin de connaître leurs armatures et de vérifier leur capacité à reprendre les surcharges dues au projet. Le cas échéant, ces poutres seront renforcées par mise en œuvre d'armatures supplémentaires avant réfection des béton.

IV. Préconisations finales

Nous résumons et détaillons ici nos préconisations de renforcement structurel pour la restauration du beffroi.

A. Charpente de la salle de musique

- mise en œuvre d'aiseliers en bois de résineux de section 6,3x17,5 ht cm (section standard utilisée dans la charpente existante), assemblés à l'entrait retroussé et aux arbalétriers de chaque ferme ;
- mise en œuvre de tirants métalliques (Ø20 mm) en partie supérieure des murs, reliant les deux poteaux en bois de chaque ferme de charpente, afin de reprendre les poussées des fermes de charpente. Ces tirants métalliques seront mis en œuvre au niveau de chacune des fermes des deux salles de musique (3 fermes dans chaque salle). De plus, étant donnée leur longueur importante (7,60 m pour les plus longs), ils devront être repris par un lien vertical accroché aux entrails des fermes

correspondantes (ce lien devra donc traverser la voûte en bois au niveau de son sommet), afin d'éviter qu'ils ne fléchissent trop ;

- mise en œuvre de croix de Saint-André entre toutes les fermes de la charpente, en bois de résineux de section 6,3x17,5 ht cm, assemblées aux poinçons des fermes ;
- révision de l'ensemble de la charpente et des assemblages, avec renfort ou remplacement des éléments dégradés.

B. Restauration des planchers BA intérieurs

La restauration des planchers en béton armés dégradés, se fera par :

- reconnaissance des parements de béton altérés et non adhérents, par sondage et reconnaissance visuelle ;
- purge de la totalité de ces bétons altérés et non adhérents, en prenant soin de dégager les armatures ;
- passivation des armatures mises à nu ;
- restauration des bétons altérés avec un mortier de liant hydraulique (mortier de ciment) dont la composition et la résistance seront compatibles avec le béton existant.

Par ailleurs, concernant le dernier plancher du beffroi portant la structure du carillon, on relèvera les dimensions des armatures existantes dans les poutres afin de vérifier leur capacité à reprendre les surcharges provoquées par le renforcement du carillon ; le cas échéant, on mettra en œuvre des poutres métalliques de renfort en sous-face des poutres BA existantes (voir plans de structure).

C. Création d'une structure métallique de renfort du carillon

Nous préconisons la mise en œuvre d'une structure métallique de renfort de la structure bois existante du carillon. Cette structure métallique sera mise en œuvre à l'intérieur de la structure bois existante et devra porter les cloches du carillon ainsi qu'un niveau de plancher permettant la visite du carillon. Un escalier en bois permettra l'accès à ce niveau de plancher.

La structure métallique est détaillée dans les plans de structure joints.

Cette structure métallique devra être liaisonnée à la structure en bois afin de lester celle-ci. D'autre part, on créera un système de longrines reposant sur le plancher

en béton armé existant, auxquelles seront ancrées la structure bois existante et la structure métallique créée.

La structure métallique sera contreventée par des croix mises en œuvre au premier niveau, avec des tiges de diamètre 10 mm minimum.

Par ailleurs, la structure en bois du carillon devra être restaurée :

- remise en état des assemblages déboîtés (avec mise en œuvre éventuelle d'étriers) ;
- remplacement ou renforcement des pièces pourries ou altérées.