6 allée de la Mandallaz – Duocité Bât. B
74370 EPAGNY-METZ-TESSY
Tél : 04 50 05 06 25
Email : contact@annecystructures.com
Site : www.annecystructures.com

Monsieur Stéphane Menand / SOGIRE
Quartier de l'Amara
Avoriaz 1800
74 110 AVORIAZ

Epagny-Metz-Tessy, le 18 octobre 2022

Copropriétés du quartier de l'AMARA

DIAGNOSTIC DES GARDE-CORPS

Résidences de l'Amenda, du Chandra, du Dharma, du Prana, du Sveta et du Surya)

Ingénierie Bois Construction

1. Généralités 4
1.1 Présentation 4
1.2 Mission détaillée 4
1.3 Historique 4
1.4 Localisation géographique 7
1.5 Normes et règles applicables 8
1.6 Relevés de cotes 9
2. Principe constructif 12
2.1 Principe constructif 12
2.2 Cas particulier du bâtiment Surya 16
2.3 Garde-corps sur les différents bâtiments 18
2.3.1 Cas spécifique : appartement 1201 de l'Amenda 22
2.3.2 Cas spécifique : appartement 1101 du Prana 22
3. Vérification par le calcul 24
3.1 Hypothèses de calculs 24
3.1.1 Code de calculs 24
3.1.2 Charges applicables aux garde-corps 24
3.1.2.1 Charges permanentes (CP) 24
3.1.2.2 Charges d'exploitation (Q_A) 24
3.1.2.3 Charges climatiques de vent (W) 24
3.1.2.4 Classe de service & k_{mod} 24
3.2 Charges à reprendre 24
3.3 Platine de pied 25
3.3.1 Liaison poteau-ferrure 25
3.3.1.1 Configuration 1 25
3.3.1.2 Configuration 2 28
3.3.2 Liaison ferrure-solive 31
3.3.2.1 Cas des garde-corps du Surya 34
3.4 Raideur d'assemblage – déplacement en tête de poteau 34
3.5 Pré-conclusion sur la vérification par le calcul 34
4. Conception 36
4.1 Vis mises en œuvre 36
4.2 Implantation des vis 36
4.3 Réalisation de l'encastrement 37
5. Devoir de conseils 40

5.1 Durabilité du platelage 40
5.2 Encadrements de menuiserie 40
5.3 Liaison des mains courantes 42
5.4 Etat des bois des balcons 43
5.5 Seuils de menuiserie 45
5.6 Bardage en façade 48
5.7 Appt. n°303 du Sveta 48
6. Mesures conservatoires 50
6.1 Balcons du bâtiment Amenda 50
6.2 Balcons du bâtiment Chandra 50
6.3 Balcons du bâtiment Dharma 50
6.4 Balcons du bâtiment Prana 50
6.5 Balcons du bâtiment Sveta 50
6.6 Terrasses du bâtiment Surya 50
7. Conclusions 51
1. Annexes 52
1.1 Repérage des appartements 52
1.1.1 Bâtiment Amenda 52
1.1.2 Bâtiment Chandra 52
1.1.3 Bâtiment Dharma 53
1.1.4 Bâtiment Prana 53
1.1.5 Bâtiment Sveta 54
1.1.6 Bâtiment Surya 54

1.Généralités

1.1 Présentation

Nous intervenons pour diagnostiquer les garde-corps bois sur les 6 résidences du quartier de l'Amara.
Notre mission d'intervention est définie ci-après.

1.2 Mission détaillée

La mission d'Annecy Structures est d'établir un diagnostic précis des garde-corps bois des différents balcons des résidences de l'Amara. Le but est de vérifier que :

- visuellement, leur état soit compatible avec leur destination,
- par le calcul, leur dimensionnement soit compatible avec les exigences de sécurité des biens et des personnes.

Le cas échéant, un principe de renforcement pourra être proposé.

1.3 Historique

Le quartier de l'Amara, situé à Avoriaz 1800 est composé de plusieurs résidences de tourisme. Six bâtiments composent le complexe, tous reliés par les garages souterrains. L'opération a été menée en plusieurs tranches sur les années 2011-2012.
Les bâtiments sont :

- L'Amenda (R+12 de 66 appartements),
- Le Chandra (R+13 de 38 appartements),
- Le Dharma (R+12 de 34 appartements),
- Le Sveta (R+5 de 15 appartements),
- Le Prana (R+11 de 51 appartements),
- Le Surya (réception / spa).

Figure 1 : plan général des différents bâtiments

Hormis le bâtiment de réception du Surya, les balcons extérieurs en bois sont composés :

- De porteurs principaux type consoles ou poutres avec poteaux ronds,
- D'un solivage,
- D'un platelage jointif en contre-collé – ep. 62 mm,
- De garde-corps bois fixés au travers du platelage par ferrures métalliques.

L'essence utilisé pour ces structures est en Mélèze avec du bois lamellé-collé pour le solivage, du contre-collé pour le platelage et les poteaux de garde-corps, du bois massif pour les main courante.

Sur le Surya (voir Figure 7), il n'y a que des garde-corps fixés directement sur des structures béton. Au rez-de-chaussée, ils permettent de protéger « la place » de l'Amara et au niveau inférieur, ils protègent la terrasse du spa.

Figure 2 : bâtiment Amenda côté Est/Sud-Est

Figure 3 : bâtiment Amenda côté Ouest/Sud-Ouest

Figure 4 : à gauche, bâtiment Chandra / à droite bâtiment Dharma

Figure 5 : bâtiment Prana avec à gauche, façade Ouest/Sud-Ouest / à droite, façade Sud

Figure 6 : bâtiment Sveta

Figure 7 : bâtiment Surya (réception / spa)

1.4 Localisation géographique

Le quartier de l'Amara se situe à Avoriaz 1800, à une altitude moyenne de 1 800 m.

Figure 8 : localisation du quartier de l'Amara : à gauche, carte topographique IGN & à droite, photographie aérienne (source Géoportail)

1.5 Normes et règles applicables

La construction des différents bâtiments remontant aux années 2011-2012, les principales normes et règles applicables lors de la mise en œuvre sur les structures bois de la charpente et des mezzanines sont les suivantes :

- **NF EN 335-2** : Durabilité du bois et des produits dérivés du bois – Janvier 2007
  Définition des classes d'emploi
  Partie 2 : Application au bois massif

- **NF EN 350-2** : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois – Juillet 1994
  Durabilité naturelle du bois massif
  Partie 2 : Guide de la durabilité naturelle du bois et de l'imprégnabilité d'essences de bois choisies pour leur importance en Europe

- **NF P06-001** : Bases de calcul des constructions – Juin 1986
  Charges d'exploitation des bâtiments

- **NF EN 1991-1** : Eurocode 1 - Actions sur les structures - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments – Mars 2003 (Juin 2004 pour AN)
  Partie 1-1 : Actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments
  Annexe Nationale : Annexe Nationale à la NF EN 1991-1-1

- **NF EN 1991-3** : Eurocode 1 - Actions sur les structures – Charges de neige – Avril 2004 (Mai 2007 pour AN)
  Partie 1-3 : Actions générales – Charges de neige
  Annexe Nationale : Annexe Nationale à la NF EN 1991-1-3

- **NF EN 1991-4** : Eurocode 1 - Actions sur les structures – Actions du vent – Novembre 2005 (Mars 2008 pour AN)
  Partie 1-3 : Actions générales – Actions sur les structures
  Annexe Nationale : Annexe Nationale à la NF EN 1991-1-4

- **NF EN 1995-1** : Eurocode 5 – Conception et calcul des structures en bois – Novembre 2005 + amendement A1 d'octobre 2008 (Avril 2007 pour AN)
  Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments
  Annexe Nationale : Annexe Nationale à la NF EN 1995-1-1

- **DTU 31.1 (NF P21-203-1)** : Charpente et escaliers en bois – Mai 1993 + amendement A1 de février 1998

Le code de calculs Eurocode est retenu pour la justification et les vérifications aux calculs. Outre les normes, il est fait appel aux règles de l'art et à la connaissance du matériau bois.

1.6 Relevés de cotes

Je me suis rendu sur site le jeudi 6 octobre 2022 pour procéder à une inspection visuelle d'une partie des garde-corps des différents bâtiments du quartier de l'Amara. Cette visite a permis également de réaliser un relevé de côtes des garde-corps (hauteur, entraxe poteaux, section des bois, dimensions de la ferrure d'ancrage, type de vis mis en œuvre , …).
Un plan de localisation des différents appartements est donné en annexe (voir paragraphe 1.1). Leur numérotation est liée aux étages, le chiffre des centaines correspondant au niveau.

Ci-dessous en vert, le bâtiment avec les appartements et leur balcon visités. En rouge, les appartements inaccessibles.

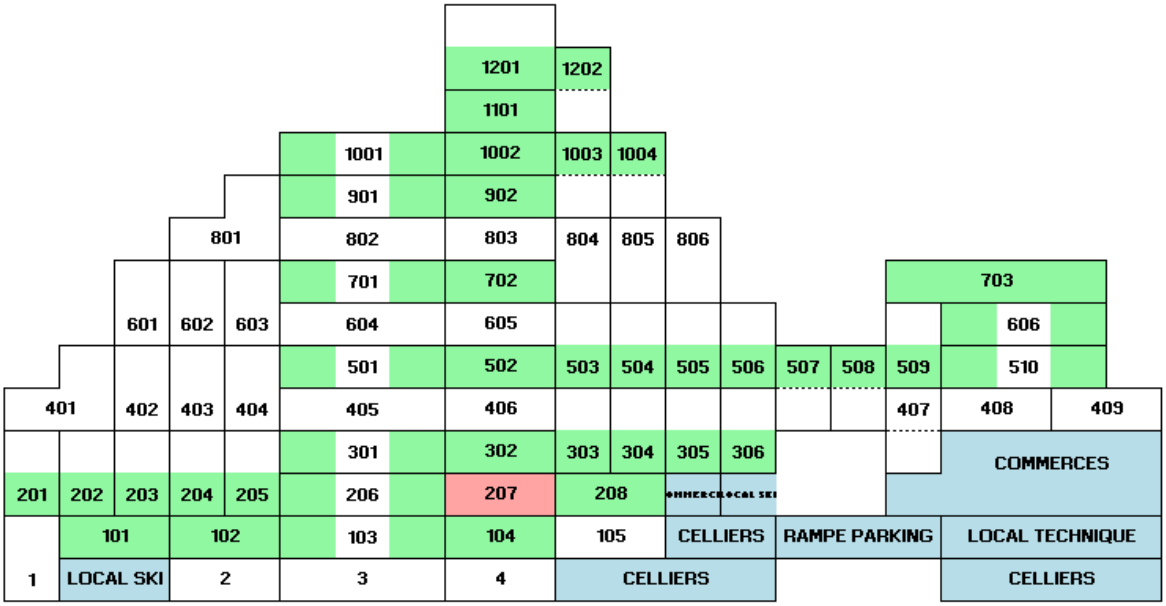


Figure 9 : balcons visités sur le bâtiment Amenda

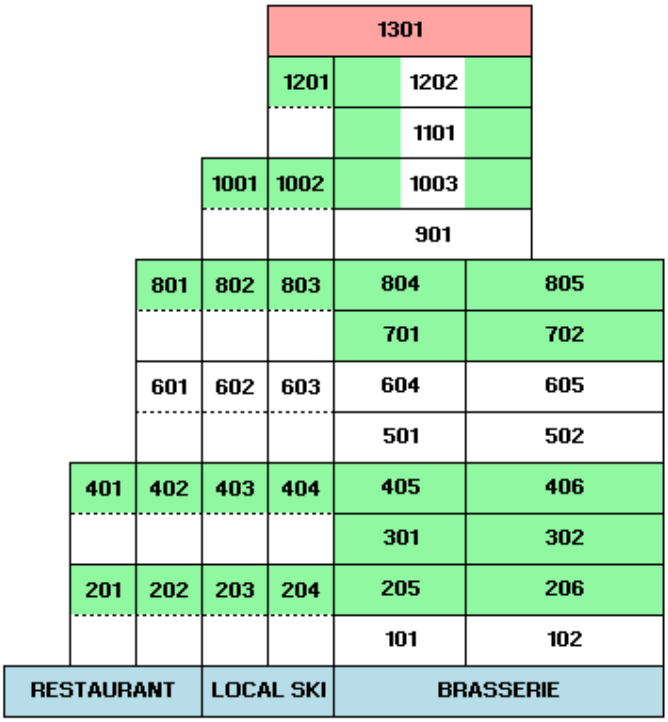


Figure 10 : balcons visités sur le bâtiment Chandra

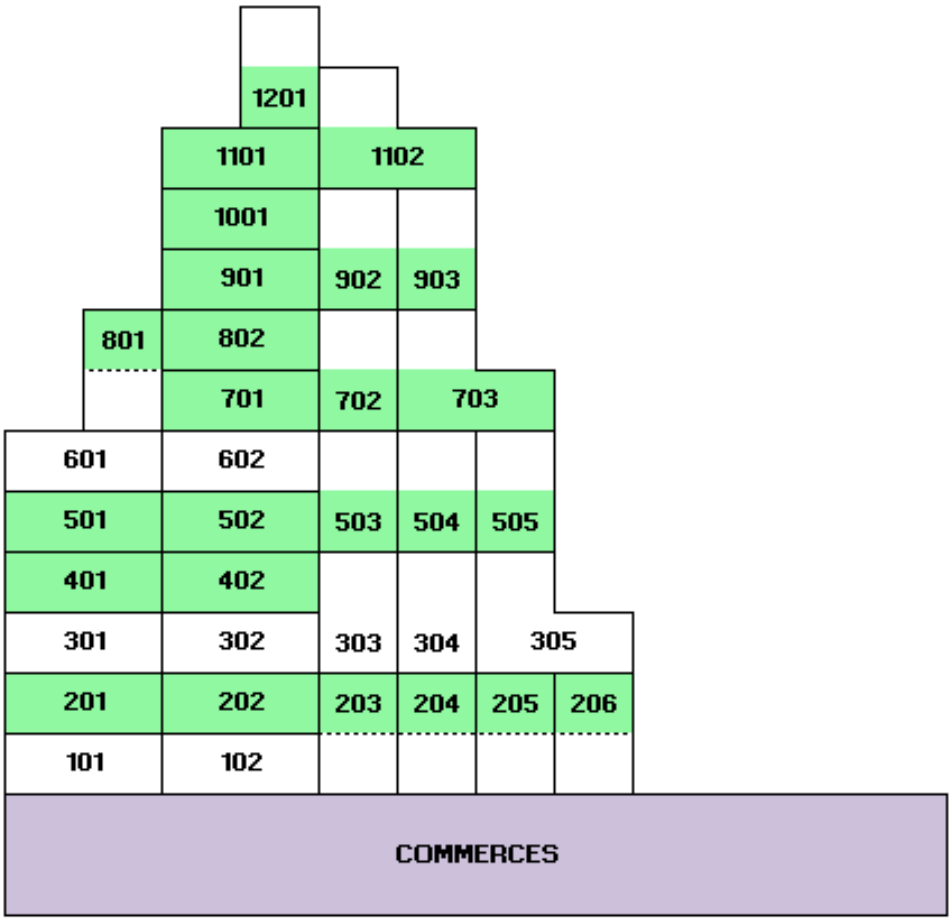


Figure 11 : balcons visités sur le bâtiment Dharma

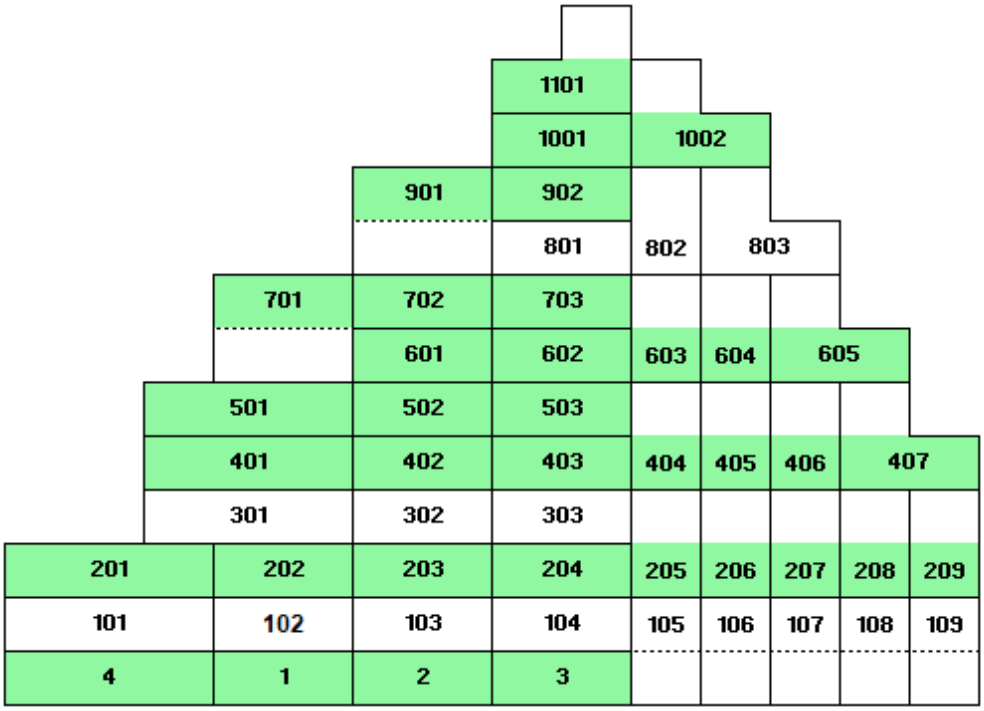


Figure 12 : balcons visités sur le bâtiment Prana

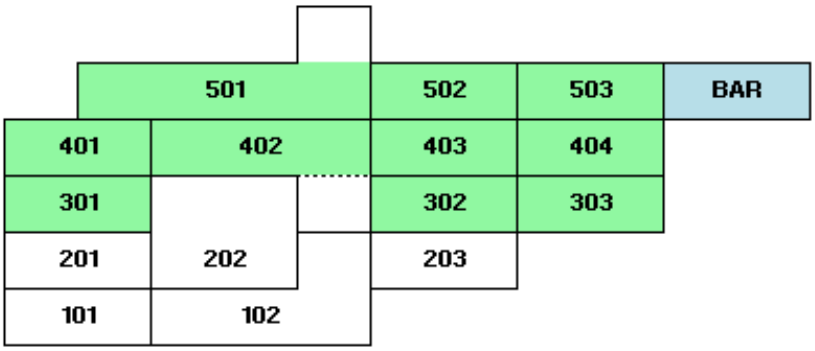


Figure 13 : balcons visités sur le bâtiment Prana

2. Principe constructif

2.1 Principe constructif

Pour les 5 bâtiments de logements (Amenda, Chandra, Dharma, Prana & Sveta), les garde-corps sont toujours conçus sur le même principe, à savoir :

- Une main courante en bois massif Mélèze avec goutte d'eau – section 160x60^{ht} mm – pente donnée par la coupe en tête des poteaux,
- Un poteau en contre-collé Mélèze – section 100x100 mm – entraxe variable suivant le linéaire de garde-corps rectiligne et le type de remplissage,
- Un remplissage horizontal, vertical ou incliné par « barreaux »,
- Une platine métallique – acier galvanisé – ep. 8 mm – vissée au travers du platelage
- Platelage jointif en bois contre-collé Mélèze – ep. 62 mm,
- Solivage bois lamellé-collé Mélèze – section poutre de rive 160x255^{ht} mm,
- Structure porteuse en bois lamellé-collé Mélèze (consoles ou poutres).

La hauteur de la main courante est située à 1 060-1 070 mm depuis le dessus du platelage.
Les poteaux sont feuillurés pour recevoir les remplissages : la dimension de la feuillure est de 52 mm de largeur pour 20-21 mm de profondeur.
L'assemblage main-courante/poteau se fait à plat joint avec une vis SCH implantée verticalement.
La platine métallique est vissée :

- Dans le poteau, par 4 vis SCH sur les 2 faces opposées (intérieure et extérieure),
- Dans la solive de rive, par 4 vis SCH au travers du platelage.

Le diamètre des vis et la géométrie de la platine sont donnés au paragraphe 2.3.

Note : la vis SCH est une vis jaune de la marque Holz Technic : il s'agit de la marque distributeur du fabricant Rothoblaas. Cette vis a un traitement électrozingué jaune. Le pendant de cet vis SCH chez Rothoblaas est la vis HBS. Cependant, elle est, à diamètre et longueur équivalente, de moins bonne résistance.

Du fait de la conception de la platine (vis de fixation à la solive de rive placées sous le poteau du garde-corps), les platines ont été implantées avant la pose des garde-corps. On constate sur site une tolérance d'implantation de l'ordre de ±10 mm.

Figure 14 : exemple de garde-corps sur l'Amenda / à gauche, appartement 206 & à droite, appartement 1003

Figure 15 : exemple de garde-corps sur le Chandra / à gauche, appartement 201 & à droite, appartement 1003

Figure 16 : exemple de garde-corps sur le Dharma / à gauche, appartement 204 & à droite, appartement 703

Figure 17 : exemple de garde-corps sur le Prana / à gauche, appartement 205 & à droite, appartement 1001

Figure 18 : exemple de garde-corps sur le Sveta / à gauche, appartement 402 & à droite, appartement 501

(a) : main courante - BM Mélèze - 160x60 mm
(b) : poteau de garde-corps - contre-collé Mélèze - 100x100 mm
> feuillure - larg. 52 mm - prof. 21 mm
(c) : remplissage horizontal, vertical ou incliné
(d) : platine de fixation - acier galvanisé - ep. 8 mm
(e) : platelage jointif contre-collé Mélèze - ep. 62 mm
(f) : solive de rive - BLC Mélèze - 160x255 mm
(g) : vis de fixation

Figure 19 : principe constructif des garde-corps sur structure bois

2.2 Cas particulier du bâtiment Surya

Le bâtiment Surya présente un linéaire de garde-corps exclusivement fixés sur ouvrage béton (voir Figure 7). La même platine de pied que l'on retrouve sur les bâtiment Dharma, Sveta et Prana est utilisée pour l'ancrage des poteaux de garde-corps. Seules les vis verticales ont été remplacées par des chevilles destinées à l'ancrage dans le béton.

Ces garde-corps permettent de protéger la « place » de l'Amara (niveau réception) et la terrasse du spa (niveau inférieur).

Figure 20 : exemple de garde-corps sur le Surya : à gauche, garde-corps au niveau de la place de l'Amara / à droite, détail de la platine chevillée

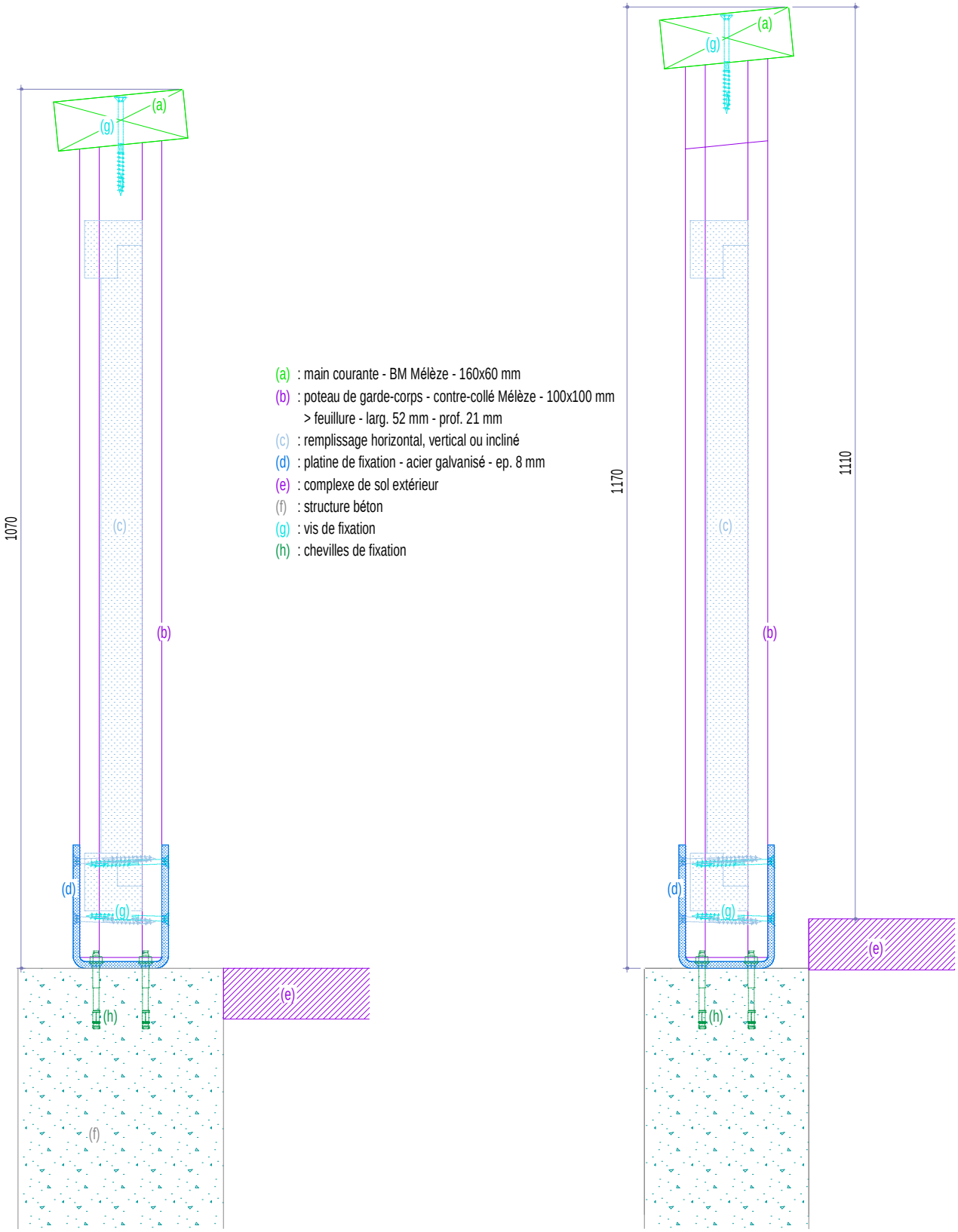


Figure 21 : principe constructif des garde-corps sur structure béton : à gauche, niveau de la place de l'Amara / à droite, étage inférieur

2.3 Garde-corps sur les différents bâtiments

Lors de ma visite sur site, j'ai constaté que le principe de ferrure pour ancrer les garde-corps restait le même sur les différents bâtiments. Cependant, deux types de ferrures ont été utilisés avec une variation sur la hauteur (108 mm dans un cas / 150 mm dans l'autre cas). Ainsi, on constate que les ferrures sur les bâtiments Dharma, Prana, Sveta et Surya ont une hauteur de 150 mm alors que pour les bâtiments Amenda et Chandra, la hauteur est de 108 mm.
La géométrie de la ferrure et les écartements des perçages sont donnés sur la Figure 22. La platine est en acier galvanisé avec une épaisseur de 8 mm. On notera toutefois que certaines platines sont seulement peintes (pas de traitement par galvanisation).
Les trous de perçage sont systématiquement fraisés pour noyer la tête des vis. La typologie de vis mises en œuvre varie avec :

- Vis « horizontales » (liaison platine-poteau) [1] :
  - 2x 4 vis SCH Ø8x100 pour le bâtiment Amenda,
  - 2x 4 vis Topix Ø8x100 pour le bâtiment Chandra,
  - 2x 4 vis SCH Ø8x80 pour les bâtiments Dharma, Prana, Sveta & Surya,
- Vis verticales (liaison au travers du platelage entre platine-solive de rive) [1] :
  - 4 vis SCH Ø10x120 sur les bâtiments Dharma, Prana & Sveta,
  - 4 vis SCH Ø8x100 sur le bâtiment Amenda,
  - 4 vis Topix Ø8x100 sur le bâtiment Chandra.

Le Tableau 1 récapitule les différentes données.

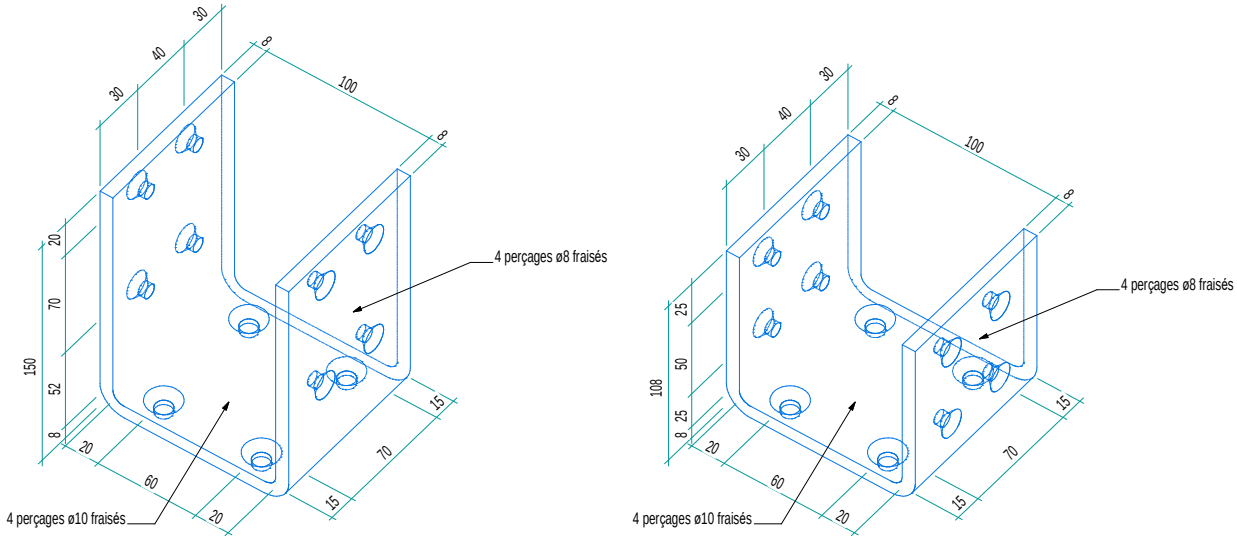


Figure 22 : géométrie de la platine métallique : à gauche, ferrure sur les bâtiments Dharma, Prana, Sveta & Surya / à droite, ferrure sur les bâtiments Amenda & Chandra

Bâtiment	Ht. ferrure	Vissage horizontal [1]	Vissage vertical [1]
Amenda	108 mm	SCH Ø8x100	SCH Ø8x100
Chandra	108 mm	Topix Ø8x100	Topix Ø8x100
Dharma	150 mm	SCH Ø8x80	SCH Ø10x120
Prana	150 mm	SCH Ø8x80	SCH Ø10x120
Sveta	150 mm	SCH Ø8x80	?
Surya	150 mm	SCH Ø8x80	Chevilles d'ancrage Ø8 avec rondelles Ø15,7 – ep. 1,62 mm

Tableau 1 : données récapitulatives ferrure-vis

[1] : il s'agit des vis majoritairement relevées sur les balcons expertisés. Ponctuellement, le type ou la longueur de vis peut varier (exemple avec l'appartement 1003 du Chandra).

Figure 23 : exemple de platine d'ancrage sur le bâtiment de l'Amenda

Figure 24 : exemple de platine d'ancrage sur le bâtiment du Chandra

Figure 25 : exemple de platine d'ancrage sur le bâtiment du Dharma / à droite, platine avec traitement par galvanisation ou par peinture (appartement 801)

Figure 26 : exemple de platine d'ancrage sur le bâtiment du Prana

Figure 27 : exemple de platine d'ancrage sur le bâtiment du Sveta / à droite, platine avec traitement par galvanisation ou par peinture (appartement 501)

Figure 28 : exemple de platine d'ancrage sur le bâtiment du Surya

2.3.1 Cas spécifique : appartement 1201 de l'Amenda

Le balcon de cet appartement a déjà été renforcé par l'ajout côté « intérieur », d'équerres mécano-soudées vissées dans le poteau et le platelage (au niveau du platelage, les vis ont une longueur de 60 mm pour ne pas être visible en sous-face).

En médaillon de la Figure 29, le ferrure existante est présente en pied de poteau de garde-corps et est recouverte par le ferrure de renfort.

Figure 29 : garde-corps de l'appartement 1201 de l'Amenda renforcé : à gauche, vue générale / à droite, détail sur la ferrure de renfort

2.3.2 Cas spécifique : appartement 1101 du Prana

Les garde-corps de cet appartement sont fixés sur une dalle béton au travers de l'étanchéité. La platine de pied reste identique aux autres ferrures mises en œuvre sur ce bâtiment.

Figure 30 : appt. n°1101 du Prana : à gauche, balcon sur dalle béton étanchée / à droite, détail d'ancrage du garde-corps

3. Vérification par le calcul

3.1 Hypothèses de calculs

3.1.1 Code de calculs

Pour la suite des vérifications, il sera fait usage des Eurocodes et notamment de l'Eurocode 5 pour le bois, code de calculs applicable au moment de la construction des différents bâtiments.

3.1.2 Charges applicables aux garde-corps

3.1.2.1 Charges permanentes (CP)

Pour le calcul de l'encastrement des garde-corps (pied de poteau), le poids des remplissages est négligé.

3.1.2.2 Charges d'exploitation (Q_A)

Bâtiment résidentiel / cat. A

Charge horizontale sur les garde-corps q_K = 60 daN/ml *(art. 6.4 de l'EC1-1-1)*

3.1.2.3 Charges climatiques de vent (W)

Avoriaz 1800 (dept. 74) ➔ zone 1
Z_h = 20,00 m
Cat. de terrain : II (vallée montagneuse orientant les vents)

} $q_{p(z)}$ = 83,3 daN/m²

3.1.2.4 Classe de service & k_{mod}

Les garde-corps, platelage, solivage de balcon sont des ouvrages non protégés, soumis aux intempéries. Les bois sont donc en **classe de service 3**.
Les valeurs du k_{mod} pour le bois massif, le bois contre-collé et le bois lamellé-collé sont donc les suivantes :

k_{mod} = 0,65 (action de moyen terme comme les charges d'exploitation)
k_{mod} = 0,90 (action instantanée comme le vent)

3.2 Charges à reprendre

Bâtiment	Appt.	H^t ferrure	H^t garde-corps	Entraxe poteaux	Effort de cisaillement F_z (daN) (1)	Moment d'encastrement M^t_y (daN.m) (2)
Amenda	206	108 mm	1,07 m	1,06 m	95,4 daN	102 daN.m
	306	108 mm	1,07 m	1,23 m	110,7 daN	118 daN.m
	507	108 mm	1,07 m	1,08 m	97,2 daN	104 daN.m
	606	108 mm	1,07 m	1,28 m	115,2 daN	123 daN.m
Chandra	206	108 mm	1,07 m	1,18 m	106,2 daN	113 daN.m
	1202	108 mm	1,07 m	0,83 m	74,7 daN	80 daN.m
Dharma	202	150 mm	1,07 m	1,15 m	103,5 daN	111 daN.m
	402	150 mm	1,07 m	1,15 m	103,5 daN	111 daN.m
Prana	401	150 mm	1,08 m	1,15 m	103,5 daN	112 daN.m
Sveta	301	150 mm	1,06 m	1,12 m	100,8 daN	107 daN.m
	401	150 mm	1,06 m	1,12 m	100,8 daN	107 daN.m
Surya	R-1	150 mm	1,17 m	1,18 m	106,2 daN	124 daN.m
	R-1	150 mm	1,17 m	1,28 m	115,2 daN	135 daN.m

(1) : Combinaison ELU-STR équivalente à 1,35G + 1,5Q / F_z = 1,5 x 60 x $entraxe_{poteau}$

(2) : Combinaison ELU-STR équivalente à 1,35G + 1,5Q / M^t_y = 1,5 x 60 x $entraxe_{poteau}$ x $h^t_{garde\text{-}corps}$

Tableau 2 : effort à reprendre par les garde-corps sur les différents bâtiments

3.3 Platine de pied

3.3.1 Liaison poteau-ferrure

Cette liaison, correspondant dans la pratique à un encastrement parfait entre le pied de poteau et la ferrure, peut, par sa conception, se calculer selon deux système statiques différents.

La première solution (à gauche sur Figure 31) est de considérer un contact bois-métal pour reprendre le moment en pied de poteau. En décomposant ce moment sur la hauteur de la ferrure, cela génère un effort horizontal positif ou négatif correspondant à une compression transversale localisée sur le bois (repère (1) sur Figure 31 de gauche). Le plat de la ferrure métallique est alors sollicité en flexion, sur une hauteur induite entre le point d'application de la charge horizontale (F_h sur Figure 31 de gauche) et le bas de la ferrure.

La seconde solution (à droite sur Figure 31) est de considérer le moment d'encastrement en pied comme la résultante d'une charge verticale (F_v sur Figure 31 de droite) sollicitant les vis de fixation en cisaillement.

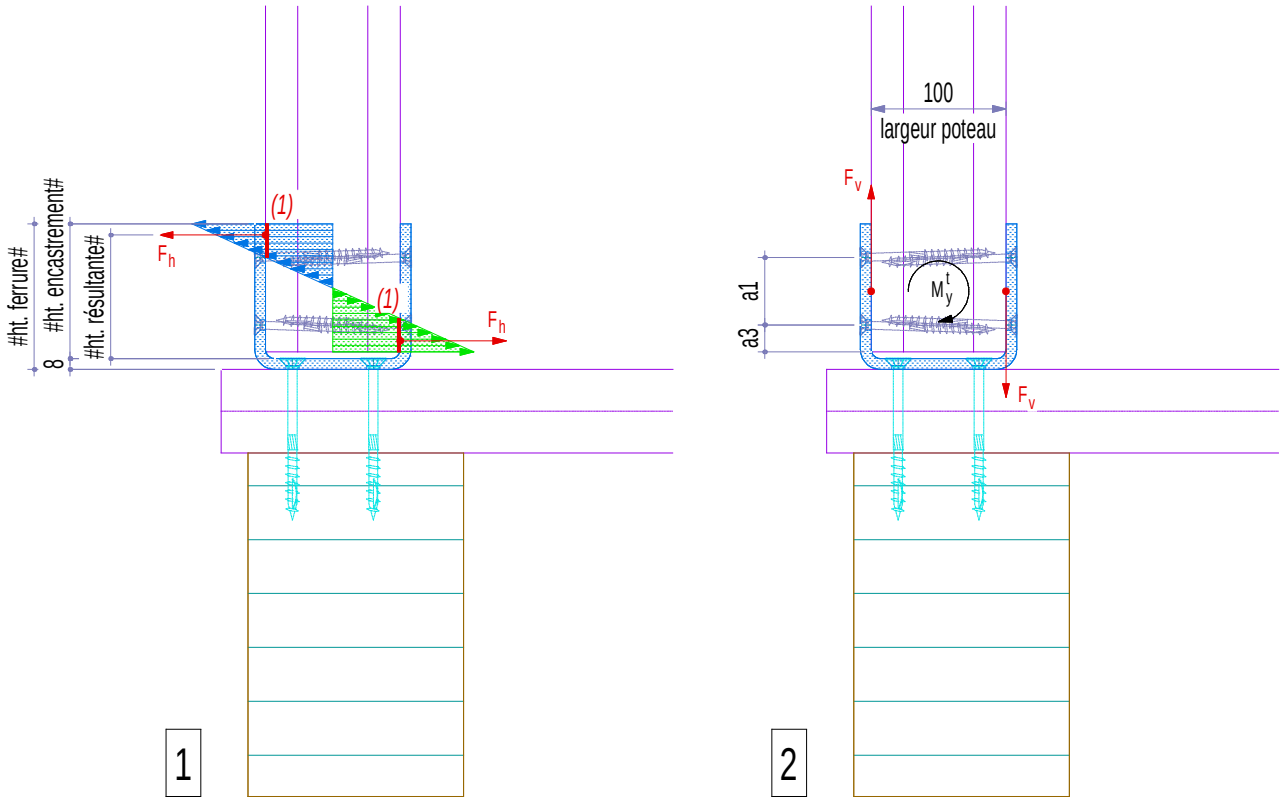


Figure 31 : schéma statique de l'encastrement en pied – liaison poteau/ferrure

3.3.1.1 Configuration 1

Sur les bâtiments Amenda et Chandra, la hauteur de la ferrure est de 108 mm (100 mm + 8 mm d'épaisseur de plat métallique).

Sur les bâtiments Dharma, Prana, Sveta & Surya, la hauteur de la ferrure est de 150 mm (142 mm + 8 mm d'épaisseur de plat métallique).

L'effort horizontal F_h est la résultante du moment d'encastrement M^t_y sur la hauteur d'encastrement, d'où

$$F_h = \frac{M_y^t}{h_{encastrement}^t}$$

La hauteur d'appui pour la surface de contact bois/métal est calculée en fonction de la compression transversale admissible du matériau bois. Il faut vérifier que :

$$\sigma_{c,90} = \frac{F_h}{larg.h_{appui}^t} \leq k_{c,90}.\frac{f_{c,90,k}.k_{mod}}{\gamma_m}$$

Il faut alors que :

$$h_{appui}^t \geq \frac{F_h}{larg.k_{c,90}.\frac{f_{c,90,k}.k_{mod}}{\gamma_m}}$$

avec : k_{mod} = 0,65 (voir paragraphe 3.1.2.4)
$f_{c,90,k}$ = 2,5 MPa (valeur pour le bois massif et le contre-collé de qualité C24)
γ_m = 1,3 (bois massif)
larg = 100 mm (largeur platine = largeur poteau de garde-corps)
$k_{c,90}$ = 1,5 (cas du bois massif avec charge concentrée sur appui discret)

La hauteur résultante va permettre de connaître le point d'application de la charge horizontale F_h et de vérifier la contrainte de flexion dans le plat métallique de la ferrure. Elle est déterminée comme suit :

$$h_{résultante}^t = h_{encastrement}^t - (h_{appui}^t.\frac{1}{3})$$

avec : coefficient de 1/3 correspondant au centre de gravité d'application de la charge pour une répartition triangulaire de la charge

Le Tableau 3 récapitule toutes ces données. Les valeurs du moment d'encastrement M^t_y sont issues du Tableau 2.

Bâtiment	Appt.	H^t ferrure	H^t encastrement	Moment d'encastrement M^t_y (daN.m)	Effort résultant F_h	H^t d'appui pour surface de contact (1)	Ht. résultante
Amenda	206	108 mm	100 mm	102 daN.m	1 020 daN	55 mm	82 mm
	306	108 mm	100 mm	118 daN.m	1 180 daN	63 mm	79 mm
	507	108 mm	100 mm	104 daN.m	1 040 daN	56 mm	81 mm
	606	108 mm	100 mm	123 daN.m	1 230 daN	66 mm	78 mm
Chandra	206	108 mm	100 mm	113 daN.m	1 130 daN	61 mm	80 mm
	1202	108 mm	100 mm	80 daN.m	800 daN	43 mm	86 mm
Dharma	202	150 mm	142 mm	111 daN.m	782 daN	42 mm	128 mm
	402	150 mm	142 mm	111 daN.m	782 daN	42 mm	128 mm
Prana	401	150 mm	142 mm	112 daN.m	789 daN	42 mm	128 mm
Sveta	301	150 mm	142 mm	107 daN.m	754 daN	41 mm	128 mm
	401	150 mm	142 mm	107 daN.m	754 daN	41 mm	128 mm
Surya	R-1	150 mm	142 mm	124 daN.m	873 daN	47 mm	126 mm
	R-1	150 mm	142 mm	135 daN.m	950 daN	51 mm	125 mm

Tableau 3 : suivant les bâtiments, effort horizontal F_h, surface de contact pour le compression transversale et hauteur résultante

L'effort horizontale F_h généré par le moment d'encastrement sollicite le plat métallique de la ferrure de pied en flexion. Il convient de vérifier l'expression suivante :

$$\frac{M^t_{résultant}}{M^t_{Rd}} = \frac{h^t_{résultante}.F_h}{\frac{W_{el}.f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1 \; et \; W_{el} = 2x\frac{b.h^2}{6}$$

avec : $h^t_{résultante}$: valeur donnée dans le Tableau 3

F_h : force horizontale donnée dans le Tableau 3

M^t_{Rd} : moment résistant en flexion avec W_{el} = module de flexion élastique, le plat métallique étant considéré comme un élément de classe 3 (au sens de l'EC3)

b : largeur de la platine métallique, soit 100 mm

h : épaisseur de la platine métallique, soit 8 mm

f_y : limite élastique pour l'acier S235, soit 235 MPa

γ_{M0} : coefficient partiel de sécurité pour le métal, soit 1,00

$W_{el} = 2x\frac{b.h^2}{6}$: voir note ci-dessous

Note : pour la vérification, nous avons estimé que la présence des vis de fixation permet de considérer que les deux ailes de la ferrure métallique sont sollicitées. Cette hypothèse est donc favorable et permet de considérer une valeur double sur le module de flexion W_{el}.

Bâtiment	Appt.	Effort résultant F_h	Ht. résultante	$M^t_{résultant} = h^t_{résultant}.F_h$	$M^t_{Rd} = \frac{W_{el}.f_y}{\gamma_{M0}}$	Taux de travail
Amenda	206	1 020 daN	82 mm	836 400 N.mm	501333.33 N.mm	167 %
	306	1 180 daN	79 mm	932 200 N.mm	501333.33 N.mm	186 %
	507	1 040 daN	81 mm	842 400 N.mm	501333.33 N.mm	168 %
	606	1 230 daN	78 mm	959 400 N.mm	501333.33 N.mm	191 %
Chandra	206	1 130 daN	80 mm	904 000 N.mm	501333.33 N.mm	180 %
	1202	800 daN	86 mm	688 000 N.mm	501333.33 N.mm	137 %
Dharma	202	782 daN	128 mm	1 000 960 N.mm	501333.33 N.mm	200 %
	402	782 daN	128 mm	1 000 960 N.mm	501333.33 N.mm	200 %
Prana	401	789 daN	128 mm	1 009 920 N.mm	501333.33 N.mm	201 %
Sveta	301	754 daN	128 mm	965 120 N.mm	501333.33 N.mm	192 %
	401	754 daN	128 mm	965 120 N.mm	501333.33 N.mm	192 %
Surya	R-1	873 daN	126 mm	1 099 980 N.mm	501333.33 N.mm	219 %
	R-1	950 daN	125 mm	1 187 500 N.mm	501333.33 N.mm	237 %

Tableau 4 : taux de travail de la ferrure métallique

Constat : les taux de travail en flexion du métal sur le Tableau 4 montrent que la ferrure est nettement sous-dimensionnée et que la configuration 1 (à gauche sur Figure 31) ne permet pas de justifier l'encastrement entre la ferrure et le poteau des garde-corps.
La majorité des valeurs est proche du taux théorique de rupture qui se situe autour de 230% ($\gamma_F.\gamma_M.\frac{f_y}{f_u} = 1{,}5x1{,}00x\frac{235}{360}$), sans pour autant la dépasser (exception faite sur le bâtiment Surya qui sera renforcé par des mesures conservatoires).

3.3.1.2 Configuration 2

Sur les bâtiments Amenda et Chandra, la hauteur de la ferrure est de 108 mm (100 mm + 8 mm d'épaisseur de plat métallique). Les valeurs des pinces dans le bois (voir aussi à droite sur Figure 22) sont de :

- Pour a_3 = 25 mm,
- Pour a_1 = 50 mm,
- Pour a_4 = 30 mm,
- Pour a_2 = 40 mm.

Sur les bâtiments Dharma, Prana, Sveta & Surya, la hauteur de la ferrure est de 150 mm (142 mm + 8 mm d'épaisseur de plat métallique). Les valeurs des pinces dans le bois (voir aussi à gauche sur Figure 22) sont de :

- Pour a_3 = 52mm,
- Pour a_1 = 70 mm,
- Pour a_4 = 30 mm,
- Pour a_2 = 40 mm.

L'effort vertical de cisaillement F_v est le rapport du moment d'encastrement M^t_y sur la largeur du poteau, d'où :

$$F_v = \frac{M_y^t}{larg_{poteau}}$$

Il convient alors de vérifier que l'effort de cisaillement F_v dans les tiges (ici, les vis) reste inférieur à la résistance de calcul de la vis, notée $R_{v,d}$, soit :

$$F_v = \frac{M_y^t}{larg_{poteau}} \leq R_{v,d} = \frac{R_{v,k}.k_{mod}}{\gamma_m}$$

avec : $R_{v,k}$: valeur caractéristique en cisaillement de la vis mise en œuvre,
k_{mod} = 0,65 (voir paragraphe 3.1.2.4)
γ_m = 1,3 (assemblage)

Les vis mises en œuvre sont des vis SCH, marque distributeur Holz Technic de chez Rothoblaas. Il n'existe, pour ces vis électrozinguées de couleur jaune, aucune valeur de résistance en cisaillement bois-métal. Les seules valeurs statiques données sont celles pour des liaisons bois-bois (voir Figure 32).

VALEURS STATIQUES

géométrie				CISAILLEMENT bois-bois	TRACTION extraction du filet(1)	TRACTION pénétration tête(2)	TRACTION pénétration tête avec rondelle(2)
d_1 [mm]	L [mm]	b [mm]	A [mm]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{ax,k}$ [kN]	$R_{head,k}$ [kN]	$R_{head,k}$ [kN]
8	100	60	40	2,75	6,22	2,95	8,77
	120	80	40	2,75	8,29	2,95	8,77
	140	80	60	3,16	8,29	2,95	8,77
	160	90	70	3,16	9,32	2,95	8,77
	180	90	90	3,16	9,32	2,95	8,77
	200	100	100	3,16	10,36	2,95	8,77
	220	100	120	3,16	10,36	2,95	8,77
	240	100	140	3,16	10,36	2,95	8,77

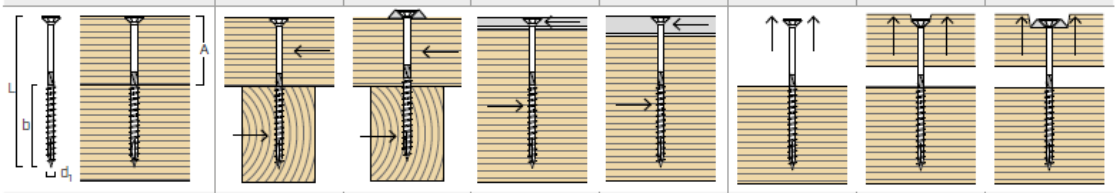
Figure 32 : abaque des valeurs statiques pour les vis SCH

Afin d'avoir des valeurs de résistances, l'abaque de la vis HBS de chez Rothoblaas est utilisée pour la suite des vérifications.

<u>Note :</u> la vis SCH d'Holz Technic (marque pour la grande distribution) est le pendant de la vis HBS chez Rothoblaas (marque professionnelle). Néanmoins, la vis SCH est de moins bonne facture que la vis HBS et ses valeurs de résistance sont donc inférieures. **L'hypothèse retenue pour les vérifications est donc optimiste et favorable.** <u>Elle n'est pas sécuritaire pour l'assemblage.</u>

VALEURS STATIQUES

VALEURS CARACTÉRISTIQUES
EN 1995:2014



				CISAILLEMENT				TRACTION		
géométrie				bois-bois	bois-bois avec rondelle	acier-bois plaque mince(2)	acier-bois plaque épaisse(3)	extraction du filet(4)	pénétration tête (5)	pénétration tête avec rondelle (5)
d_1 [mm]	L [mm]	b [mm]	A [mm]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{ax,k}$ [kN]	$R_{head,k}$ [kN]	$R_{head,k}$ [kN]
6	80	40	40	2,08	2,43	2,43	3,12	3,03	1,63	4,53
	90	50	40	2,08	2,61	2,61	3,31	3,79	1,63	4,53
	100	50	50	2,08	2,61	2,61	3,31	3,79	1,63	4,53
	110	60	50	2,08	2,80	2,80	3,49	4,55	1,63	4,53
	120	60	60	2,08	2,80	2,80	3,49	4,55	1,63	4,53
	130	60	70	2,08	2,80	2,80	3,49	4,55	1,63	4,53
	140	75	65	2,08	2,80	3,09	3,78	5,68	1,63	4,53
	150	75	75	2,08	2,80	3,09	3,78	5,68	1,63	4,53
8	80	52	28	2,59	3,31	4,00	5,11	5,25	2,38	7,08
	100	52	48	3,28	4,00	4,00	5,11	5,25	2,38	7,08
	120	60	60	3,28	4,20	4,20	5,31	6,06	2,38	7,08
	140	60	80	3,28	4,20	4,20	5,31	6,06	2,38	7,08
	160	80	80	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	180	80	100	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	200	80	120	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	220	80	140	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	240	80	160	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	260	80	180	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	280	80	200	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08

Figure 33 : extrait de la documentation technique Rothoblaas pour les vis HBS

La résistance caractéristique en cisaillement $R_{v,k}$ pour une vis Ø8x80 ou Ø8x100 (voir Tableau 1) est de 511 daN (cas de la plaque épaisse sur la Figure 33). Une vérification complémentaire avec de la vis HBS Ø6 est également proposée, la valeur $R_{v,k}$ est au mieux de 331 daN.
Les valeurs de calcul $R_{v,d}$ sont les suivantes :

- <u>Vis HBS Ø8x80 ou Ø8x100 :</u>

$$R_{v,d} = \frac{R_{v,k}.k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{511\ x\ 0{,}65}{1{,}3} = 255\ daN \text{ (pour une vis)}$$

- <u>Vis HBS Ø6x80 ou Ø6x100 :</u>

$$R_{v,d} = \frac{R_{v,k}.k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{331\ x\ 0{,}65}{1{,}3} = 165\ daN \text{ (pour une vis)}$$

L'implantation des vis doit également respecter des valeurs minimales de pinces et de distance au bord. Ainsi, l'encastrement du garde-corps sollicite les vis en cisaillement, avec des efforts uniquement dans le sens longitudinal du bois. Il convient donc de retenir les valeurs a_1, a_2, $a_{3,t}$ et $a_{4,c}$ de la Figure 34.

<u>Pour mémoire :</u> au début du paragraphe, il est rappelé les valeurs suivantes :
Amenda & Chandra : a_3 = 25 mm
Dharma, Prana, Sveta & Surya : a_3 = 52 mm
La valeur théorique $a_{3,t}$ pour de la vis HBS Ø6 ou Ø8 mm devrait être respectivement de 90 et 120 mm. **Les deux première vis placées en partie basse du poteau ne peuvent donc pas être prise en compte dans le calcul**, car elles sont vraiment trop proches du bord du bois.

Angle entre effort et fil du bois α = 0°

		VIS INSÉRÉES SANS PRÉ-PERÇAGE									
d_1	[mm]		3,5	4	4,5		5	6	8	10	12
a_1	[mm]	10·d	35	40	45	12·d	60	72	96	120	144
a_2	[mm]	5·d	18	20	23	5·d	25	30	40	50	60
$a_{3,t}$	[mm]	15·d	53	60	68	15·d	75	90	120	150	180
$a_{3,c}$	[mm]	10·d	35	40	45	10·d	50	60	80	100	120
$a_{4,t}$	[mm]	5·d	18	20	23	5·d	25	30	40	50	60
$a_{4,c}$	[mm]	5·d	18	20	23	5·d	25	30	40	50	60

d = diamètre nominal vis

Figure 34 : distances minimales pour les vis sollicitées au cisaillement (extrait documentation technique Rothoblaas)

				Vis SCH Ø8x80 ou Ø8x100				
Bâtiment	**Appt.**	**Moment d'encastrement M^t_y (daN.m)**	**Effort vertical F_v**	**Taux de travail $\frac{F_v}{R_{v,d}}$**	**Pince $a_{3,t}$ (mm)**	**Pince a_2 (mm)**	**Pince a_4 (mm)**	**Pince a_1 (*) (mm)**
Amenda	206	102 daN.m	1 020 daN	**200 %**	25+50 > 120	40 = 40	30 > 40	50 > 96
	306	118 daN.m	1 180 daN	**231 %**	25+50 > 120	40 = 40	30 > 40	50 > 96
	507	104 daN.m	1 040 daN	**204 %**	25+50 > 120	40 = 40	30 > 40	50 > 96
	606	123 daN.m	1 230 daN	**241 %**	25+50 > 120	40 = 40	30 > 40	50 > 96
Chandra	206	113 daN.m	1 130 daN	**222 %**	25+50 > 120	40 = 40	30 > 40	50 > 96
	1202	80 daN.m	800 daN	**157 %**	25+50 > 120	40 = 40	30 > 40	50 > 96
Dharma	202	111 daN.m	1 110 daN	**218 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96
	402	111 daN.m	1 110 daN	**218 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96
Prana	401	112 daN.m	1 120 daN	**220 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96
Sveta	301	107 daN.m	1 070 daN	**210 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96
	401	107 daN.m	1 070 daN	**210 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96
Surya	R-1	124 daN.m	1 240 daN	**243 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96
	R-1	135 daN.m	1 350 daN	**265 %**	52+70 > 120	40 = 40	30 > 40	70 > 96

(*) : donnée à titre indicatif dans la mesure où $a_{3,t}$ n'étant pas respectée, il a été considéré uniquement, aux calculs, les 2 vis situées en partie haute de la ferrure

Tableau 5 : taux de travail et pinces dans le cas de vis SCH Ø8x80 ou Ø8x100

Bâtiment	Appt.	Moment d'encastrement M^t_y (daN.m)	Effort vertical F_v	Vis SCH Ø6x80 ou Ø6x100				
				Taux de travail $\frac{F_v}{R_{v,d}}$	Pince $a_{3,t}$ (mm)	Pince a_2 (mm)	Pince a_4 (mm)	Pince a_1 (*) (mm)
Amenda	206	102 daN.m	1 020 daN	309 %	25+50 > 90	40 > 30	30 = 30	50 > 72
	306	118 daN.m	1 180 daN	357 %	25+50 > 90	40 > 30	30 = 30	50 > 72
	507	104 daN.m	1 040 daN	315 %	25+50 > 90	40 > 30	30 = 30	50 > 72
	606	123 daN.m	1 230 daN	373 %	25+50 > 90	40 > 30	30 = 30	50 > 72
Chandra	206	113 daN.m	1 130 daN	342 %	25+50 > 90	40 > 30	30 = 30	50 > 72
	1202	80 daN.m	800 daN	242 %	25+50 > 90	40 > 30	30 = 30	50 > 72
Dharma	202	111 daN.m	1 110 daN	336 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72
	402	111 daN.m	1 110 daN	336 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72
Prana	401	112 daN.m	1 120 daN	339 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72
Sveta	301	107 daN.m	1 070 daN	324 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72
	401	107 daN.m	1 070 daN	324 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72
Surya	R-1	124 daN.m	1 240 daN	376 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72
	R-1	135 daN.m	1 350 daN	409 %	52+70 > 90	40 > 30	30 = 30	70 > 72

(*) : donnée à titre indicatif dans la mesure où $a_{3,t}$ n'étant pas respectée, il a été considéré uniquement, aux calculs, les 2 vis situées en partie haute de la ferrure

Tableau 6 : taux de travail et pinces dans le cas de vis SCH Ø6x80 ou Ø6x100

Constat : les taux de travail des Tableau 5 & Tableau 6 montrent que les vis mises en œuvre sont nettement sous-dimensionnées et que la configuration 2 (à droite sur Figure 31) ne permet pas de justifier l'encastrement entre la ferrure et le poteau des garde-corps.

Le taux théorique de rupture se situe autour de 300% ($\frac{\gamma_F.\gamma_M}{k_{mod}} = \frac{1,5\ x\ 1,3}{0,65}$).

Pour des vis en diamètre 8, les taux de travail sont très élevés (200 à 265%) mais restent en-dessous du seuil théorique de rupture.

Dans le cas de vis en diamètre 6, les taux de travail (309 à 409%) sont au-delà du seuil théorique de rupture.

3.3.2 Liaison ferrure-solive

Cette liaison permet théoriquement de fixer les poteaux du garde-corps à la structure principale des balcons (dans notre cas, la solive de rive). Cette fixation s'effectue au travers du platelage contre-collé Mélèze, par l'intermédiaire de :

- 4 vis SCH Ø8x100 mm pour les bâtiments Amenda et Chandra,
- 4 vis SCH Ø10x120 mm pour les bâtiments Dharma, Prana, Sveta,
- 4 chevilles d'ancrage Ø8 pour le bâtiment Surya.

Le moment d'encastrement sollicite les vis en traction axiale (notée F_{ax} sur la Figure 35) avec une répartition des efforts suivant l'inertie polaire de l'assemblage. Ainsi, l'effort de traction axiale pour une vis est :

$$F_{ax,i} = \frac{M^t_y.a_i}{\sum_{i=0}^{n} a_i^2} \leq R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k}.k_{mod}}{\gamma_M}$$

avec : F_{ax} : effort de traction axiale dans la vis de position i

M^t_y : moment d'encastrement en pied,

a_i : distance entre la vis de position i et le point de rotation de la ferrure,

$R_{ax,k}$: valeur de traction caractéristique de la vis
k_{mod} = 0,65 (voir paragraphe 3.1.2.4)
γ_m = 1,3 (assemblage)

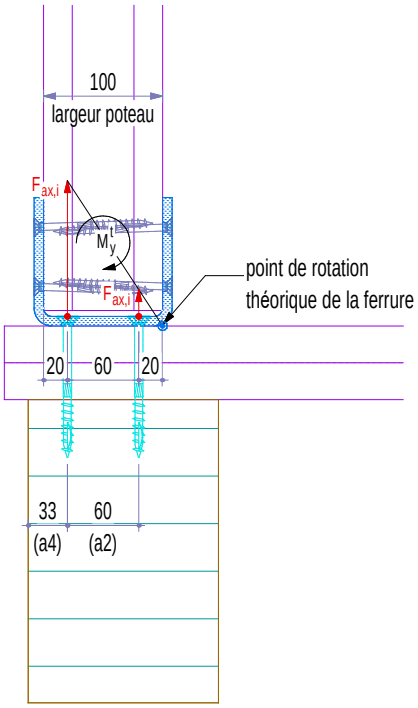


Figure 35 : principe d'encastrement et de sollicitation des vis pour la liaison platine-solive

<u>Inertie polaire de l'assemblage :</u>
Sur la base des écartements donnés sur la Figure 35, l'inertie polaire de l'assemblage est de :

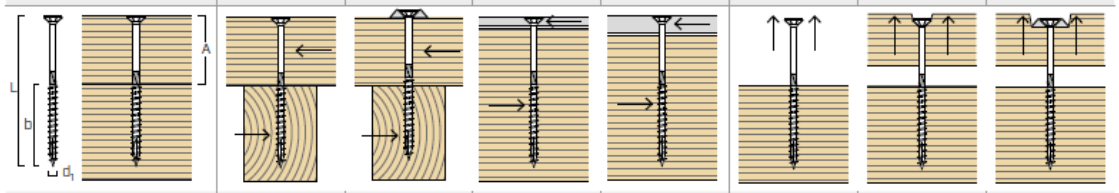
$$\sum_{i=0}^{n} a_i^2 = 2x20^2 + 2x80^2 = 13\,600\ mm^2$$

Afin d'avoir des valeurs de résistance en traction axiale, l'abaque de la vis HBS de chez Rothoblaas est utilisée pour la suite des vérifications.

<u>Note :</u> la vis SCH d'Holz Technic (marque pour la grande distribution) est le pendant de la vis HBS chez Rothoblaas (marque professionnelle). Néanmoins, la vis SCH est de moins bonne facture que la vis HBS et ses valeurs de résistance sont donc inférieures. **L'hypothèse retenue pour les vérifications est donc optimiste et favorable.** <u>Elle n'est pas sécuritaire pour l'assemblage.</u>

VALEURS STATIQUES

VALEURS CARACTÉRISTIQUES
EN 1995:2014



géométrie				CISAILLEMENT				TRACTION		
				bois-bois	bois-bois avec rondelle	acier-bois plaque mince(2)	acier-bois plaque épaisse(3)	extraction du filet(4)	pénétration tête (5)	pénétration tête avec rondelle (5)
d_1 [mm]	L [mm]	b [mm]	A [mm]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{V,k}$ [kN]	$R_{ax,k}$ [kN]	$R_{head,k}$ [kN]	$R_{head,k}$ [kN]
8	80	52	28	2,59	3,31	4,00	5,11	5,25	2,38	7,08
	100	52	48	3,28	4,00	4,00	5,11	5,25	2,38	7,08
	120	60	60	3,28	4,20	4,20	5,31	6,06	2,38	7,08
	140	60	80	3,28	4,20	4,20	5,31	6,06	2,38	7,08
	160	80	80	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	180	80	100	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	200	80	120	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	220	80	140	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	240	80	160	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	260	80	180	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
	280	80	200	3,28	4,45	4,70	5,81	8,08	2,38	7,08
10	80	52	28	3,63	4,33	4,75	6,94	6,57	3,77	10,20
	100	52	48	4,22	4,92	5,51	7,12	6,57	3,77	10,20
	120	60	60	4,81	5,76	5,76	7,37	7,58	3,77	10,20
	140	60	80	4,81	5,76	5,76	7,37	7,58	3,77	10,20
	160	80	80	4,81	6,40	6,40	8,00	10,10	3,77	10,20
	180	80	100	4,81	6,40	6,40	8,00	10,10	3,77	10,20
	200	80	120	4,81	6,40	6,40	8,00	10,10	3,77	10,20
	220	80	140	4,81	6,40	6,40	8,00	10,10	3,77	10,20
	240	80	160	4,81	6,40	6,40	8,00	10,10	3,77	10,20

Figure 36 : extrait de la documentation technique Rothoblaas pour les vis HBS

La résistance caractéristique en traction axiale $R_{ax,k}$ pour une vis Ø8x100 ou une vis Ø10x120 (voir Tableau 1) est respectivement de 525 et 758 daN.

Les valeurs de calcul $R_{ax,d}$ sont les suivantes :

- <u>Bâtiments Amenda & Chandra / Vis HBS Ø8x100 :</u>

$$R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k}.k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{525\ x\ 0{,}65}{1{,}3} = 263\ daN \text{ (pour une vis)}$$

- <u>Bâtiments Dharma, Prana & Sveta / Vis HBSØ10x120 :</u>

$$R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k}.k_{mod}}{\gamma_m} = \frac{758\ x\ 0{,}65}{1{,}3} = 379\ daN \text{ (pour une vis)}$$

Bâtiment	Appt.	Moment d'encastrement M^t_y (daN.m)	Traction axiale F_{ax} (a_i = 80 mm)	Résistance de calculs $R_{ax,d}$	Type de vis	Taux de travail $\frac{F_{ax}}{R_{ax,d}}$
Amenda	206	102 daN.m	600 daN	263 daN	Ø8x100	228 %
	306	118 daN.m	694 daN	263 daN	Ø8x100	264 %
	507	104 daN.m	612 daN	263 daN	Ø8x100	233 %
	606	123 daN.m	724 daN	263 daN	Ø8x100	275 %
Chandra	206	113 daN.m	665 daN	263 daN	Ø8x100	253 %
	1202	80 daN.m	471 daN	263 daN	Ø8x100	179 %
Dharma	202	111 daN.m	653 daN	379 daN	Ø10x120	172 %
	402	111 daN.m	653 daN	379 daN	Ø10x120	172 %
Prana	401	112 daN.m	659 daN	379 daN	Ø10x120	174 %
Sveta	301	107 daN.m	629 daN	379 daN	Ø10x120	166 %
	401	107 daN.m	629 daN	379 daN	Ø10x120	166 %

Tableau 7 : efforts en traction axiale et taux de travail

Constat (1) : les taux de travail du Tableau 7 montrent que les vis mises en œuvre sont nettement sous-dimensionnées et qu'elles ne permettent pas de reprendre la traction induite par le moment d'encastrement.
Le taux théorique de rupture se situe autour de 300% ($\frac{\gamma_F \cdot \gamma_M}{k_{mod}} = \frac{1{,}5\ x\ 1{,}3}{0{,}65}$).
Les taux de travail des vis sont très élevés (166 à 275%) mais restent en-dessous du seuil théorique de rupture.

Constat (2) : le principe constructif de l'encastrement en pied de garde-corps est aussi remis en cause par la conception retenue : voir paragraphe 4.3 à ce sujet.

3.3.2.1 Cas des garde-corps du Surya

Ceux-ci sont fixées sur des ouvrages en béton avec des chevilles d'ancrage de diamètre Ø8 mm. Le type et la référence d'ancrage n'étant pas connus avec exactitude (référence Hilti, Spit, Würth, … et chevilles à expansion ou chimique), l'ancrage de ces garde-corps ne peut pas être vérifié.

Bâtiment	Appt.	Moment d'encastrement M^t_y (daN.m)	Type de chevilles	Taux de travail
Surya	R-1	124 daN.m	???	???
	R-1	135 daN.m	???	???

Tableau 8 : taux de travail des chevilles d'ancrage dans le béton pour les garde-corps du Surya

3.4 Raideur d'assemblage – déplacement en tête de poteau

La raideur de la platine métallique ne permet pas de considérer un encastrement théorique parfait en pied de poteau dans un modèle de calcul (comprendre un encastrement sans jeu qui est très raide et qui, par conséquent, entraine des calculs de déplacement en tête du poteau bien moindre qu'en intégrant une raideur d'encastrement. Cette raideur d'encastrement se traduit, au final, par un poteau plus souple).
En intégrant cette raideur, il ressort que le déplacement en tête du poteau $\Delta_{tête}$ ne respecte pas les déplacements réglementaires limités à 7,1 mm.

$$\Delta_{tête} = \mathbf{20\ à\ 35\ mm} \gg \frac{L}{150} = 7{,}1mm$$

3.5 Pré-conclusion sur la vérification par le calcul

Les différentes vérifications montrent des taux de travail bien au-delà des valeurs limites avec des sous-dimensionnements systématiques que ce soient :

- au niveau des organes de fixation (liaison poteau-ferrure / liaison ferrure-solive),
- de l'épaisseur du plat métallique utilisée pour la platine.

L'implantation des vis ne respectent pas les distances minimales imposées par le fabricant. D'une manière générale, elles sont positionnées trop proches du bord du bois et l'entraxe entre les vis est insuffisant.
La raideur de la ferrure de pied est trop souple : le déplacement en tête des poteaux de garde-corps est au-delà des valeurs limites autorisées.

L'absence de validation par le calcul de l'ancrage des garde-corps remet en cause la sécurité des biens et des personnes. Les taux de travail sont trop élevés pour que les ouvrages, en l'état, puissent continuer à remplir leur rôle de protection.

Des mesures conservatoires doivent être prise dans l'attente de travaux de consolidation (voir paragraphe 6. Mesures conservatoires).

4. Conception

4.1 Vis mises en œuvre

D'une manière générale, les vis mises en œuvre sont des vis SCH de la marque Holz Technic : elles sont électrozinguées de couleur jaune. Compte-tenu de la destination des ouvrages (classe de service 3) et de l'essence de bois mis en œuvre (Mélèze), le traitement n'est pas adapté. On constate que les vis sont régulièrement corrodées et qu'un certain nombre sont cassées (voir également paragraphe 5.3).

Figure 37 : à gauche, vis enfoncée dans le poteau rouillée / au centre, tête des vis « d'ancrage » rouillée / à droite, vis de fixation de la main courante rouillées

4.2 Implantation des vis

Si les vis doivent être implantées à une certaine distance du bord du bois (voir également paragraphe 3.3), la présence de la feuillure fait ressortir régulièrement les vis. Les fixations ne « mordent » que sur une partie du bois. Parfois, elles font éclater le bois car la distance en extrémité est vraiment trop faible.

Figure 38 : exemple de vis mal implantées / trop proches du bord du bois

Figure 39 : exemple de vis mal implantées / éclatement du bois

4.3 Réalisation de l'encastrement

La stabilité des garde-corps est dictée par **l'encastrement des poteaux** sur la structure principale des balcons. Cet encastrement est obtenu grâce au blocage-serrage de la ferrure métallique :

- Blocage lié aux 4 vis verticales reprenant les efforts de cisaillement et de traction induite par le moment,
- Serrage par le contact bois-métal entre la platine métallique et la structure bois.

C'est ce dernier point qui est problématique car le serrage ne se fait pas directement sur les solives de balcon (structure principale) mais sur un platelage de forte épaisseur (contre-collé Mélèze de 62 mm).

Hors, le bois est un matériau hygroscopique qui va interagir avec l'humidité relative de l'air ambiant. L'humidité d'équilibre du bois va donc varier au cours de l'année (été plus sec / hiver plus humide), se traduisant par des cycles d'absorption-désorption (retrait-gonflement du bois).

La valeur moyenne du coefficient de rétractibilité (référencée β_{90} dans les nouvelles normes) pour le Mélèze est équivalente à celle du Sapin ou de l'Epicéa : elle est de 0,25% pour 1% de variation du taux d'humidité du bois.

Le platelage mis en œuvre va donc se stabiliser à une humidité de :

- 20 à 22% en hiver,
- 9 à 10 % en été.

On constate donc une variation du degré d'humidité Δ_H de l'ordre de 10%, ce qui se traduit, pour un platelage de 62 mm d'épaisseur, par une variation de son épaisseur notée Δ_{ht} de :

$$\Delta_{ht} = \beta_{90}.\Delta_H.ep = 0{,}0025\ x\ 10\ x\ 62 = \mathbf{1{,}55\ mm}$$

Il y a donc un jeu au niveau du serrage (jeu entre la platine métallique et le platelage), l'encastrement n'est plus parfait, se traduisant par un « grand » déplacement en tête des poteaux et de la main courante (voir Figure 40).

Avec un jeu en pied de 1,55 mm sur une largeur de rotation de 73mm, le déplacement en tête (noté $\Delta_{tête}$) du garde-corps de hauteur 1070 mm est de :

$$\Delta_{tête} = \frac{1{,}55}{73}.1070 = \mathbf{22{,}7\ mm}$$

Sous charge instantanée, le déplacement en tête d'un poteau en console est limité à L/150, ce qui, pour un garde-corps de hauteur 1070 mm, donne un déplacement maxi en tête de poteau à :

$$\frac{1070}{150} = 7{,}1\ mm$$

On a donc : $\boxed{\Delta_{tête} = \mathbf{22{,}7\ mm} \gg \frac{L}{150} = 7{,}1mm}$.

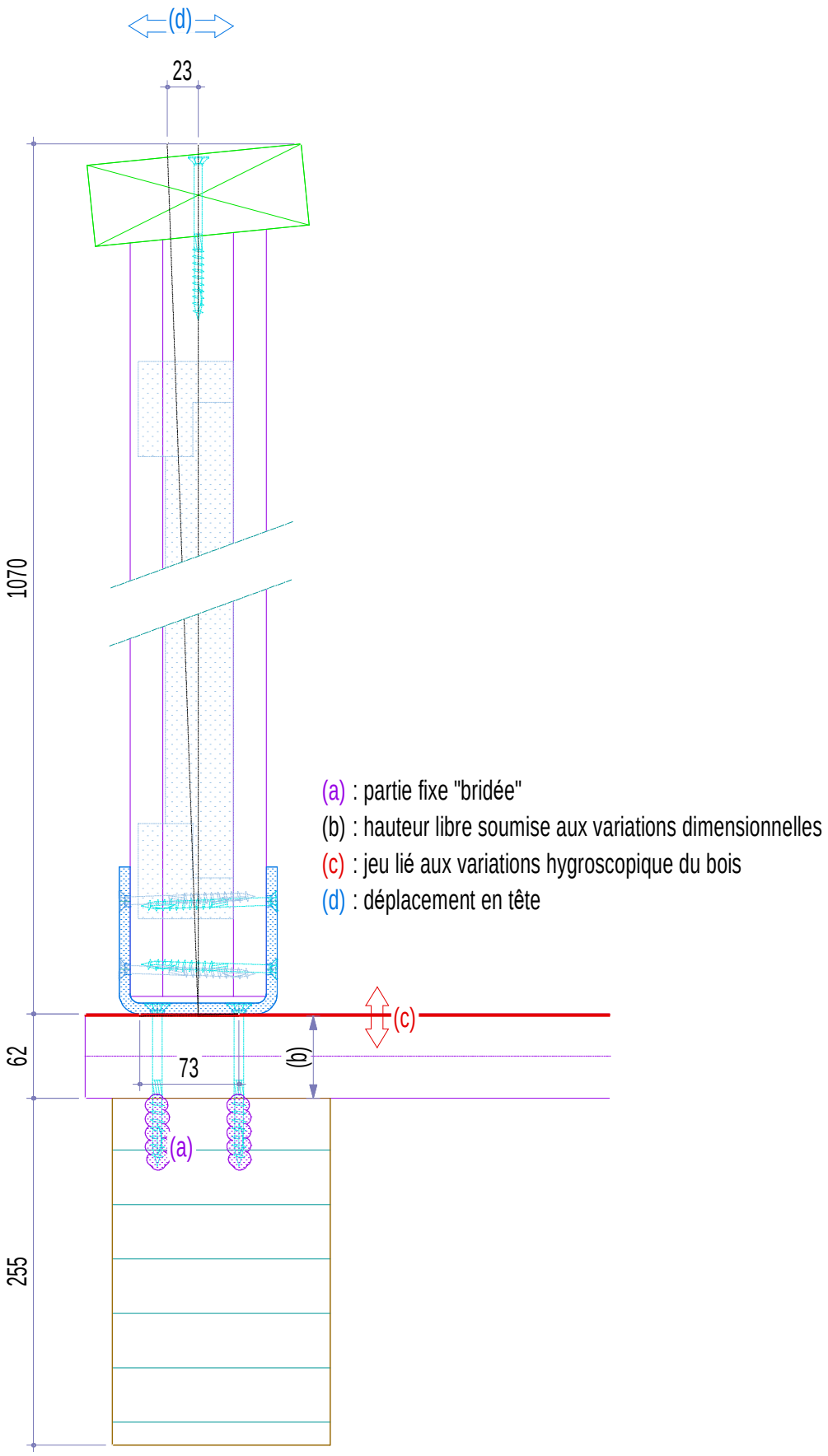


Figure 40 : déplacement en tête de garde-corps avec un jeu au niveau de la ferrure de pied

Il ressort donc que le jeu généré par le séchage du bois entraine un déplacement de la main courante et des têtes de poteau au-delà des valeurs limites (en plus de la raideur insuffisante de la platine elle-même / voir paragraphe 3.4). L'utilisation des balcons est rendue impropre à leur destination à cause de ces déplacements, générant, pour les usagers, un sentiment d'instabilité et d'insécurité (voir paragraphe 6. Mesures conservatoires).

Le jeu au niveau de la ferrure et donc les mouvements en tête des garde-corps étant corrélé à l'humidité d'équilibre du bois et au taux d'humidité relative de l'air, les constats peuvent être différents en fonction des saisons.

5. Devoir de conseils

5.1 Durabilité du platelage

Afin d'assurer la durabilité du platelage (et du bois en général), il est important que la face des bois soit ventilée. Ainsi, la pose de revêtement de sol telle qu'il a pu être relevé sur certains balcons (appt. n°208 de l'Amenda, appt. n°204 du Prana, appt. n°403 du Prana, appt. n°209 du Prana) est à proscrire pour assurer la pérennité des ouvrages.

Figure 41 : revêtement de sol sur les balcons : à gauche appt. n°208 de l'Amenda / à droite, appt. n°204 du Prana

5.2 Encadrements de menuiserie

Les habillages en tableau des menuiseries sont réalisés avec des panneaux 3 plis Mélèze. Ceux-ci souffrent de leur exposition aux intempéries et on note des décollements des joints de collage et des débuts de déstructuration des 3 plis.

Un entretien serait à prévoir pour éviter, à terme, des infiltrations d'eau au sein des complexes.

Figure 42 : décollement de joint sur le 3 plis Mélèze d'habillage sur appt. n°503 de l'Amenda

Figure 43 : dégradation du seuil de menuiserie en 3 plis Mélèze sur appt. n°402 du Sveta 503 de l'Amenda

5.3 Liaison des mains courantes

Les mains courantes sont des éléments structurels de sécurité puisqu'elles doivent permettre de reprendre un effort horizontal de 60 daN/ml (cas des ouvrages d'habitation) et garantir une hauteur minimale pour éviter tout risque de chute.

Ces pièces doivent donc être fixées correctement au reste du garde-corps (dans notre cas, les poteaux) pour garantir la sécurité des biens et des personnes. Il a été constaté sur des balcons des différents bâtiments des faiblesses à ce niveau avec :

- Une fixation insuffisante **en bois de bout** du poteau (voir note ci-dessous),
- Une utilisation de vis inadaptée à sa destination,
- Des ruptures de l'acier des vis.

La liste n'est pas exhaustive (les balcons n'ayant pas été tous visités) mais nous avons pu constater des désordres sur :

- Appt. n°702 de l'Amenda,
- Appt. n°204 du Dharma,
- Appt. n°201 du Dharma,
- Appt. n°202 du Dharma,
- Appt. n°205 du Prana,
- Appt. n°501 du Sveta,
- Appt. n°302 du Sveta,
- …

Note : selon l'article 8.7 de l'EC5-1, les vis doivent respecter les règles des boulons (d_{ef} > 6 mm) ou celles des pointes (d_{ef} ≤ 6 mm). Les règles des boulons ne couvrent pas une implantation en bois de bout (usage inapproprié) et il est rappelé à l'article 8.3.1.2 alinéa (3) qu' : « *Il convient de considérer que les pointes en bout de fil ne sont pas capables de transmettre un effort latéral.* »

Figure 44 : rupture des fixation sur une main courante / appt. n°702 de l'Amenda

Figure 45 : à gauche, appt. n°204 du Dharma / à droite, appt. n°201 du Dharma

Figure 46 : appt. n°205 du Prana

5.4 Etat des bois des balcons

Certains bois des balcons et notamment les mains courantes avec une partie « horizontale pentée » présentent des débuts de pourrissement. Malgré l'utilisation du Mélèze (essence adaptée en classe de service 3), la présence de fentes sur ces pièces en bois massif draine en profondeur les eaux de pluie ou de fonte. Le bois finit par se dégrader et pourrir.

La liste n'est pas exhaustive (les balcons n'ayant pas été tous visités) mais nous avons pu constater des dégradations sur :

- Appt. n°802 du Chandra,

- Appt. n°803 du Chandra,
- Appt. n°1202 du Chandra (remplissage affaissé),
- Appt. n°703 du Dharma,
- Appt. n°1102 du Dharma,
- Appt. n°503 du Prana,
- Appt. n°902 du Prana,
- …

Figure 47 : état de certaines mains courantes sur le bâtiment du Chandra

Figure 48 : état de certaines mains courantes sur le bâtiment du Dharma

Figure 49 : : état de certaines mains courantes sur le bâtiment du Prana

Il convient donc de remplacer ces éléments qui sont structurels et assurer la sécurité des biens et des personnes.

5.5 Seuils de menuiserie

Les seuils de menuiserie sont réalisés en 3 plis Mélèze sans habillage métallique spécifique. A défaut de pente suffisante, certains seuils se sont affaissés. Il n'y a plus d'étanchéité correcte au droit de la menuiserie : il y a donc un risque d'infiltration au sein des complexes de façade

notamment et éventuellement en interne sur le plancher (cas des dégradations sur le parquet de l'appartement n° 801 du Dharma par exemple).
Ces problèmes ont pu notamment être relevés sur :

- Appt. n°801 du Dharma,
- Appt. n°204 du Prana,
- Appt. n°209 du Prana,
- Appt. n°403 du Prana,
- Appt. n°1001 du Prana,
- …

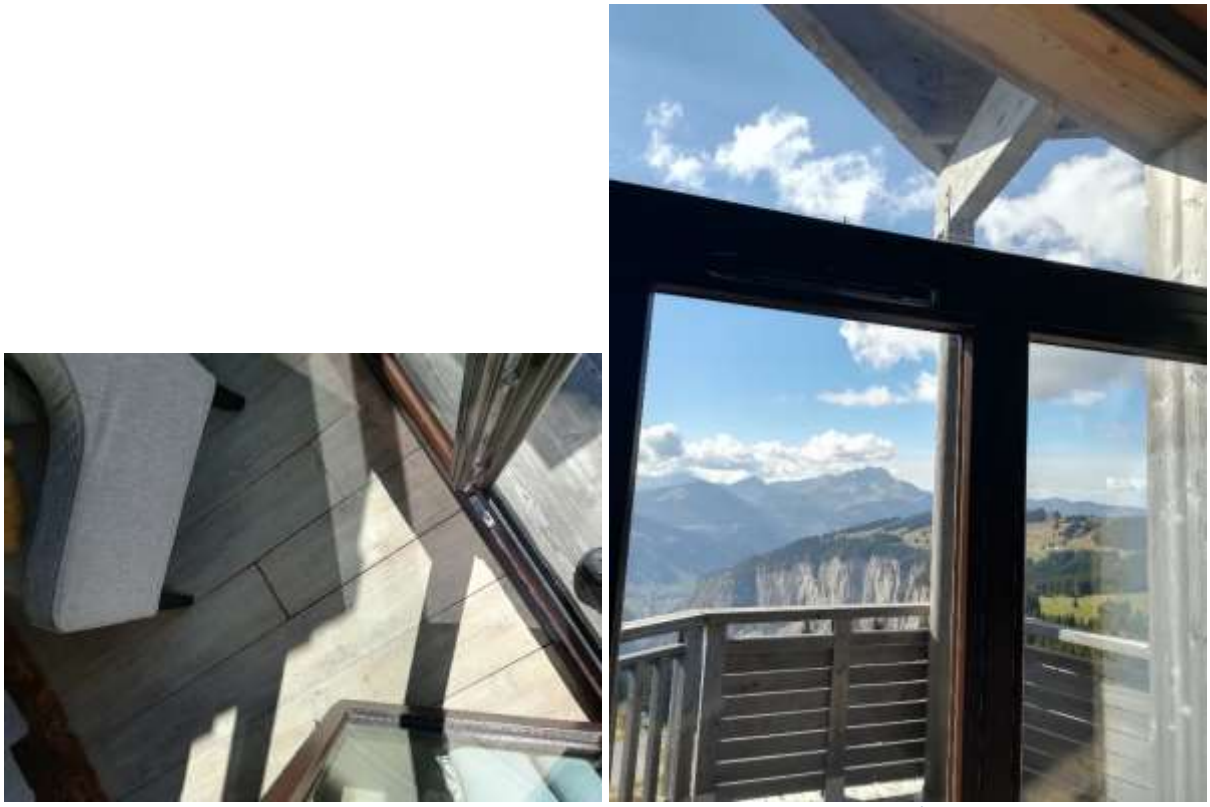


Figure 50 : dégradation dans l'appartement n°801 du Dharma : à gauche, état du parquet / à droite, façade grandement exposée aux intempéries

Figure 51 : problème d'étanchéité au droit du seuil / appt. n°204 du Prana

Figure 52 : état du seuil de menuiserie et étanchéité sur appt. n°1001 du Prana

5.6 Bardage en façade

La fixation de certains garde-corps (main courante et/ou poteau) sur leur retour en façade a généré des désordres en arrachement la bardage extérieur : il y a donc des trous dans le revêtement extérieur et l'étanchéité de la façade n'est ponctuellement plus assurée.
Ces désordres ont pu notamment être relevés sur :

- Appt. n°602 du Prana,
- Appt. n°902 du Prana,
- …

Figure 53 : trous dans le bardage de façade du Prana : à gauche , appt. n°602 / à droite, appt. n°902

Il conviendra de reprendre les façades dégradées pour assurer la continuité d'étanchéité de la façade et éviter ainsi toute venue d'eau au sein du complexe.

5.7 Appt. n°303 du Sveta

En façade, la jonction entre crépis et bardage n'est pas traitée correctement (couvertine métallique découpée et donc non continue) entrainant une humidification du crépis et son décollement du support (voir Figure 54).
Il serait donc nécessaire d'intervenir pour palier à ce problème.

Figure 54 : décollement du crépis à cause de venues d'eau récurrentes

6. Mesures conservatoires

Les mesures conservatoires sont à mettre en œuvre car, en l'état, la sécurité des biens et des personnes ne peut pas être garantie. Ces mesures sont valables tant qu'aucuns travaux de consolidation ou de réparation ne seront effectués.
Il est à rappeler que le garde-corps est un élément permettant d'empêcher la chute des usagers d'un balcon et qu'à ce sens, il joue un réel rôle de sécurité.

6.1 Balcons du bâtiment Amenda

L'accès et l'utilisation de l'ensemble des balcons de l'Amenda doivent être strictement interdits à tous les locataires, propriétaires, résidents, vacanciers, … ou toute autre personne extérieure.

6.2 Balcons du bâtiment Chandra

L'accès et l'utilisation de l'ensemble des balcons du Chandra doivent être strictement interdits à tous les locataires, propriétaires, résidents, vacanciers, … ou toute autre personne extérieure.

6.3 Balcons du bâtiment Dharma

L'accès et l'utilisation de l'ensemble des balcons du Dharma doivent être strictement interdits à tous les locataires, propriétaires, résidents, vacanciers, … ou toute autre personne extérieure.

6.4 Balcons du bâtiment Prana

L'accès et l'utilisation de l'ensemble des balcons du Prana doivent être strictement interdits à tous les locataires, propriétaires, résidents, vacanciers, … ou toute autre personne extérieure.

6.5 Balcons du bâtiment Sveta

L'accès et l'utilisation de l'ensemble des balcons du Sveta doivent être strictement interdits à tous les locataires, propriétaires, résidents, vacanciers, … ou toute autre personne extérieure.

6.6 Terrasses du bâtiment Surya

Dans l'attente de solutions réparatoires à venir prochainement, 'accès et l'utilisation de l'ensemble des terrasses (*) du Surya (bâtiment de réception et de bien-être) doivent être strictement interdits à tous les locataires, propriétaires, résidents, vacanciers, … ou toute autre personne extérieure.

(*) : on entend par terrasse les zones suivantes :

- terrasse du spa située à l'étage inférieur de la réception,
- place ou placette de l'Amara allant de la réception du Surya jusqu'au restaurant au niveau du Sveta.

7. Conclusions

La vérification par le calcul montre que les platines métalliques en pied de poteau des garde-corps ainsi que leur fixation (vis) ne sont pas aptes à reprendre les efforts horizontaux. Compte-tenu des taux de travail, **la sécurité des biens et des personnes ne peut pas être garantie**. La destination des ouvrages est remise en cause.

Des mesures conservatoires sur les balcons du bâtiment doivent être prises sans délai (voir paragraphe 6).

La conception de la platine n'est également pas adaptée car :

- sa raideur est trop faible,
- l'encastrement réalisé est sujet au séchage du bois.

Le jeu créé engendre des déplacements horizontaux (très) importants sur les poteaux et mains courantes rendant les ouvrages impropres à leur destination.
Les garde-corps sont instables et le sentiment d'insécurité qui en découle est justifié.
Les constatations d'instabilité sur les garde-corps pourront varier grandement en fonction des saisons (les jeux étant directement liés à l'humidité d'équilibre du platelage Mélèze).

Il ressort du présent diagnostic que l'ensemble des garde-corps des balcons de l'Amenda, Chandra, Dharma, Prana, Sveta doivent être renforcés. Ces renforcements permettront de répondre aux exigences des normes en vigueur et ainsi garantir la sécurité des biens et des personnes.

Il ressort du présent diagnostic que l'ensemble des garde-corps des terrasses du Surya doivent être renforcés. Ces renforcements permettront de répondre aux exigences des normes en vigueur et ainsi garantir la sécurité des biens et des personnes. Afin qu'elles puissent être mises en œuvre rapidement, des solutions réparatoires seront proposées dans le rapport dédié à ce bâtiment

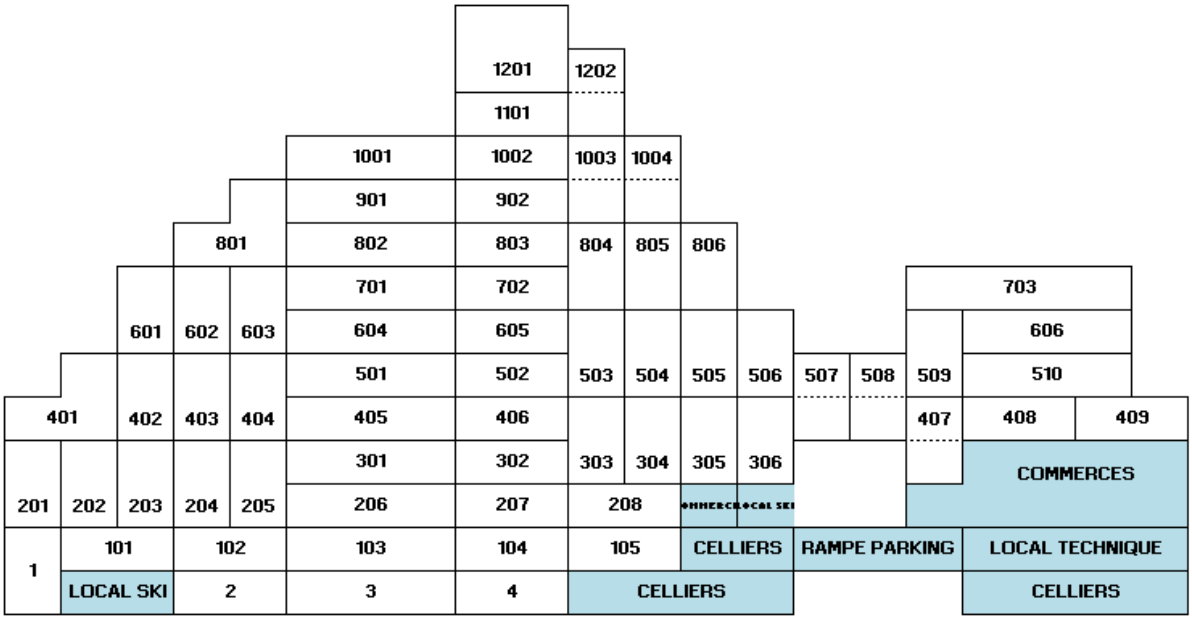
Fait à Epagny Metz-Tessy,
Le 18 octobre 2022

L'ingénieur, Chargé d'affaires
Jean GAY-LANCERMIN

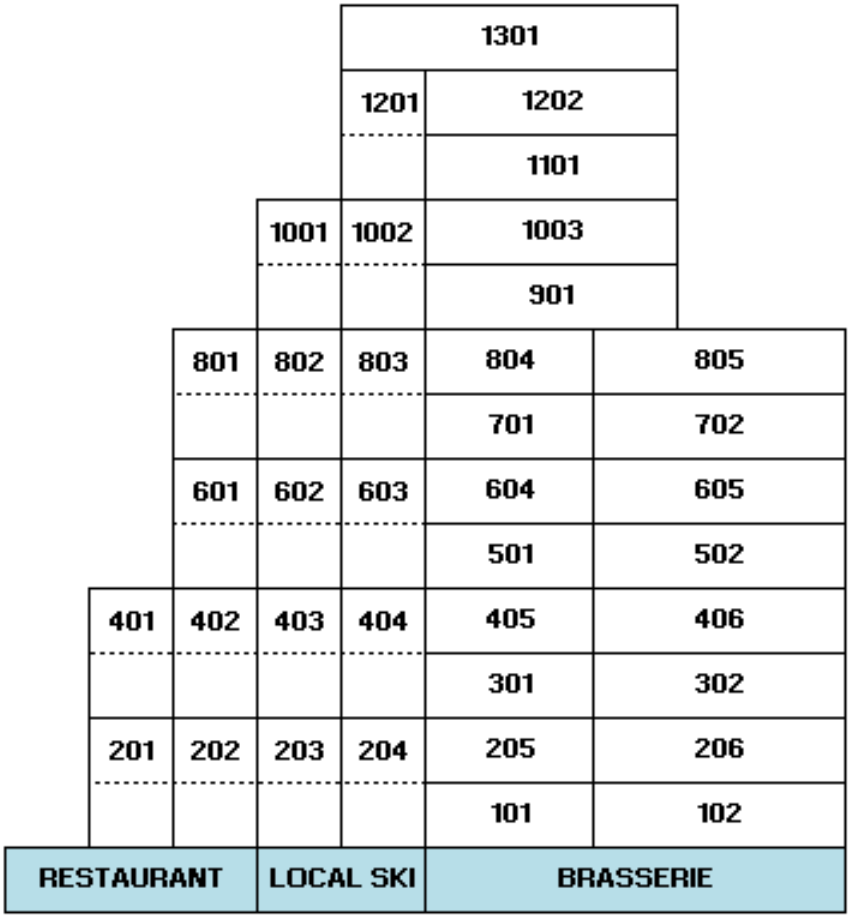
1. Annexes

1.1 Repérage des appartements

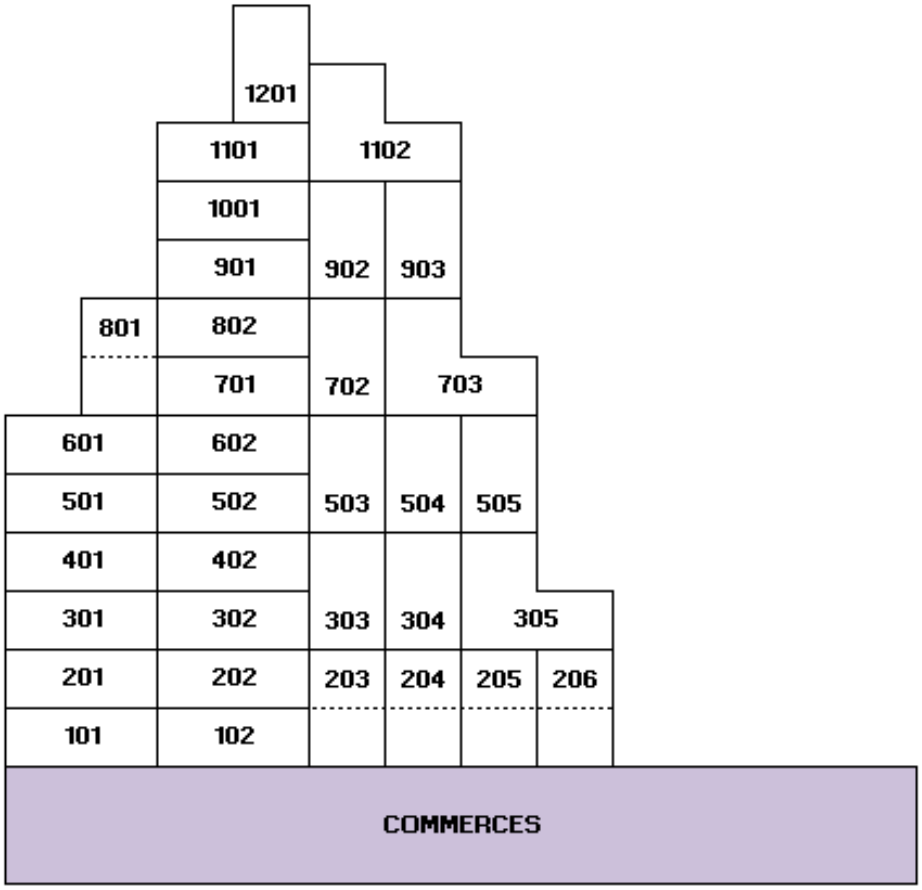
1.1.1 Bâtiment Amenda



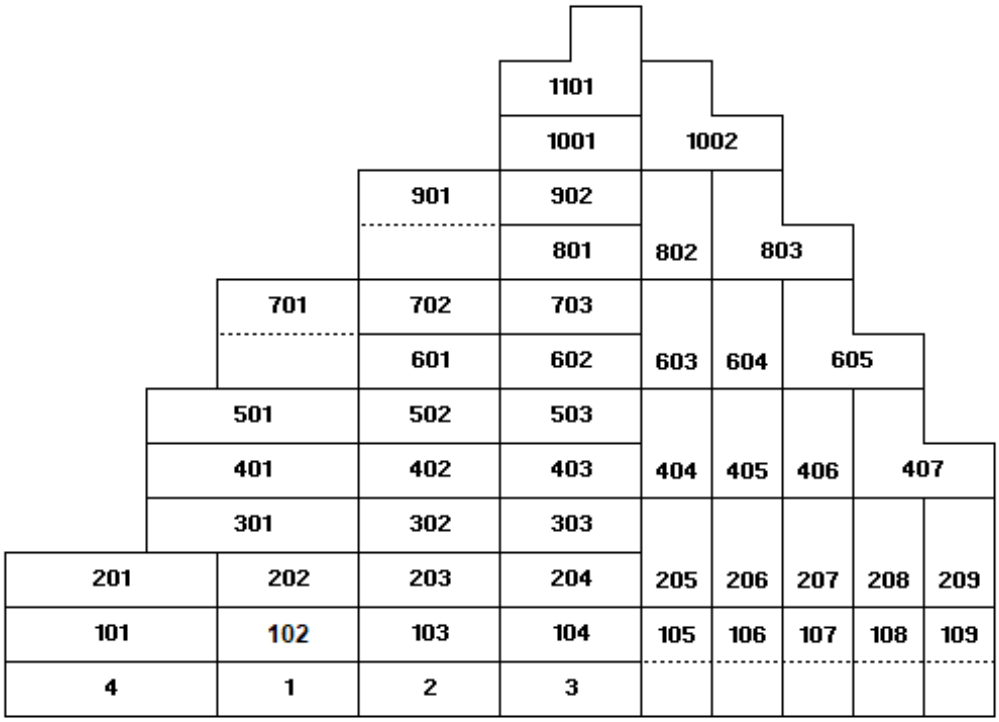
1.1.2 Bâtiment Chandra



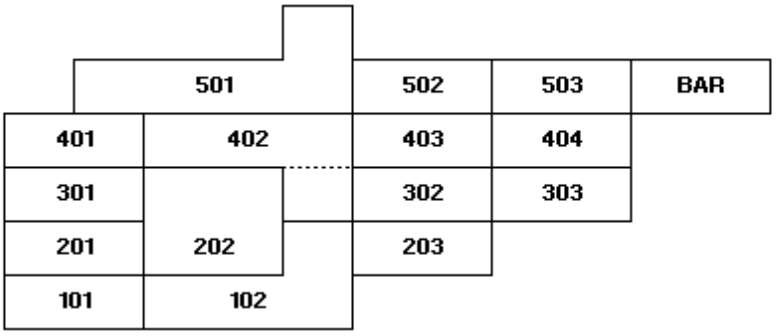
1.1.3 Bâtiment Dharma



1.1.4 Bâtiment Prana



1.1.5 Bâtiment Sveta



1.1.6 Bâtiment Surya

Uniquement bâtiment destiné à la réception et au bien-être (spa, …).