



Diagnostic structure du Port de Boulogne Legrand



**QUAI ALPHONSE LE GALLO
92100 BOULOGNE-BILLANCOURT**

Coordonnées de l'agence :

QCS SERVICES
1 bis rue du Petit Clamart – BAT D
78941 Vélizy-Villacoublay Cedex
Téléphone : 06 67 17 94 69
sarah.ikama@qcsservices.fr
Numéro d'affaire : A1792180001

SOMMAIRE

1.	OBJET DU DOCUMENT	3
2.	DESCRIPTION DE L'OUVRAGE	3
2.1	Le site	3
2.2	Description de l'ouvrage	4
3.	CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE DES STRUCTURES	6
3.1	Charges climatiques.....	6
3.1.1	Charges de neige.....	6
3.1.2	Charges de vent.....	7
3.2	Calcul de la capacité portante des éléments structurels des sous-ensembles 4 à 5	8
3.2.1	Capacité portante d'un plancher courant	8
3.2.2	Calcul de la capacité portante de la mezzanine	16
3.2.3	Vérification de la capacité portante de la charpente bois	20
3.2.4	Calcul de la capacité portante des poteaux extérieurs	22
3.2.5	Calcul de la capacité portante des poteaux intermédiaires extérieurs	24
3.3	Vérification de la portance des fondations	25
3.4	Calcul de la capacité portante des éléments structurels des sous-ensembles 1 à 3	28
3.4.1	Capacité portante d'un plancher courant du RDC	28
3.4.2	Calcul de la capacité portante des poteaux extérieurs	45
3.4.3	Calcul de la capacité portante de la mezzanine	47
3.4.4	Vérification de la capacité portante de la charpente bois	52
3.5	Calcul de la capacité portante des éléments structurels de l'unité commerciale « local gardien »	54
3.5.1	Capacité portante d'un plancher courant du RDC	54
4.	CONCLUSION	66

1. OBJET DU DOCUMENT

Dans le cadre de la proposition N° A1792180001, HAROPA Port de Paris a mandaté l'agence QCS Services de Vélizy pour un diagnostic structure des bâtiments situés au Quai Alphonse Le Gallo, Boulogne-Billancourt (92100). L'objectif de la mission est de connaître la solidité des ouvrages concernés.

Une intervention sur site a été faite le 19/06/2018 pour une reconnaissance de l'ouvrage.

2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

2.1 Le site

La présente mission porte sur le port LEGRAND situé au Quai Alphonse Le Gallo, Boulogne-Billancourt (92100).

Ouvrages concernés



Image 1 : Implantation géographique

2.2 Description de l'ouvrage

Le port Legrand a été réalisé en 1993. Il dispose d'un ensemble immobilier de 1900 m² de surface de plancher et d'une convention de 6575 m² de terre-plein. Il est constitué d'une vingtaine d'unités modulaires sur pilotis. Il accueille des surfaces commerciales et des bureaux pour des activités en lien avec le nautisme.

Les porteurs horizontaux (planchers) sont en construction mixte (bois/acier), tandis que les porteurs verticaux (poteaux) sont en aciers. La charpente est en bois supportant une couverture en zinc. La façade est composée d'un bardage en bois, d'isolants et de tasseaux.



Figure 2 : Ensemble composé de mezzanine



Figure 3 : Ensemble avec étage courant

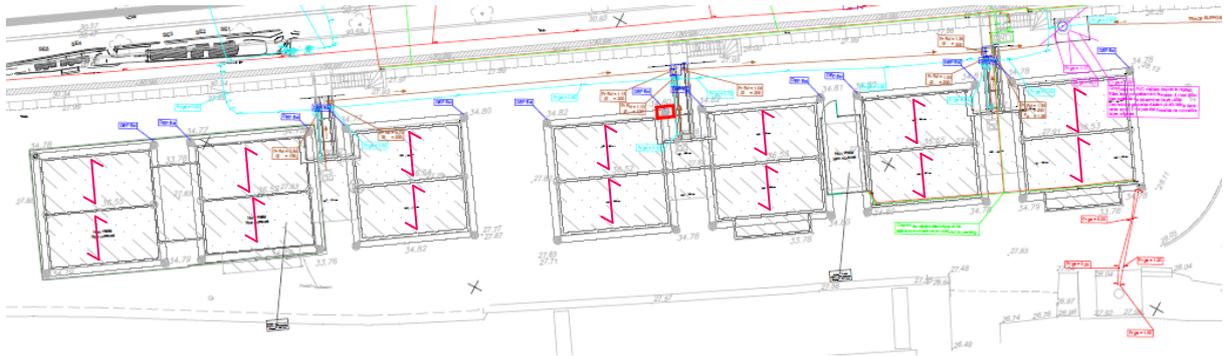


Figure 4 : Sens porteur des sous-ensembles 4 à 5

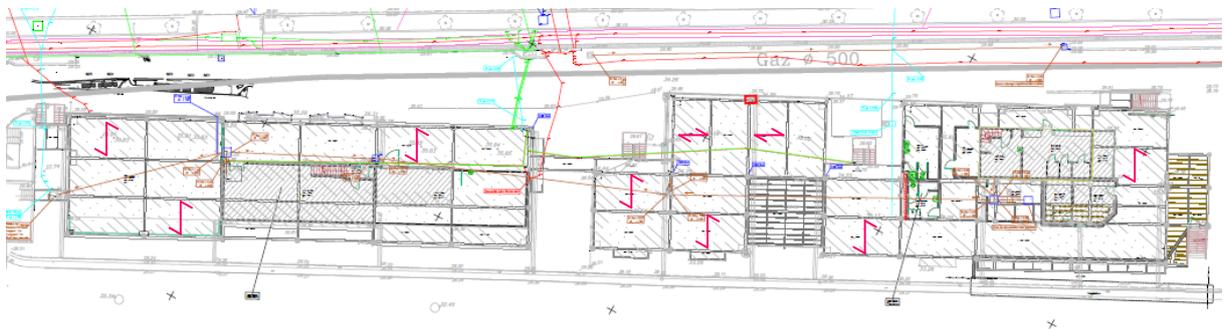


Figure 5 : Sens porteur des sous-ensembles 1 à 3

3. CALCUL DE LA CAPACITE PORTANTE DES STRUCTURES

Afin de calculer la capacité portante des éléments structuraux, nous devons d'abord déterminer quelles sont les charges appliquées sur chacun de ces éléments.

3.1 Charges climatiques

3.1.1 Charges de neige

Les charges de neige sont calculées selon les paramètres du site ainsi que les paramètres de l'ouvrage concerné (hauteur du bâtiment, exposition de l'ouvrage...)

Action de la Neige

Utilisation de l'outil

Fonctionnement
Ce document a pour objectif de déterminer l'action de la neige sur différentes formes de toitures. Dans un premier temps, on rentre les caractéristiques générales du site (rubrique ci-dessous). Il faut ensuite choisir l'onglet correspondant au type de toiture étudiée afin de définir ces caractéristiques.

Code couleur
Les cellules encadrées sont à remplir.
Les résultats affichés en noir sont des résultats intermédiaires.
Les résultats affichés en rouge sont les résultats finaux.

Caractéristiques du site

Altitude du projet m
Note : Entre 0 et 2000m

Région
Note : Voir la carte à droite.

Coefficient d'exposition

Coefficient thermique
Note : Prendre la valeur de 1,00 par défaut, sauf modifications particulières dûment justifiées du projet individuel.

Charges de neige

Charge caractéristique de neige sur le sol S_g :	0,45	kN/m ²
Surcharge en fonction de l'altitude Δ_s :	0	kN/m ²
Charge de neige au sol $S_g + \Delta_s$:	0,45	kN/m ²
Charge exceptionnelle de neige sur le sol $S_{g,e}$:	sans objet	kN/m ²

Classement des régions sur le territoire national

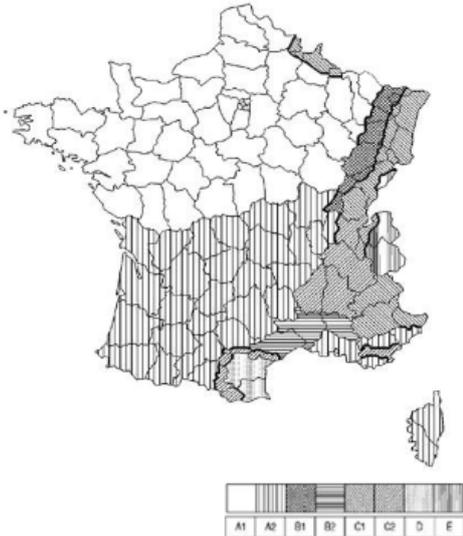


Figure 6 : Paramètre du site

En considérant que le site est peu balayé par les vents et que le coefficient thermique C_t est égale à 1, alors, la charge climatique due à a neige appliquée au sol est : 45 kg/m².

3.1.2 Charges de vent

Etant dans un site près de la scène, les ouvrages sont exposés à des efforts de dépressions et de surpressions, dus au vent. Afin de calculer ces efforts, nous avons utilisé une feuille de calcul interne.

Fonctionnement

Ce document a pour objectif de déterminer l'action du vent sur différentes formes de toitures. Dans un premier temps, on rentre les caractéristiques générales du site (rubrique ci-dessous). Il faut ensuite choisir la feuille de calcul correspondant au type de toiture étudiée afin de définir ses caractéristiques.

Code couleur

Les cellules encadrées sont à remplir.
Les résultats affichés en noir sont des résultats intermédiaires.
Les résultats affichés en rouge sont les résultats finaux.

Caractéristiques du site

Zone où se situe l'ouvrage

Région 2

Voir la carte des vents

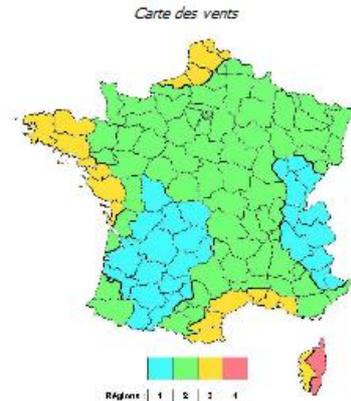
Coefficient orographique

1,00

Cas général $c_o(z) = 1$
Pour les autres cas, se reporter à la norme NF EN 1991-1-4/NA § 4.3.3

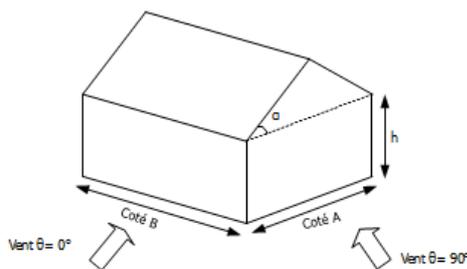
Catégorie de terrain

cat IIIb



0 Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer : lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km.	II Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc) séparés les uns les autres de plus de 40 fois leur hauteur.	IIIa Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé.	IIIb Zones urbaines ou industrielles ; bocage dense ; vergers.	IV Zones urbaines dont au moins 15% de la surface sont recouvertes de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15m ; forêts.

Caractéristiques de l'ouvrage



Hauteur mur (h) : 6,00 m

Angle d'inclinaison de la toiture : 57,00 °

Longueur côté A : 7,80 m

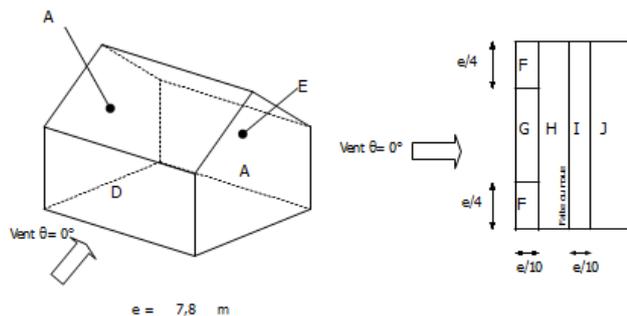
Longueur côté B : 7,80 m

Surface de l'élément reprenant l'action du vent

10,00 m²

La pression calculée dépend de la surface de l'élément reprenant l'action du vent. Prenons par exemple le cas, d'éléments de contreventement verticaux de hauteur 8m espacés de 5m. La valeur de la surface reprenant l'action du vent est de 40m². Dans le cas général prendre une surface de 10m².

Vent $\theta = 0^\circ$



Zone	Pression (N/m ²)
Zone A	-754
Zone D	523
Zone E	-345
Zone F	463 539
Zone G	463 539
Zone H	463 528
Zone I	-215 -194
Zone J	-269 -237

Nota : les pressions données pour la zone A et D sont les pressions maximales pour la face.

Ainsi l'effort dû au vent le plus défavorable qu'on peut appliquer sur la toiture est de 54daN/m² et l'effort le plus défavorable qu'on peut appliquer sur la façade est 75,4 daN/m².

3.2 Calcul de la capacité portante des éléments structurels des sous-ensembles 4 à 5

Les sous-ensembles 4 à 5 sont constitués de 7 plots composés d'un niveau courant et d'une mezzanine.

L'ensemble des sondages ont été réalisés dans le bâtiment D, qui faisait office de local de travail de la Croix Rouge. Nous allons considérer que l'ensemble des structures se ressemble dans la totalité des bâtiments du Port Legrand.

3.2.1 Capacité portante d'un plancher courant



Figure 7 : Descriptif de la composition d'un plancher courant

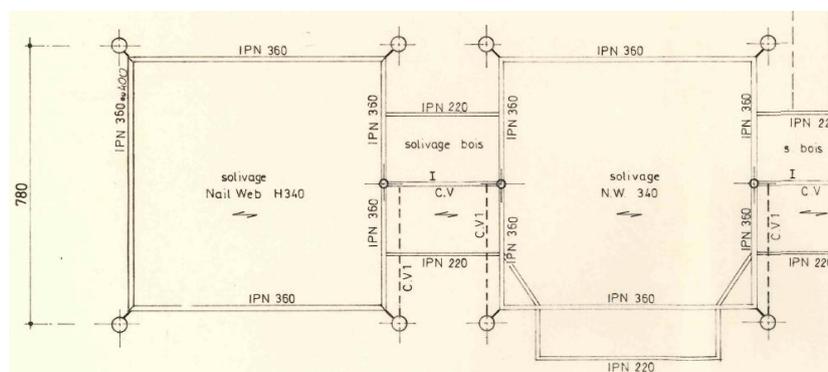


Figure 8 : Coupe du plan DCE fourni par le MO

3.2.1.1 Hypothèses de calcul pour la vérification de la portance des solives en bois

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 7 \text{ cm}$
- Hauteur de la solive: $h = 22 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: $3,625 \text{ m}$
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$
- Epaisseur de l'isolant : $e_i = 22 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol : $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Poids propre isolant « laine de roche »: 48 kg/m^3

Charge d'exploitation :

Pour un bâtiment de type commerce, la charge d'exploitation à prendre en compte est de 500 kg/m^2

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

Et : Q : La charge d'exploitation du plancher

Donc :

$$P_{ELU} = 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 500 \times 0,51$$
$$= 4,16 \text{ kN/ml}$$

Moment isostatique

Etant donné que la solive est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{4,16 \times 3,625^2}{8} = 6,83 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

Avec : $w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^3}{6}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} = 12100 \text{ kPa}$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3 \text{ kPa}$
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

Donc : $f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la résistance à la flexion des solives **est vérifiée**

3.2.1.2 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques intermédiaires



Figure 9 : Vue sur la poutre intermédiaire

Ces poutres métalliques sont des profilés de type IPE 270. Elles viennent servir d'appui aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 270$ mm
- Largeur de la semelle : $b = 135$ mm
- Poids propre : $P = 36,1$ kg/m
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : $3,625$ m x 1 ml
- Portée de la poutre : $L = 7,25$ m
- Poids du bac acier : $10,64$ kg/m²

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive}}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 3,625}{0,51} + 36,1 + 38,46 = 249,42 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,25
e (entraxe repris par la poutre en m)	3,625
I/V ou Wel (en cm ³)	428,9
Igz ou Iz en cm ⁴	5789,8
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	249,42
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	1534,04
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	798,22
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	220,20
Poutre entre deux appuis - Déformée	
Déformation à l'ELS en m	0,031
Déformation admissible	0,029
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	201,58

Nous constatons que la charge maximale que peut reprendre la poutre est de 201,58 kg/m². Cette valeur est inférieure à la valeur imposée par l'Eurocode (500 kg/m²), donc un confortement de la poutre est recommandé afin de répondre aux exigences de la norme.

Proposition de renforcement

Pour une charge d'exploitation de 500 kg/m², nous préconisons de mettre en place un UPN 240 de part et d'autre de l'âme du profilé existant « IPE 270 ».

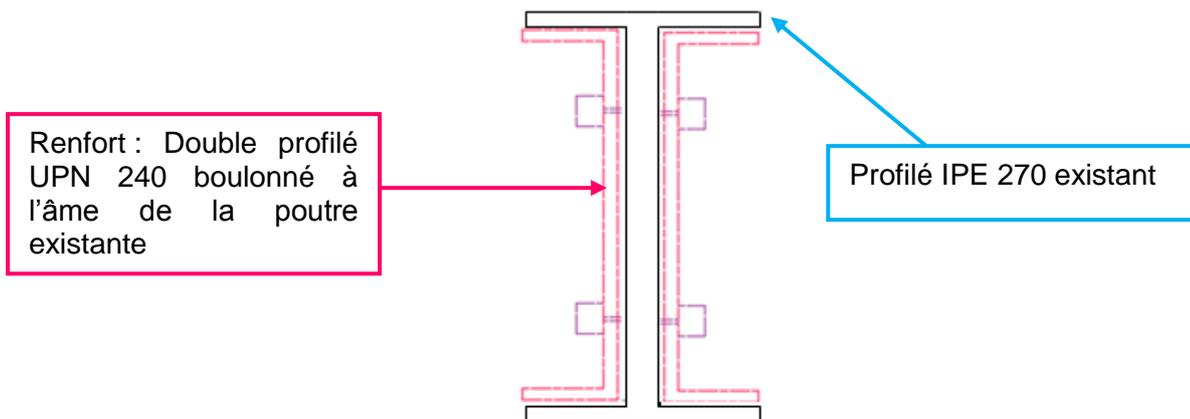


Figure 10 : Principe de renfort de la poutre métallique intermédiaire

- Poids propre du renfort : 33,2 kg/ml
- Moment quadratique du renfort : $I_y = 3600 \text{ cm}^4$
- Module de flexion : $w_{ely} = 300 \text{ cm}^3$

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,25
e (entraxe repris par la poutre en m)	3,625
I/V ou Wel (en cm ³)	1028,9
Igz ou Iz en cm ⁴	12989,8
Charge permanente en daN/ml ou kg/ml	315,82
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3680,06
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2169,14
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	598,38

Poutre entre deux appuis - Déformée

Déformation à l'ELS en m	0,033
Déformation admissible	0,029
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	519,50

3.2.1.3 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques de rive



Figure 11 : Vue sur la poutre de rive

Ces poutres métalliques sont des profilés de type IPE 360. Elles viennent servir d'appui de rive aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux. Elles reprennent les charges de l'ossature bois ainsi qu'une partie du plancher courant.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 360 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 170 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 57,1 \text{ kg/m}$
- Hauteur du mur : 4 m
- Poids surfacique du mur : 73 kg/m^2
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : $1,81 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$
- Portée de la poutre : $L = 7,25 \text{ m}$
- Poids du bac acier : $10,64 \text{ kg/m}^2$

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (63 \times 0,07 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive} / 2}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence} + \text{Poids du mur} \times \text{hauteur}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 1,81}{0,51} + 57,1 + 19,33 + 73 \times 4 = 455,74 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,25
e (entraxe repris par la poutre en m)	1,81
I/V ou Wel (en cm ³)	903,6
Igz ou Iz en cm ⁴	16265,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	455,74
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3231,90
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1744,43
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	963,78
Poutre entre deux appuis - Déformée	
Déformation à l'ELS en m	0,023
Déformation admissible	0,029
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

Nous constatons que la charge maximale que peut reprendre la poutre est de 963,78 kg/m². Cette valeur comprend les charges permanentes et les charges d'exploitation supplémentaires que peut reprendre la poutre de rive.

3.2.2 Calcul de la capacité portante de la mezzanine



Figure 12 : Plancher bois de la mezzanine

3.2.2.1 Calcul de la capacité portante des solives en bois de la mezzanine

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 6,5 \text{ cm}$
- Hauteur de la solive: $h = 21,5 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: 5 m
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol (parquet) : $0,25 \text{ kN/m}^2$

Charge d'exploitation :

Ne connaissant pas le type d'exploitation de ce plancher, nous allons déterminer qu'elle serait la charge maximale qu'il puisse reprendre.

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

et : Q : La charge d'exploitation du plancher, on prend $Q = 315 \text{ kg/m}^2$

Donc :

$$P_{ELU} = 1,35 \times ((420 \times 0,065 \times 0,215) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 315 \times 0,51 = 2,66 \text{ kN/ml}$$

Moment isostatique

Etant donné que le solive est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{2,66 \times 5^2}{8} = 8,31 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

$$\text{Avec : } w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} = 16590 \text{ N/mm}^2$$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3 \text{ kPa}$
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif

- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

Donc : $f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la charge maximale que peut reprendre le plancher de la mezzanine est 315 kg/m^2 avec un taux de travail de 100%

3.2.2.2 Calcul de la capacité portante de la poutre métallique de la mezzanine



Figure 13 : Poutre IPE de la mezzanine

Ces poutres métalliques reprennent la moitié de la charge du plancher. Elles sont liées à la charpente en bois de la toiture pour que celle-ci transmette les charges aux poteaux extérieurs.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 270 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 135 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 36,1 \text{ kg/m}$
- Portée de la poutre : $L = 5 \text{ m}$
- Longueur d'influence : $2,5 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$

Charge permanente

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = (420 \times 0,065 \times 0,215) + (25 \times 0,51) = 18,62 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive} / 2}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique}$$

Donc :

$$G_t = \frac{18,62 \times 2,5}{0,51} + 36,1 = 127,37 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de calculer la charge maximale que peut reprendre la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne.

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	5
e (entraxe repris par la poutre en m)	2,5
I/V ou Wel (en cm ³)	428,9
Igz ou Iz en cm ⁴	5789,8
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	127,37
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3225,33
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2035,59
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	814,23

Ainsi ces poutres métalliques sont capables de reprendre 814,23 kg/m².

3.2.3 Vérification de la capacité portante de la charpente bois



Figure 14 : Charpente bois

La poutre 1 reprend une partie de la charge de la toiture ainsi qu'une partie de la charge de la mezzanine suspendue.

3.2.3.1 Hypothèses de calcul de la capacité portante de la poutre 1

Documents de référence

- Eurocodes

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Données géométriques de la structure

- Largeur de la poutre 1 : $b = 7 \text{ cm}$
- Hauteur de la poutre 1: $h = 36 \text{ cm}$
- Surface d'influence : $E = 14 \text{ m}^2$ soit une entraxe approximative de 3 m
- Portée de la poutre 1: 5 m

Charges permanentes+climatiques:

- Poids propre de la couverture en zinc : $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Charge de neige : $S = 45 \text{ daN/m}^2$
- Charge de vent : $W = 54 \text{ daN/m}^2$

- Poids de la mezzanine repris par la poutre 1 en bois (sans charge d'exploitation de la mezzanine) : 6,37 kN

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times (W + 0,7S + \text{Poids de la mezzanine "charge d'exploitation"})$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée à la poutre 1

et : Q : La charge d'exploitation de la mezzanine, et on prend la charge d'exploitation de la mezzanine égale à 120 kg/m², donc la charge d'exploitation de la mezzanine reprise par la poutre est : 120 x 2,5 x 2,5 / 5 = 150 kg/ml

Donc :

$$P_{ELU} = 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,36) + (25 \times 3) + 127,4) + 1,5 \times (54 \times 3 + 0,7 \times 45 \times 3 + 150) \\ = 8,31 \text{ kN/ml}$$

Moment isostatique

Etant donné que la poutre est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{8,31 \times 5^2}{8} = 25,96 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

$$\text{Avec : } w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} = 16600 \text{ N/mm}^2$$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3$ kPa
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm

- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

Donc : $f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la charge maximale que peut reprendre la poutre 1 réduit la charge maximale que peut reprendre le plancher mezzanine de la mezzanine. Cette poutre peut reprendre une charge maximale de 120 kg/m^2 au niveau du plancher mezzanine avec un taux de travail de 100%

3.2.4 Calcul de la capacité portante des poteaux extérieurs



Poteau métallique

Figure 15 : Poteaux métalliques extérieurs

Ces poteaux métalliques reprennent les charges des bâtiments pour les transmettre aux fondations.

Caractéristiques du poteau métallique

- Hauteur du poteau métallique : $H = 6 \text{ m}$
- Type de profilé : Tube creux
- Poids propre : $P = 31,6 \text{ kg/m}$
- Diamètre extérieure du poteau : $\phi = 323,9 \text{ mm}$
- Moment quadratique : $I = 5143 \text{ cm}^4$
- Section transversale : $40,2 \text{ cm}^2$
- $\sigma_e = 235 \text{ MPa}$

Charges permanentes

- Poids propre de la charpente : 50 kg/m²
- Poids de la poutre métallique UPN 200 : 25,3 kg/ml
- Poids du plancher suspendu : $(127,37 \times 5/2) + (36,1 \times 5/2) = 408,67$ kg
- Poids du plancher bas : $(455,74 \times 7,25/2) + (57,1 \times 1,81) = 1790$ kg

Charges d'exploitation

- Pression du vent : 75 kg/m²
- Charge d'entretien de la charpente : 80 kg/m²
- Charge d'exploitation du plancher bas : 500 kg/m²
- Charge d'exploitation du plancher suspendu : 120 kg/m²

Charge de compression appliquée au poteau

Soit N la charge de compression appliquée au poteau, on a :

$$N = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

$$N = 1,35 \times (50 \times 3,625 \times 3,625 + 25,3 \times 7,25 + 408,7 + 1790 + 31,6 \times 6) + 1,5 \\ \times (75 \times 3,625 \times 3,625 + 80 \times 3,625 \times 3,625 + 500 \times 3,625 \times 1,81 + 120 \times 2,5 \times 2,5)$$

Donc :

$$N = 13441 \text{ daN} = 0,134 \text{ MN} \text{ donc } \sigma = 33,33 \text{ MPa}$$

Soit : σ_k La contrainte critique

$$\sigma_k = \frac{E \times \pi^2 \times I_z}{A \times l_0^2} = 736 \text{ MPa}$$

Donc:

$$k = \left(0,5 + 0,65 \times \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \times \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_k}} = 1,12$$

Ainsi $k \times \sigma < \sigma_e$

Donc le Poteau est apte à reprendre les charges qui lui sont appliquées avec un taux de travail de 20%.

3.2.5 Calcul de la capacité portante des poteaux intermédiaires extérieurs



Poteau
métallique

Figure 16 : Poteaux métalliques extérieurs

Ces poteaux métalliques reprennent les charges des bâtiments pour les transmettre aux fondations.

Caractéristiques du poteau métallique

- Hauteur du poteau métallique : $H = 2,83 \text{ m}$
- Type de profilé : Tube creux
- Poids propre : $P = 10,11 \text{ kg/m}$
- Diamètre extérieure du poteau : $\phi = 140 \text{ mm}$
- Moment quadratique : $I = 300,937 \text{ cm}^4$
- Section transversale : $12,88 \text{ cm}^2$
- $\sigma_e = 235 \text{ MPa}$

Charges permanentes

- Poids du plancher courant repris par la poutre métallique intermédiaire : $315,82 \text{ kg/ml}$
- Surface d'influence : $3,625 \text{ m} \times 3,625 \text{ m}$

Charges d'exploitation

- Charge d'exploitation du plancher bas : 500 kg/m^2

Charge de compression appliquée au poteau

Soit N la charge de compression appliquée au poteau, on a :

$$N = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

$$N = 1,35 \times (315,82 \times 7,25 \times 0,5 + 4,91 \times 2,83) + 1,5 \times (500 \times 3,625 \times 3,625)$$

Donc :

$$N = 11440 \text{ daN} = 0,114 \text{ MN} \text{ donc } \sigma = 182,4 \text{ MPa}$$

Soit : σ_k La contrainte critique

$$\sigma_k = \frac{E \times \pi^2 \times I_z}{A \times l_0^2} = 604 \text{ MPa}$$

Donc:

$$k = \left(0,5 + 0,65 \times \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \times \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_k}} = 1,17$$

Ainsi $k \times \sigma < \sigma_e$

Donc le Poteau est apte à reprendre les charges qui lui sont appliquées avec un taux de travail de 91%.

3.3 Vérification de la portance des fondations

Dans cette partie, nous allons nous servir du rapport géotechnique qui nous a été fourni par le MO. Plusieurs points de sondages ont été réalisés lors des essais pressiométriques. Dans nos calculs, nous allons nous référer qu'aux résultats d'un seul point de sondage.

Nous avons constaté que les prescriptions mentionnées dans le rapport géotechnique n'ont pas été suivies. En effet, les fondations ne sont pas ancrées dans la couche des alluvions anciennes.

En fonction de l'analyse qui précède et en tenant compte de l'hétérogénéité et de la compressibilité des sols superficiels, remblais et alluvions modernes, il est évident que toute solution de fondation doit être basée sur un transfert des charges des structures dans les alluvions anciennes sous-jacentes.

Figure 17 : Extrait du rapport géotechnique

Dans ce cas, nous allons seulement vérifier si les fondations sont aptes à reprendre les charges qui lui sont transmises en prenant en compte seulement la couche de remblais.

Dans ces remblais les caractéristiques mécaniques des sols varient de manière importante. Ainsi par exemple en SP 1 à la base des remblais nous avons un module de déformation de $10 \cdot 10^5$ Pa pour une pression limite à la rupture de $3 \cdot 10^5$ Pa. En S 2 pourtant proche à la même profondeur nous avons un module de déformation de $30 \cdot 10^5$ Pa, nous avons donc globalement des remblais hétérogènes et de plus très compressibles.

Figure 18 : Extrait du rapport géotechnique

Afin de connaître les caractéristiques géométriques des fondations, nous avons effectué un point de sondages au droit d'une fondation.



Figure 19 : Fouille de fondation

En vue de la profondeur du massif béton, nous pensons que ces fondations sont plus profondes et de type fondations semi-profonde avec $R = 25$ cm

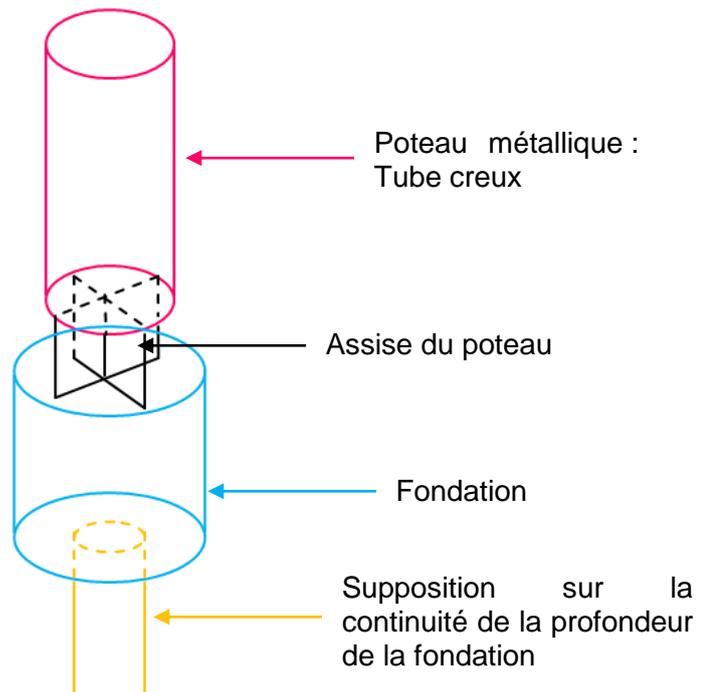


Figure 20 : Schéma de principe du type de fondation

Soit N la charge de compression appliquée à la fondation et G_p le poids propre de la fondation.

Ainsi la charge totale G_t appliquée à la fondation est :

$$N = 13676 \text{ daN}$$

On a :

$$\frac{N}{A} = 0,1 \text{ MPa} < 0,3 \text{ MPa}$$

Donc la fondation est bien dimensionnée pour reprendre les charges.

3.4 Calcul de la capacité portante des éléments structurels des sous-ensembles 1 à 3

Les sous-ensembles 1 à 3 sont constitués de plots composés d'un niveau courant et d'un étage.

3.4.1 Capacité portante d'un plancher courant du RDC

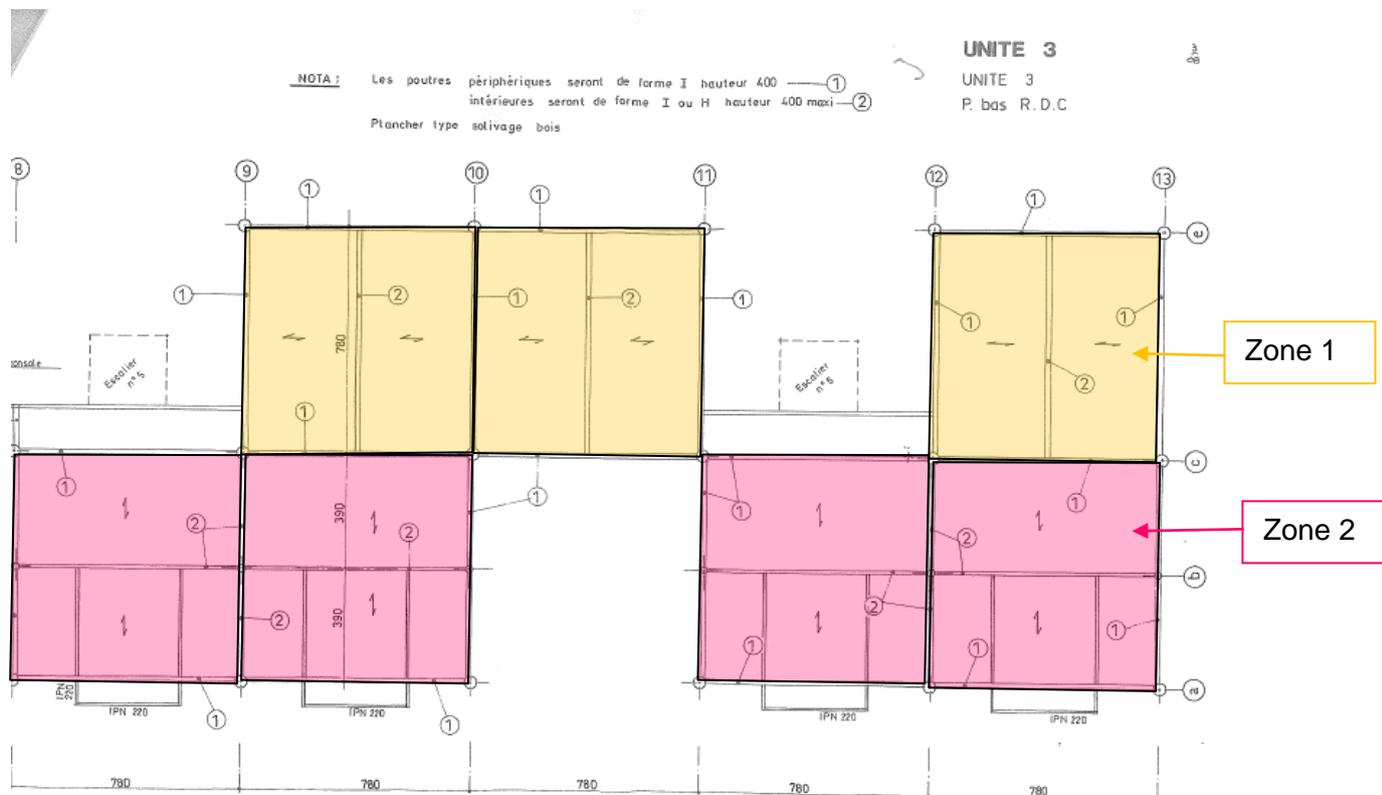


Figure 21 : Coupe du plan DCE fourni par le MO

3.4.1.1 Hypothèses de calcul pour la vérification de la portance des solives en bois de la zone 1

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24

- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 7 \text{ cm}$
- Hauteur de la solive: $h = 22 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: $3,9 \text{ m}$
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$
- Epaisseur de l'isolant : $e_i = 22 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol : $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Poids propre isolant « laine de roche »: 48 kg/m^3

Charge d'exploitation :

Pour un bâtiment de type commerce, la charge d'exploitation à prendre en compte est de 500 kg/m^2

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

Et : Q : La charge d'exploitation du plancher

Donc :

$$\begin{aligned} P_{ELU} &= 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 500 \times 0,51 \\ &= 4,16 \text{ kN/ml} \end{aligned}$$

Moment isostatique

Etant donné que la solive est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{4,16 \times 3,9^2}{8} = 7,9 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

Avec : $w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b.h^2}{6}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} = 13990 \text{ kPa}$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24.10^3 \text{ kPa}$
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

Donc : $f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la résistance à la flexion des solives **est vérifiée**

3.4.1.2 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques intermédiaires de la zone 1, IPE 360

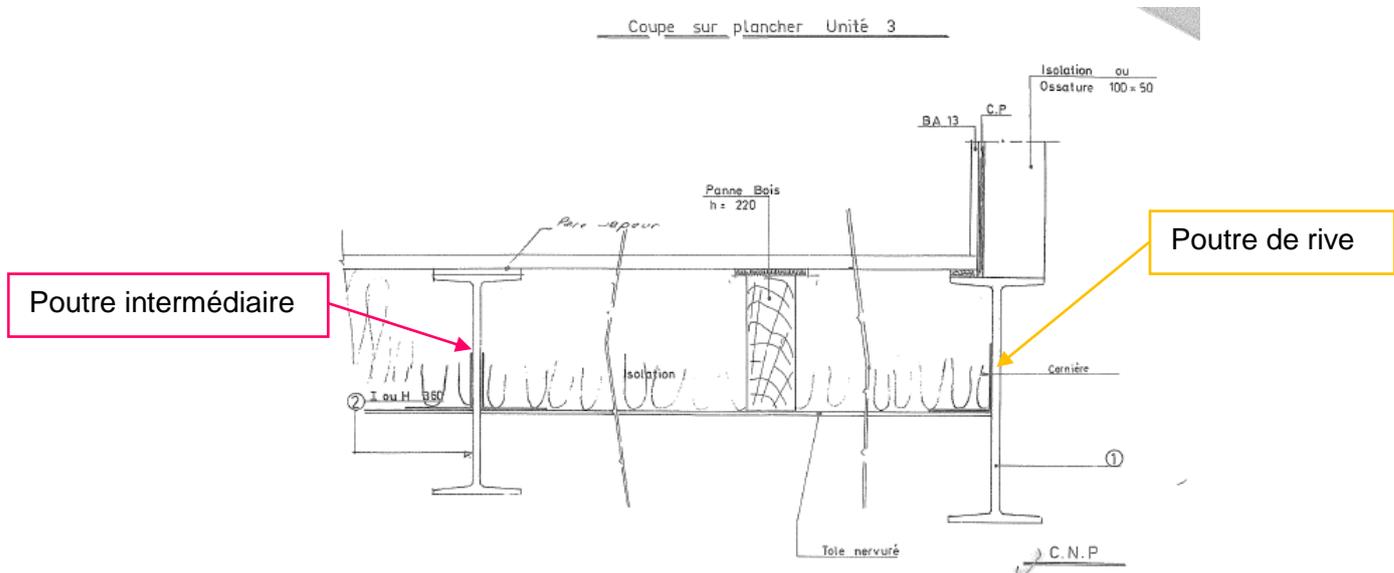
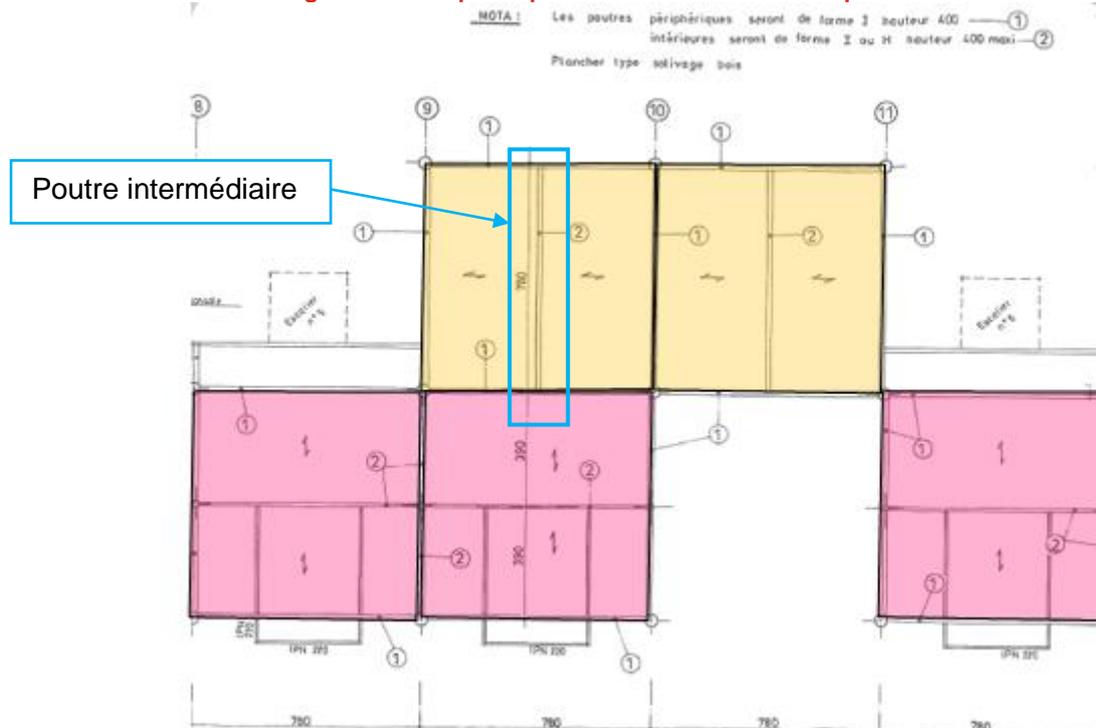


Figure 22 : Coupe du plancher de l'unité 3 fourni par le MO



Ces poutres métalliques intermédiaires sont des profilés de type IPE 360. Elles viennent servir d'appui aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : H = 360 mm
- Largeur de la semelle : b = 170 mm
- Poids propre : P = 57,1 kg/m
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : 3,9 m x 1 ml
- Portée de la poutre : L = 7,8 m
- Poids du bac acier : 10,64 kg/m²

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive}}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 3,9}{0,51} + 57,1 + 10,64 \times 3,9 = 287 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER	
σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	3,9
I/V ou Wel (en cm ³)	903,6
Igz ou Iz en cm ⁴	16265,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	287
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE	
Poutre entre deux appuis - Contraintes	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	2792,19
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1603,16
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	411,07
Poutre entre deux appuis - Déformée	
Déformation à l'ELS en m	0,027
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

Nous constatons que la charge maximale que peut reprendre la poutre est de 411 kg/m². Cette valeur est inférieure à la valeur imposée par l'Eurocode (500 kg/m²), donc un confortement de la poutre est recommandé afin de répondre aux exigences de la norme.

Proposition de renforcement

Pour une charge d'exploitation de 500 kg/m², nous préconisons de mettre en place un UPN 200 de part et d'autre de l'âme du profilé existant « IPE 360 » pour que cette poutre soit apte à reprendre.

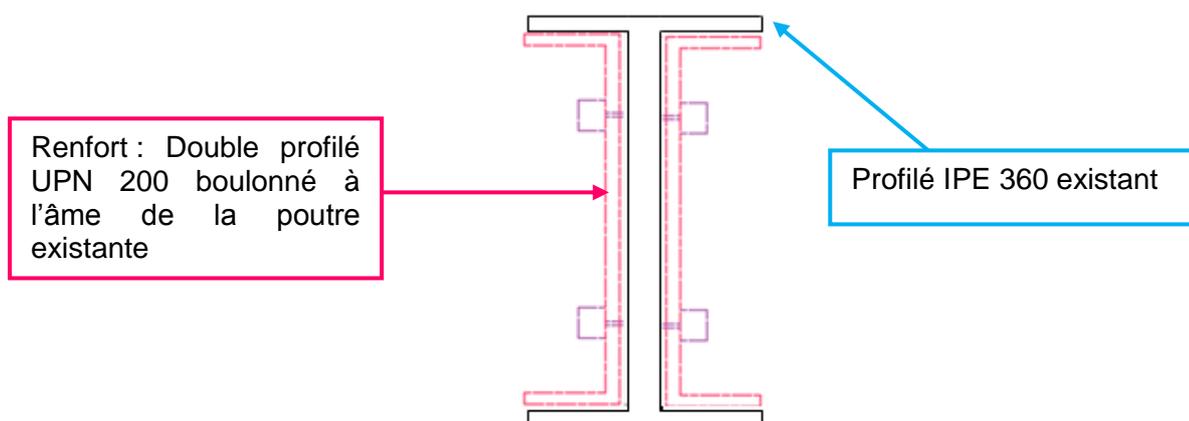


Figure 23 : Principe de renfort de la poutre métallique intermédiaire

- Poids propre du renfort : 25,2 kg/ml
- Moment quadratique du renfort : $I_y = 1910 \text{ cm}^4$
- Module de flexion : $w_{ely} = 191 \text{ cm}^3$

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	3,9
I/V ou Wel (en cm ³)	1285,6
Igz ou Iz en cm ⁴	20085,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	337,4
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3972,60
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2344,74
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	601,21
Poutre entre deux appuis - Déformée	
Déformation à l'ELS en m	0,031
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

3.4.1.3 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques intermédiaires de la zone 1, IPE 400

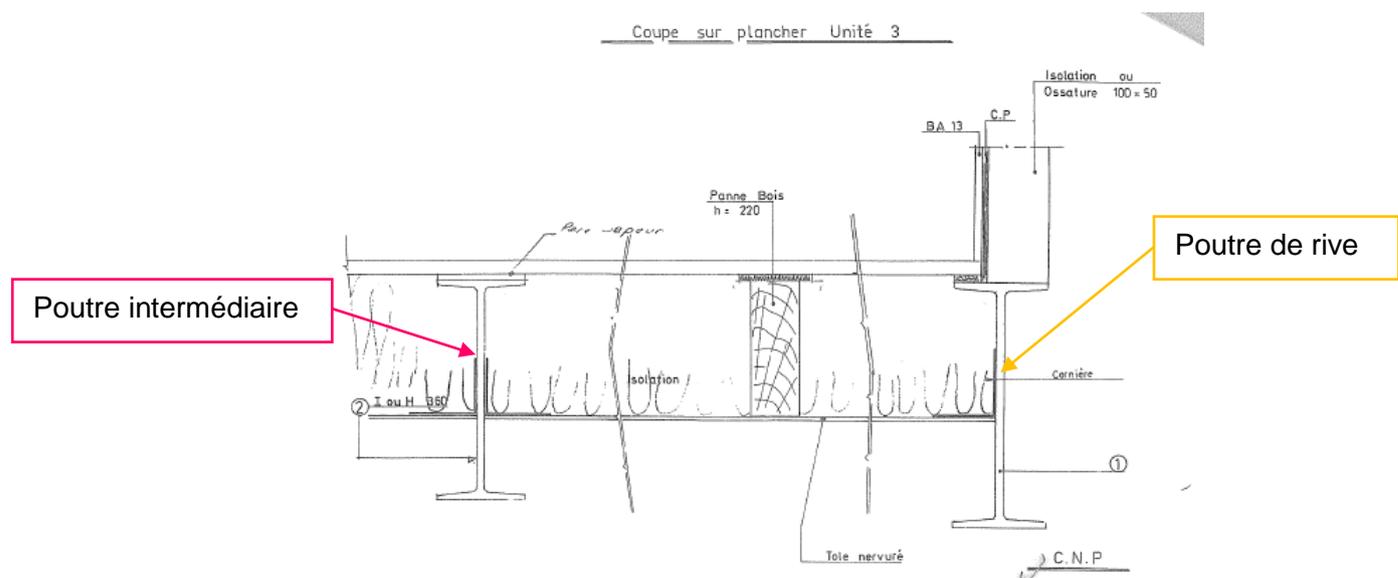


Figure 24 : Coupe du plancher de l'unité 3 fourni par le MO

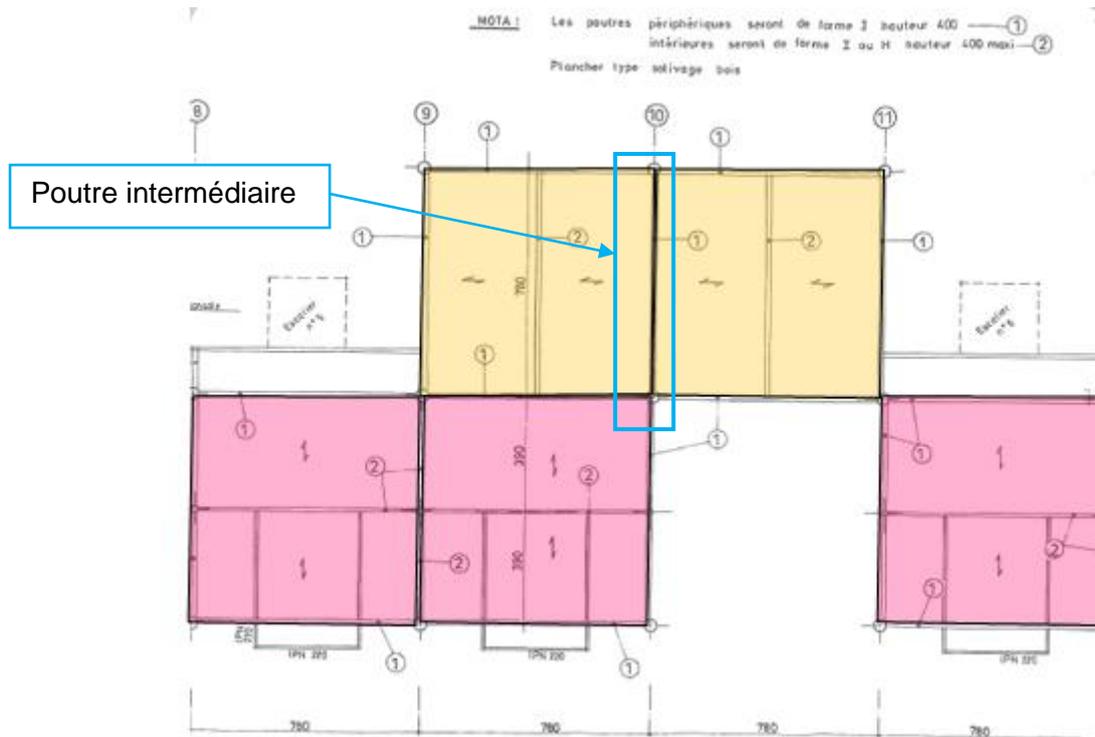


Figure 25 : Coupe fourni par le MO

Ces poutres métalliques intermédiaires sont des profilés de type IPE 400. Elles viennent servir d'appui aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 400 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 180 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 66,3 \text{ kg/m}$
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : $3,9 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$
- Portée de la poutre : $L = 7,8 \text{ m}$
- Poids du bac acier : $10,64 \text{ kg/m}^2$

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive}}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 3,9}{0,51} + 66,3 + 10,64 \times 3,9 = 296 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	3,9
I/V ou Wel (en cm ³)	1156,4
Igz ou Iz en cm ⁴	23128,4
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	296
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

<i>Poutre entre deux appuis - Contraintes</i>	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3573,36
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2115,84
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	542,52
<i>Poutre entre deux appuis - Déformée</i>	
Déformation à l'ELS en m	0,024
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

La poutre métallique intermédiaire est apte à reprendre les charges de 500 kg/m² imposée par la réglementation.

3.4.1.4 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques de rive

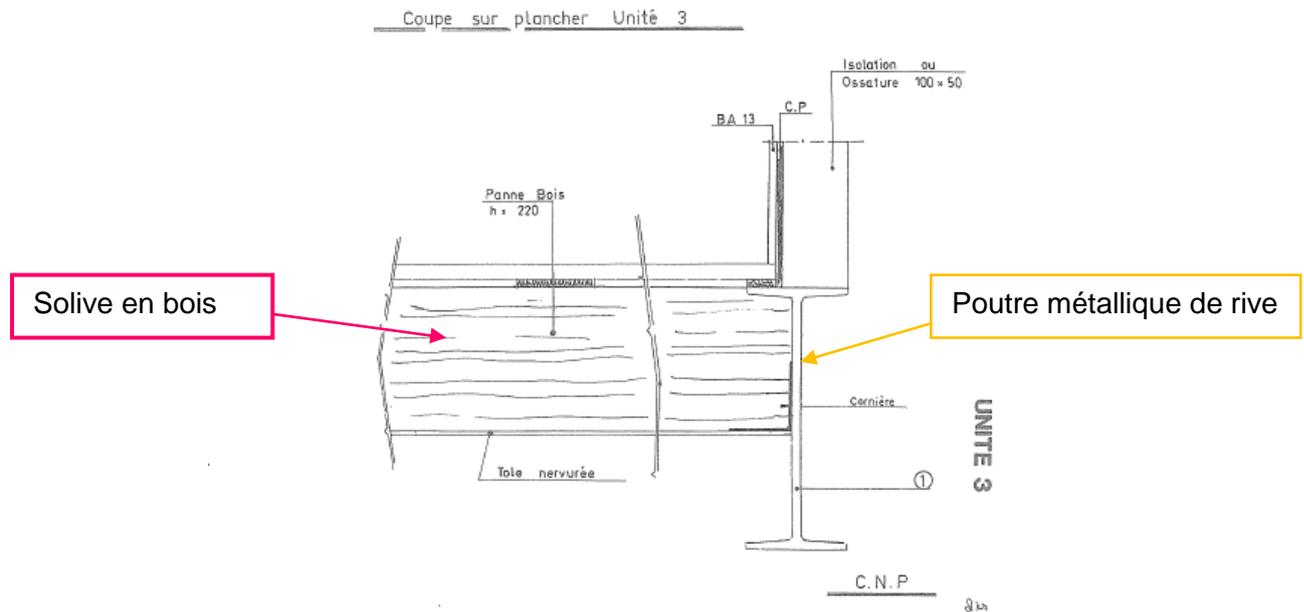


Figure 26 : Vue sur la poutre de rive

Ces poutres métalliques sont des profilés de type IPE 400. Elles viennent servir d'appui de rive aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux de diamètre 30 cm. Elles reprennent les charges du bardage en bois ainsi qu'une partie du plancher courant.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 400$ mm
- Largeur de la semelle : $b = 180$ mm
- Poids propre : $P = 66,3$ kg/m
- Hauteur du mur : 4 m
- Poids surfacique du mur : 73 kg/m²
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : 2,1 m x 1 ml
- Portée de la poutre : $L = 7,8$ m
- Poids du bac acier : $10,64$ kg/m²

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (63 \times 0,07 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive} / 2}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence} + \text{Poids du mur} \times \text{hauteur}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 2,1}{0,51} + 66,3 + 10,64 \times 2,1 + 73 \times 4 = 482 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	2,1
I/V ou Wel (en cm ³)	1156,4
Igz ou Iz en cm ⁴	23128,4
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	482
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3573,36
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1948,44
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	927,83

Poutre entre deux appuis - Déformée

Déformation à l'ELS en m	0,024
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

Nous constatons que la charge maximale que peut reprendre la poutre est de 928 kg/m². Cette valeur comprend les charges permanentes et les charges d'exploitation supplémentaires que peut reprendre la poutre de rive.

3.4.1.5 Hypothèses de calcul pour la vérification de la portance des solives en bois de la zone 2

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 7 \text{ cm}$
- Hauteur de la solive: $h = 22 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: 3,9 m
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$
- Epaisseur de l'isolant : $e_i = 22 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol : 0,25 kN/m²
- Poids propre isolant « laine de roche »: 48 kg/m³

Charge d'exploitation :

Pour un bâtiment de type commerce, la charge d'exploitation à prendre en compte est de 500kg/m²

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

Et : Q : La charge d'exploitation du plancher

Donc :

$$\begin{aligned} P_{ELU} &= 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 500 \times 0,51 \\ &= 4,16 \text{ kN/ml} \end{aligned}$$

Moment isostatique

Etant donné que les solives sont sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{4,16 \times 3,9^2}{8} = 7,9 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

$$\text{Avec : } w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} = 13990 \text{ kPa}$$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3$ kPa
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

$$\text{Donc : } f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la résistance à la flexion des solives **est vérifiée**

3.4.1.6 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques intermédiaires de la zone 2, IPE 360

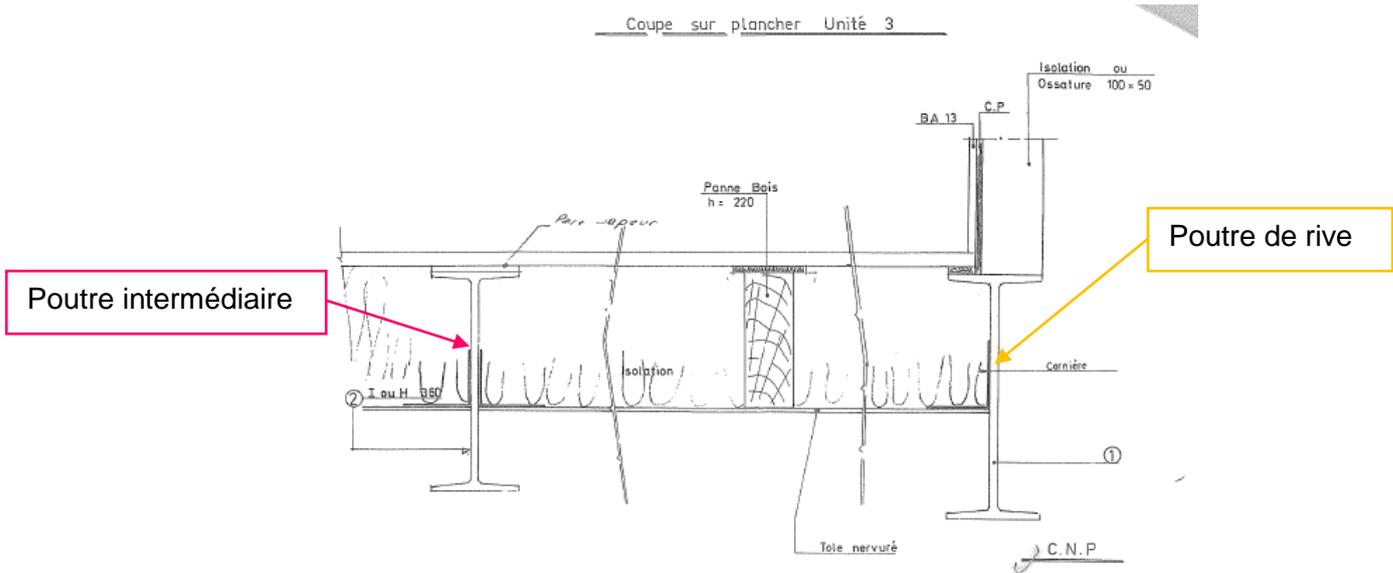
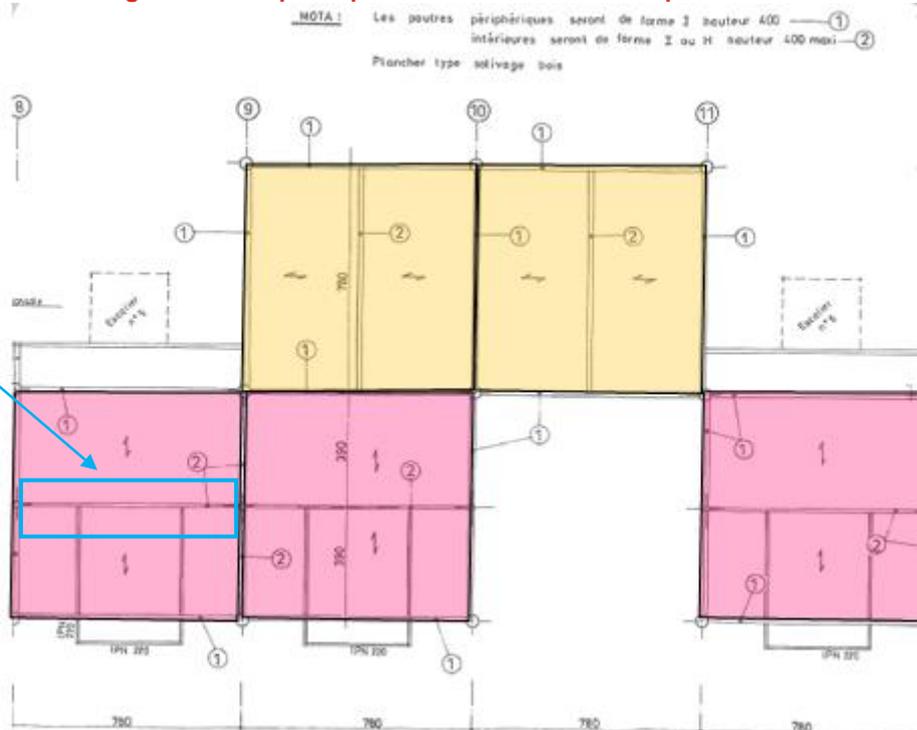


Figure 27 : Coupe du plancher de l'unité 3 fourni par le MO



Ces poutres métalliques intermédiaires sont des profilés de type IPE 360. Elles viennent servir d'appui aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : H = 360 mm
- Largeur de la semelle : b = 170 mm
- Poids propre : P = 57,1 kg/m
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : 3,9 m x 1 ml
- Portée de la poutre : L = 7,8 m
- Poids du bac acier : 10,64 kg/m²
- Poids du profilé IPN 220 : 31 kg/ml

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

G = poids propre des solives + Poids propre de l'isolant + Poids du revêtement

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive}}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence} + \text{Poids du profilé IPN 220}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 3,9}{0,51} + 57,1 + 10,64 \times 3,9 + 31 \times 3,9 \div 7,25 = 303,4 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8

e (entraxe repris par la poutre en m)	3,9
I/V ou Wel (en cm ³)	903,6
Igz ou Iz en cm ⁴	16265,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	303,4
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	2792,19
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1588,40
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	407,28

Poutre entre deux appuis - Déformée

Déformation à l'ELS en m	0,027
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

Nous constatons que la charge maximale que peut reprendre la poutre est de 411 kg/m². Cette valeur est inférieure à la valeur imposée par l'Eurocode (500 kg/m²), donc un confortement de la poutre est recommandé afin de répondre aux exigences de la norme.

Proposition de renforcement

Pour une charge d'exploitation de 500 kg/m², nous préconisons de mettre en place un UPN 200 de part et d'autre de l'âme du profilé existant « IPE 360 » pour que cette poutre soit apte à reprendre.

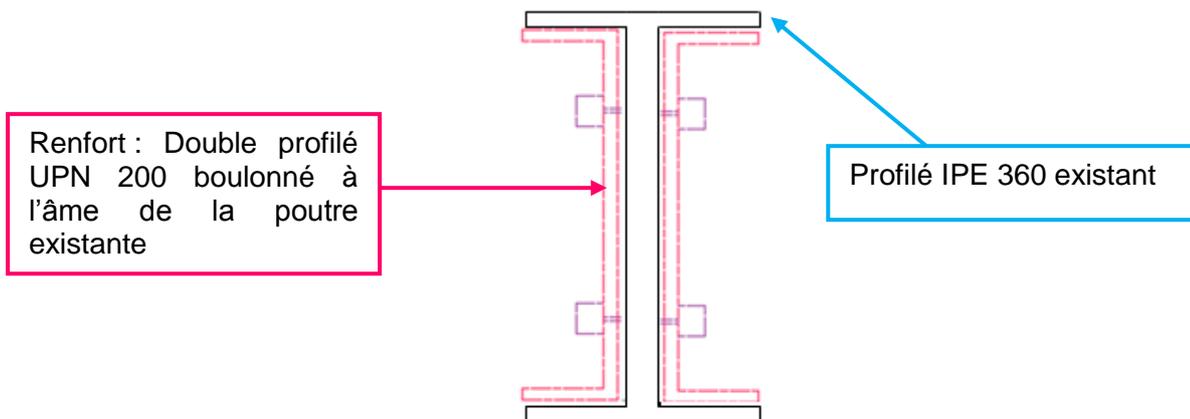


Figure 28 : Principe de renfort de la poutre métallique intermédiaire

- Poids propre du renfort : 25,2 kg/ml
- Moment quadratique du renfort : $I_y = 1910 \text{ cm}^4$
- Module de flexion : $w_{ely} = 191 \text{ cm}^3$

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	3,9
I/V ou Wel (en cm ³)	1285,6
Igz ou Iz en cm ⁴	20085,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	353,8
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3972,60
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2329,98
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	597,43

Poutre entre deux appuis - Déformée

Déformation à l'ELS en m	0,031
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

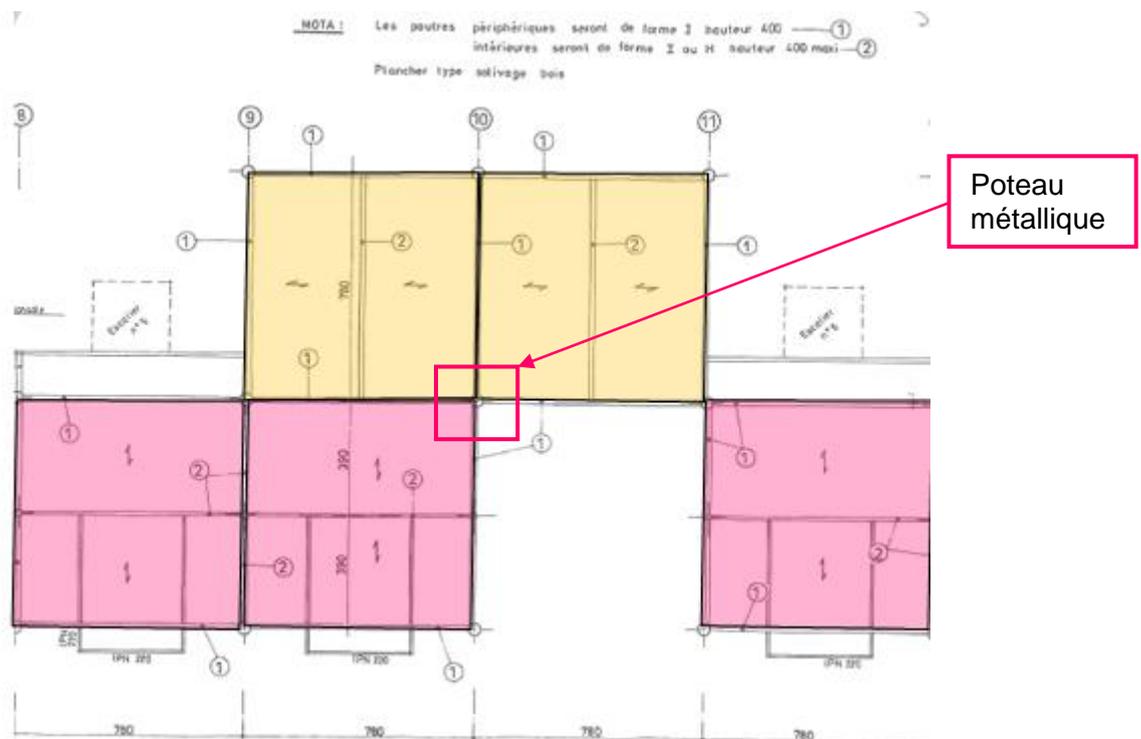
3.4.2 Calcul de la capacité portante des poteaux extérieurs



Poteau métallique

Figure 29 : Poteaux métalliques extérieurs

Ces poteaux métalliques reprennent les charges des bâtiments pour les transmettre aux fondations.



Caractéristiques du poteau métallique

- Hauteur du poteau métallique : $H = 6 \text{ m}$
- Type de profilé : Tube creux

- Poids propre : $P = 31,6 \text{ kg/m}$
- Diamètre extérieure du poteau : $\phi = 323,9 \text{ mm}$
- Moment quadratique : $I = 5143 \text{ cm}^4$
- Section transversale : $40,2 \text{ cm}^2$
- $\sigma_e = 235 \text{ MPa}$

Charges permanentes

- Poids propre de la charpente : 50 kg/m^2
- Poids de la poutre métallique UPN 200 : $25,3 \text{ kg/ml}$
- Poids du plancher bas : 2140 kg

Charges d'exploitation

- Pression du vent : 74 kg/m^2
- Charge d'entretien de la charpente : 80 kg/m^2
- Charge d'exploitation du plancher bas : 500 kg/m^2

Charge de compression appliquée au poteau

Soit N la charge de compression appliquée au poteau de la part d'un seul plot, on a :

$$N = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

$$N = 1,35 \times (50 \times 3,9 \times 3,9 + 25,3 \times 7,8 + 2140 + 31,6 \times 6) + 1,5 \\ \times (74 \times 3,9 \times 3,9 + 80 \times 3,9 \times 3,9 + 500 \times 3,9 \times 2)$$

Donc :

$$N = 13801,5 \text{ daN} = 0,138 \text{ MN} \text{ donc } \sigma = 34,33 \text{ MPa}$$

Ainsi la contrainte totale appliquée au poteau central de la part des plots qui l'entoure est :

$$\sigma = 4 \times 34,33 \text{ MPa} = 137,32 \text{ MPa}$$

Soit : σ_k La contrainte critique

$$\sigma_k = \frac{E \times \pi^2 \times I_z}{A \times l_0^2} = 736 \text{ MPa}$$

Donc:

$$k = \left(0,5 + 0,65 \times \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \times \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_k}} = 1,17$$

Ainsi $k \times \sigma < \sigma_e$

Donc le Poteau est apte à reprendre les charges qui lui sont appliquées avec un taux de travail de 68%.

3.4.3 Calcul de la capacité portante de la mezzanine

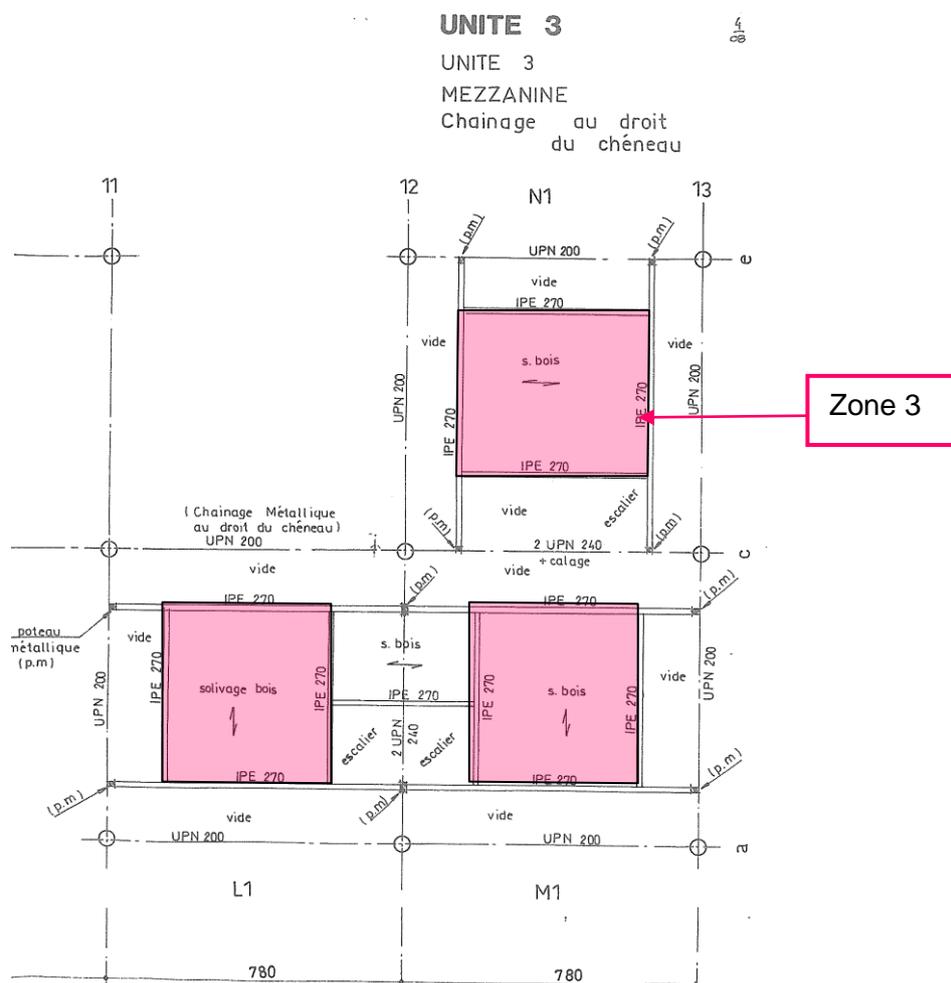


Figure 30 : Plancher bois de la mezzanine

3.4.3.1 Calcul de la capacité portante des solives en bois de la mezzanine de la zone 3

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 6,5 \text{ cm}$
- Hauteur de la solive: $h = 21,5 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: 5 m
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol (parquet) : $0,25 \text{ kN/m}^2$

Charge d'exploitation :

Ne connaissant pas le type d'exploitation de ce plancher, nous allons déterminer qu'elle serait la charge maximale qu'il puisse reprendre.

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

et : Q : La charge d'exploitation du plancher, on prend $Q = 315 \text{ kg/m}^2$

Donc :

$$P_{ELU} = 1,35 \times ((420 \times 0,065 \times 0,215) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 315 \times 0,51 = 2,66 \text{ kN/ml}$$

Moment isostatique

Etant donné que les solives sont sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{2,66 \times 5^2}{8} = 8,31 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

$$\text{Avec : } w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} = 16590 \text{ N/mm}^2$$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3$ kPa
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

$$\text{Donc : } f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$$

Ainsi la charge maximale que peut reprendre le plancher de la mezzanine est 315 kg/m² avec un taux de travail de 100%

3.4.3.2 Calcul de la capacité portante de la poutre métallique de la mezzanine de la zone 3

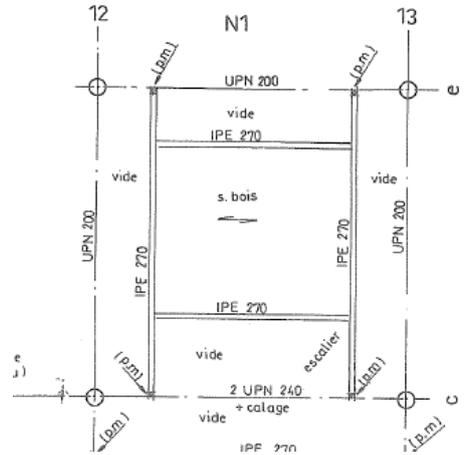


Figure 31 : Poutre IPE de la mezzanine

Ces poutres métalliques reprennent la moitié de la charge du plancher. Elles reposent de part et d'autre sur des poteaux métalliques.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 270 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 135 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 36,1 \text{ kg/m}$
- Portée de la poutre : $L = 5 \text{ m}$
- Longueur d'influence : $2,5 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$

Charge permanente

Soit G la charge permanente reprise par les solives, on considère ses solives uniformément chargée

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = (420 \times 0,065 \times 0,215) + (25 \times 0,51) = 18,62 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive} / 2}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids des chevêtres IPE 270}$$

Donc :

$$G_t = \frac{18,62 \times 2,5}{0,51} + 36,1 + 25 = 152,37 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de calculer la charge maximale que peut reprendre la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne.

HYPOTHESES A COMPLETER	
-------------------------------	--

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	5
e (entraxe repris par la poutre en m)	2,5
I/V ou Wel (en cm ³)	428,9
Igz ou Iz en cm ⁴	5789,8
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	152,37
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE	
----------------------------------	--

Poutre entre deux appuis - Contraintes	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3225,33
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2013,09
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	805,23
Poutre entre deux appuis - Déformée	
Déformation à l'ELS en m	0,014
Déformation admissible	0,02
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

Ainsi ces poutres métalliques sont capables de reprendre 805,23 kg/m².

3.4.4 Vérification de la capacité portante de la charpente bois

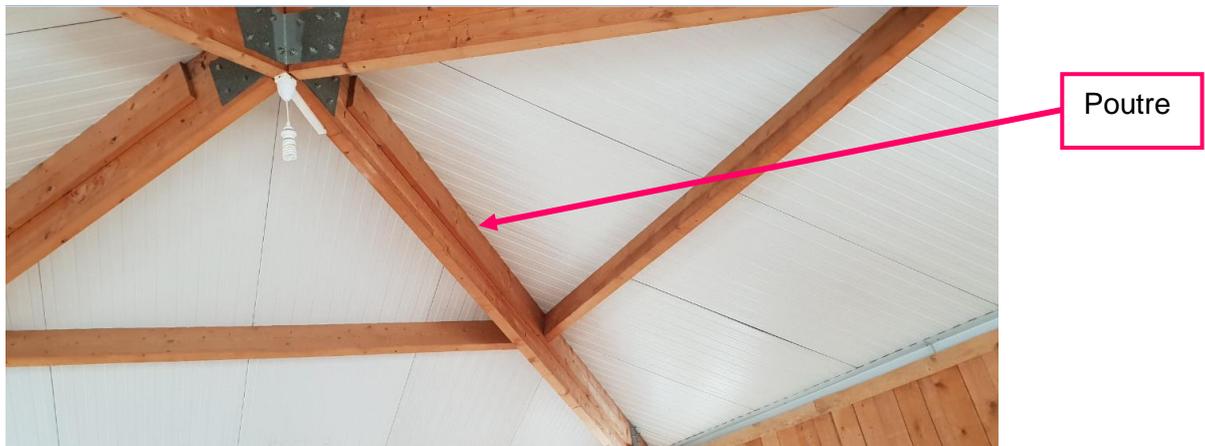


Figure 32 : Charpente en bois

La poutre reprend une partie de la charge de la toiture.

3.4.4.1 Hypothèses de calcul de la capacité portante de la poutre

Documents de référence

- Eurocodes

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Données géométriques de la structure

- Largeur de la poutre 1 : $b = 7 \text{ cm}$
- Hauteur de la poutre 1: $h = 36 \text{ cm}$
- Surface d'influence : $E = 14 \text{ m}^2$ soit une entraxe approximative de 3 m
- Portée de la poutre : 5 m

Charges permanentes+climatiques:

- Poids propre de la couverture en zinc : $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Charge de neige : $S = 45 \text{ daN/m}^2$
- Charge de vent : $W = 54 \text{ daN/m}^2$

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times (W + 0,7S)$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée à la poutre

Donc :

$$P_{ELU} = 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,36) + (25 \times 3)) + 1,5 \times (54 \times 3 + 0,7 \times 45 \times 3) = 5 \text{ kN/ml}$$

Moment isostatique

Etant donné que la poutre est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{5 \times 5^2}{8} = 15,62 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y, la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

$$\text{Avec : } w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} = 10330 \text{ N/mm}^2$$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3$ kPa
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

$$\text{Donc : } f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$$

3.5 Calcul de la capacité portante des éléments structuraux de l'unité commerciale « local gardien »

Les sous-ensembles 1 à 3 sont constitués de plots composés d'un niveau courant et d'un étage.

3.5.1 Capacité portante d'un plancher courant du RDC

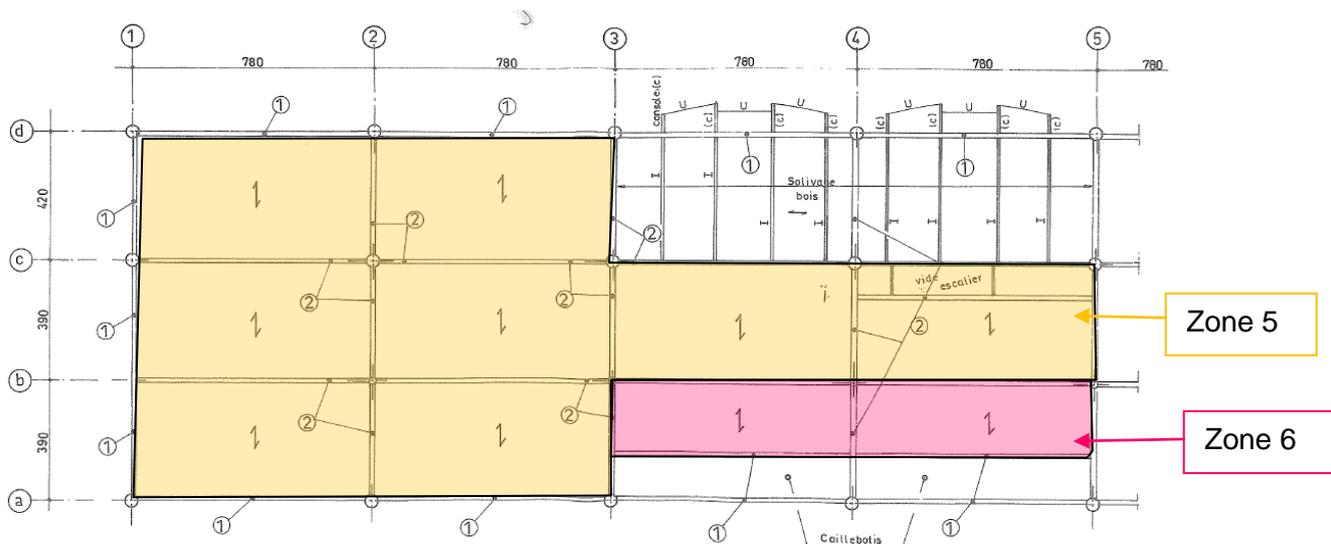


Figure 33 : Coupe du plancher bas du RDC de l'unité commerciale "local gardien"

3.5.1.1 Hypothèses de calcul pour la vérification de la portance des solives en bois de la zone 5

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 7 \text{ cm}$

- Hauteur de la solive: $h = 22 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: $4,2 \text{ m}$
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$
- Epaisseur de l'isolant : $e_i = 22 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol : $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Poids propre isolant « laine de roche »: 48 kg/m^3

Charge d'exploitation :

Pour un bâtiment de type commerce, la charge d'exploitation à prendre en compte est de 500 kg/m^2

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

Et : Q : La charge d'exploitation du plancher

Donc :

$$\begin{aligned} P_{ELU} &= 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 500 \times 0,51 \\ &= 4,16 \text{ kN/ml} \end{aligned}$$

Moment isostatique

Etant donné que la solive est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{4,16 \times 4,2^2}{8} = 9,17 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y , la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

$$\text{Avec : } w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Donc : $\sigma_{m,y,d} = 16240 \text{ kPa}$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3 \text{ kPa}$
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

Donc : $f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la résistance à la flexion des solives **est vérifiée**

3.5.1.2 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques intermédiaires de la zone 1, IPE 360

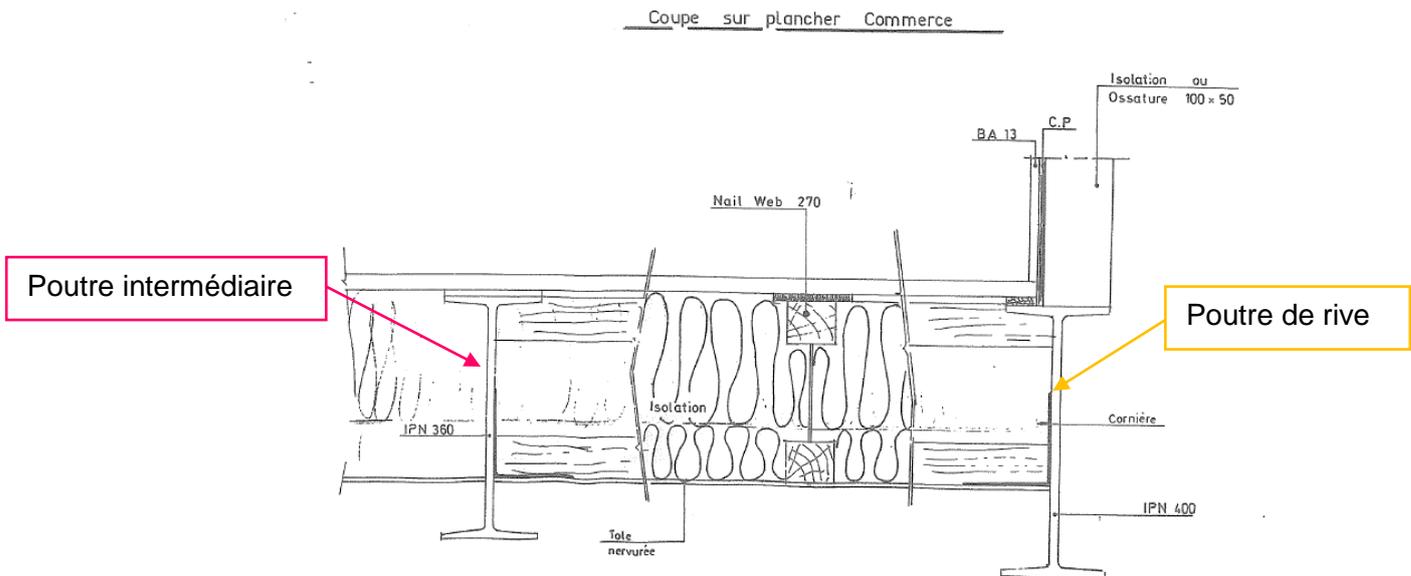
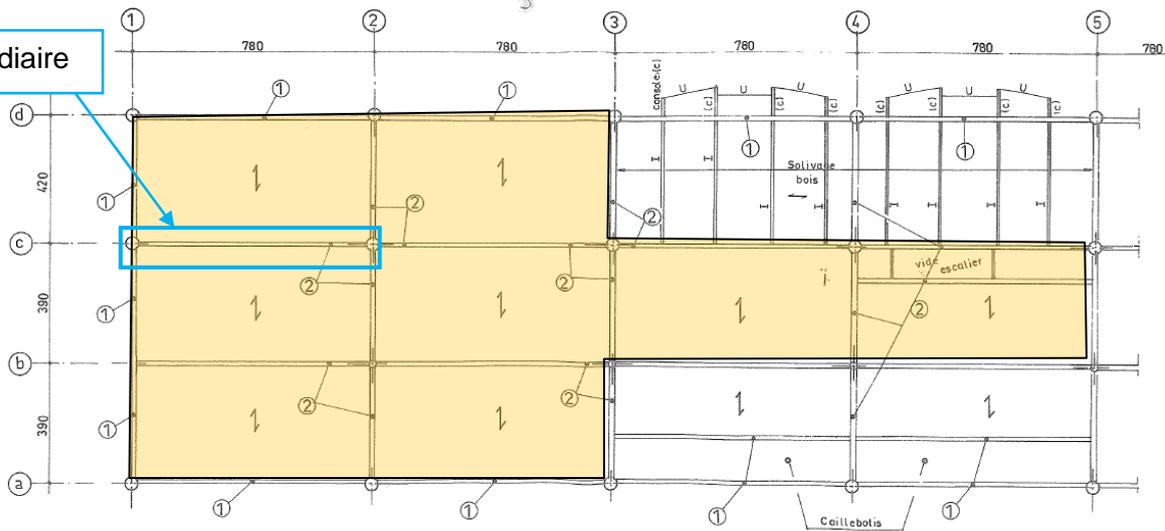


Figure 34 : Coupe du plancher fourni par le MO



Ces poutres métalliques intermédiaires sont des profilés de type IPE 360. Elles viennent servir d'appui aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 360 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 170 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 57,1 \text{ kg/m}$
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : $4 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$
- Portée de la poutre : $L = 7,8 \text{ m}$
- Poids du bac acier : $10,64 \text{ kg/m}^2$

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive}}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 4}{0,51} + 57,1 + 10,64 \times 4 = 292,6 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	4
I/V ou Wel (en cm ³)	903,6
Igz ou Iz en cm ⁴	16265,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	292,6
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	2792,19
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1598,12
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	399,53
Poutre entre deux appuis - Déformée	
Déformation à l'ELS en m	0,027
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

La poutre métallique intermédiaire est apte à reprendre les charges de 400 kg/m². Pour qu'elle puisse être apte à reprendre les charges de 500 kg/m², celle-ci doit être renforcée.

Proposition de renforcement

Pour une charge d'exploitation de 500 kg/m², nous préconisons de mettre en place un UPN 200 de part et d'autre de l'âme du profilé intermédiaire existant « IPE 360 ».

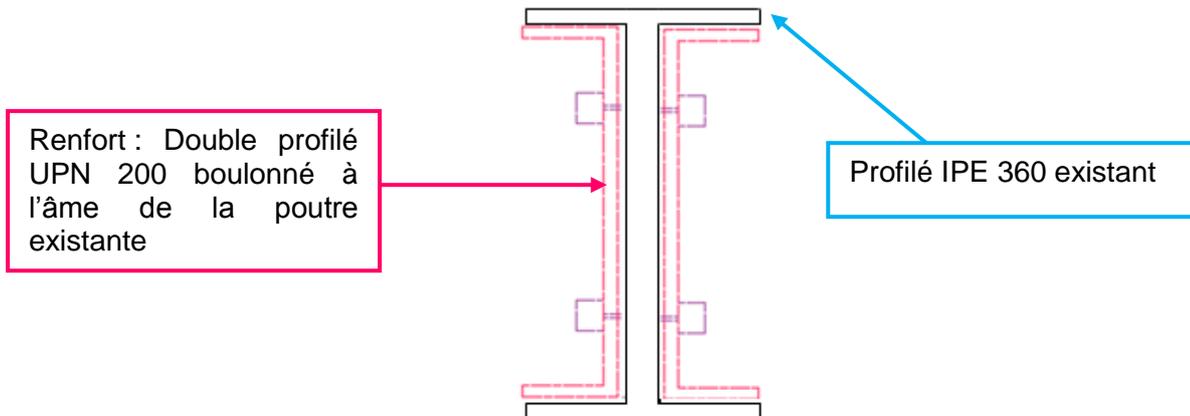


Figure 35 : Principe de renfort de la poutre métallique intermédiaire

- Poids propre du renfort : 25,2 kg/ml
- Moment quadratique du renfort : $I_y = 1910 \text{ cm}^4$
- Module de flexion : $w_{ely} = 191 \text{ cm}^3$

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	4
I/V ou W_{el} (en cm ³)	1285,6
I_{gz} ou I_z en cm ⁴	20085,6
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	343
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3972,60
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	2339,70
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	584,92

Poutre entre deux appuis - Déformée

Déformation à l'ELS en m	0,031
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

3.5.1.3 Calcul de la capacité portante des poutres métalliques de rive

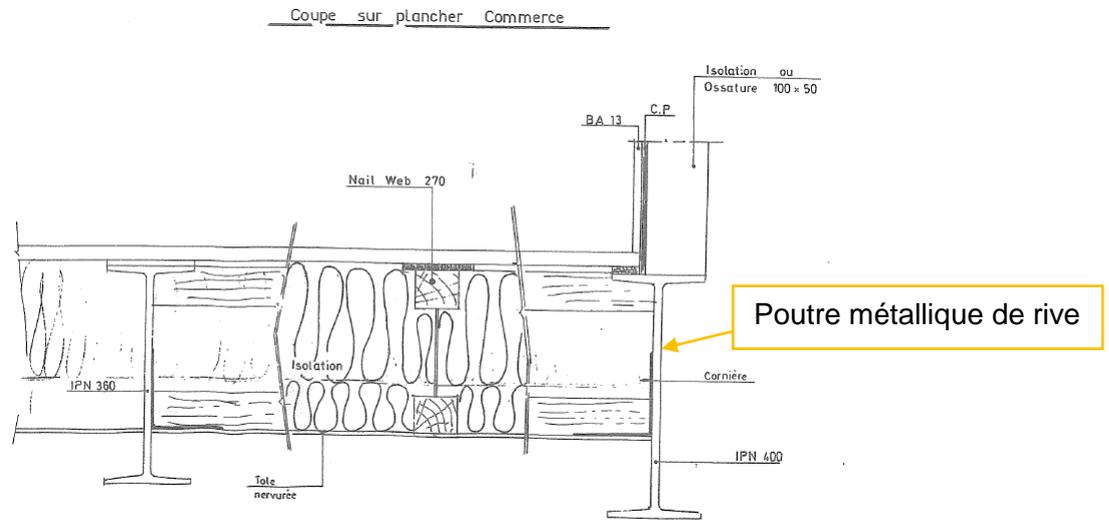


Figure 36 : Vue sur la poutre de rive

Ces poutres métalliques sont des profilés de type IPE 400. Elles viennent servir d'appui de rive aux solives en bois et elles reposent de part et d'autres sur des poteaux métalliques de type rond creux de diamètre 30 cm. Elles reprennent les charges du bardage en bois ainsi qu'une partie du plancher courant.

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 400 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 180 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 66,3 \text{ kg/m}$
- Hauteur du mur : 4 m
- Poids surfacique du mur : 73 kg/m^2
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : $2,1 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$
- Portée de la poutre : $L = 7,8 \text{ m}$
- Poids du bac acier : $10,64 \text{ kg/m}^2$

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

$$G = \text{poids propre des solives} + \text{Poids propre de l'isolant} + \text{Poids du revêtement}$$

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (63 \times 0,07 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive} / 2}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence} + \text{Poids du mur} \times \text{hauteur}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 2,1}{0,51} + 66,3 + 10,64 \times 2,1 + 73 \times 4 = 482 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	2,1
I/V ou Wel (en cm ³)	1156,4
Igz ou Iz en cm ⁴	23128,4
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	482
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

<i>Poutre entre deux appuis - Contraintes</i>	
Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3573,36
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1948,44
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	927,83
<i>Poutre entre deux appuis - Déformée</i>	
Déformation à l'ELS en m	0,024
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	Sans objet

Nous constatons que la charge maximale que peut reprendre la poutre est de 928 kg/m². Cette valeur comprend les charges permanentes et les charges d'exploitation supplémentaires que peut reprendre la poutre de rive.

3.5.1.4 Hypothèses de calcul pour la vérification de la portance des solives en bois du plancher haut du RDC

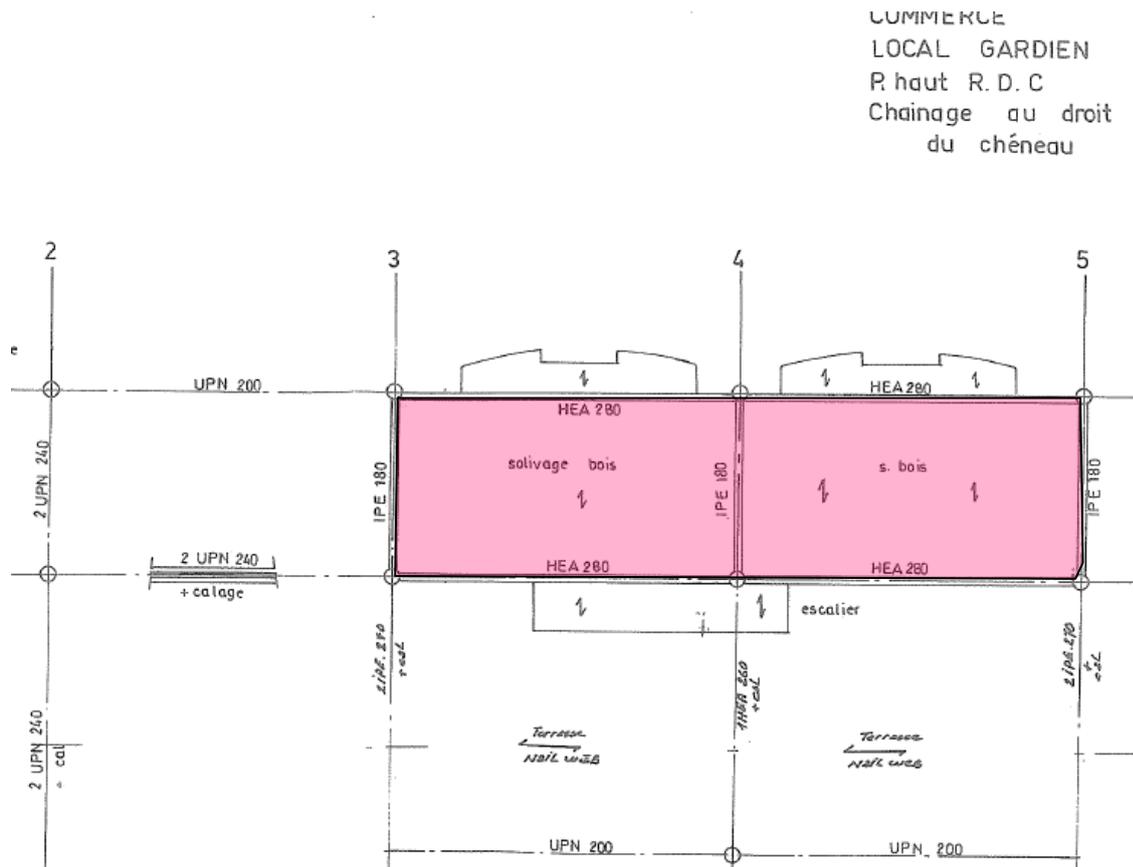


Figure 37 : Schéma du plancher haut du RDC fourni par le MO

Documents de référence

- Eurocode 5

Matériaux

- Bois massif
- Classe du bois : C24
- Masse volumique : $\rho = 420 \text{ kg/m}^3$

Système de fonctionnement

Nous considérons une poutre sur deux appuis simples.

Données géométriques de la structure :

- Largeur de la solive : $b = 7 \text{ cm}$
- Hauteur de la solive: $h = 22 \text{ cm}$
- Entraxe des solives en bois : $E = 51 \text{ cm}$
- Portée de la solive: $4,2 \text{ m}$
- Epaisseur du revêtement de sol : $e_r = 2 \text{ cm}$
- Epaisseur de l'isolant : $e_i = 22 \text{ cm}$

Charge permanente :

- Poids propre du revêtement de sol : $0,25 \text{ kN/m}^2$
- Poids propre isolant « laine de roche »: 48 kg/m^3

Charge d'exploitation :

Pour un bâtiment de type commerce, la charge d'exploitation à prendre en compte est de 500 kg/m^2

Combinaison de charge

Soit P_{ELU} la combinaison de charge à l'état limite ultime, on a :

$$P_{ELU} = 1,35 \times G + 1,5 \times Q$$

Avec : G : La charge permanente totale appliquée aux solives en bois

Et : Q : La charge d'exploitation du plancher

Donc :

$$\begin{aligned} P_{ELU} &= 1,35 \times ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (48 \times 0,22 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) + 1,5 \times 500 \times 0,51 \\ &= 4,16 \text{ kN/ml} \end{aligned}$$

Moment isostatique

Etant donné que la solive est sur deux appuis, alors le moment maximal est :

$$M_{ELU} = \frac{P_{ELU} \times L^2}{8} = \frac{4,16 \times 4,2^2}{8} = 9,17 \text{ kN.m}$$

Vérification de la résistance à la flexion de la solive en bois

Pour un élément fléchi suivant y , la valeur de calcul de la contrainte de flexion $\sigma_{m,d}$ est :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{ELU,y,d}}{w_{ely}}$$

Avec : $w_{ely} = \frac{I_y}{v} = \frac{b \cdot h^3}{6}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} = 16240 \text{ kPa}$

Or la valeur de la résistance de flexion est :

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{sys}$$

Avec :

- Le bois est de classe C24 donc la résistance en flexion est $f_{m,k} = 24 \cdot 10^3 \text{ kPa}$
- Le coefficient de hauteur $k_h = 1$ car la hauteur de la solive est supérieure à 150 mm
- On prend $\gamma_M = 1.3$ car on a un bois massif
- Etant donné qu'on est en classe 2 et que notre combinaison consiste en des actions appartenant à plusieurs classes de durée de chargement, il convient d'utiliser une valeur qui correspond à la plus courte durée d'application donc on prend $k_{mod} = 0.9$

Donc : $f_{m,d} = 16600 \text{ kPa}$

Donc : $\sigma_{m,y,d} < f_{m,d}$

Ainsi la résistance à la flexion des solives **est vérifiée**

3.5.1.5 Vérification de la portance des poutres métalliques de rive du plancher haut du RDC

Caractéristiques de la poutre métallique

- Hauteur de la poutre métallique : $H = 270 \text{ mm}$
- Largeur de la semelle : $b = 280 \text{ mm}$
- Poids propre : $P = 76,4 \text{ kg/m}$
- Hauteur du mur : 4 m
- Poids surfacique du mur : 73 kg/m^2
- Entraxe entre solives en bois : 51 cm
- Longueur d'influence : $2,1 \text{ m} \times 1 \text{ ml}$
- Portée de la poutre : $L = 7,8 \text{ m}$
- Poids du bac acier : $10,64 \text{ kg/m}^2$

Charges permanentes

Soit G la charge permanente reprise par les solives :

G = poids propre des solives + Poids propre de l'isolant + Poids du revêtement

Donc :

$$G = ((420 \times 0,07 \times 0,22) + (63 \times 0,07 \times 0,51) + (25 \times 0,51)) = 24,60 \text{ kg/ml}$$

Or les solives sont uniformément chargées sur toute leur longueur, donc la charge reprise par la poutre métallique est :

$$G_t = \frac{G \times \text{Portée de la solive} / 2}{\text{Entraxe}} + \text{Poids de la poutre métallique} + \text{Poids Bac acier} \times \text{Longueur d'influence} + \text{Poids du mur} \times \text{hauteur}$$

Donc :

$$G_t = \frac{24,60 \times 2,1}{0,51} + 76,4 + 10,64 \times 2,1 + 73 \times 4 = 492 \text{ kg/ml}$$

Résultats de calcul

Afin de connaître la capacité portante de la poutre, nous avons utilisé une feuille de calcul interne

HYPOTHESES A COMPLETER

σ adm (contrainte admissible de l'acier en N/mm ² ou MPa)	235
L (portée en m)	7,8
e (entraxe repris par la poutre en m)	2,1
I/V ou Wel (en cm ³)	1012,8
Igz ou Iz en cm ⁴	13673,3
Charge permanente en DaN/ml ou kg/ml	492
Module de Young en N/mm ² ou Mpa	210000

CAS D'UNE CHARGE REPARTIE

Poutre entre deux appuis - Contraintes

Capacité portante totale à l'ELU en daN/ml	3129,63
Charge d'exploitation admissible en daN/ml	1643,62
Soit une charge d'exploitation admissible en daN/m²	782,67

Poutre entre deux appuis - Déformée

Déformation à l'ELS en m	0,036
Déformation admissible	0,0312
Charge d'exploitation maximale si la flèche est trop importante en daN/m²	650,85

4. CONCLUSION

Dans le cadre de la proposition N° A1792180001, HAROPA Port de Paris a mandaté l'agence QCS Services de Vélizy pour un diagnostic structure des bâtiments situé au Quai Alphonse Le Gallo, Boulogne-Billancourt (92100).

✚ Les sous-ensembles 4 à 5 composée des plots A, B, C, D, E, F, G :

Le diagnostic structure a montré que les solives en bois ainsi que les poutres métalliques de rive du plancher bas du RDC (plancher courant) sont aptes à reprendre la charge de 500 kg/m² imposée par la réglementation. Toutefois, les profilés métalliques en I de type IPE 270 et qui font office de poutre intermédiaire doivent être renforcés afin qu'ils puissent reprendre 500 kg/m².



Figure 38 : Renforcement des poutres intermédiaires

En ce qui concerne les mezzanines suspendus aux charpentes bois, celles-ci peuvent reprendre une charge d'exploitation de 120 kg/m².

Pour ce qui est des poteaux métalliques, ceux-ci reprennent les charges actuelles avec un taux de travail de 20 %.

Les poutres en bois qui supportent les charpentes ont un taux de travail de 100%.

✚ Les sous-ensembles 1 à 3 composée des plots H, I, J, K, L, M, N :

Le diagnostic structure a montré que les solives en bois ainsi que les poutres métalliques de rive du plancher bas du RDC (plancher courant) sont aptes à reprendre la charge de 500 kg/m² imposée par la réglementation. Toutefois, les profilés métalliques en I de type IPE 360

et qui font office de poutre intermédiaire doivent être renforcés afin qu'ils puissent reprendre 500 kg/m².

En ce qui concerne les mezzanines, celles-ci peuvent reprendre une charge d'exploitation de 320 kg/m².

Pour ce qui est des poteaux métalliques, ceux-ci reprennent les charges actuelles avec un taux de travail de 68%.

Les poutres en bois qui supportent les charpentes ont un taux de travail de 61%.

Fondation :

Pour ce qui est de la stabilité des fondations, celles-ci sont bien dimensionnées pour reprendre les charges qui lui sont transmises. Toutefois, en vue des recommandations mentionnées dans le rapport géotechnique, ces fondations doivent être de type micropieux et ancrées dans la couche des alluvions anciennes. Or cela ne semble pas être le cas au point où nous avons effectué le sondage. De ce fait, nous préconisons de réaliser un sondage et un essai pressiométrique au droit d'une fondation afin de connaître les caractéristiques des couches de sol ainsi que la profondeur d'ancrage des fondations pour pouvoir évaluer l'interaction sol-fondation.

Etude de faisabilité :

Les structures porteuses des plots des ensembles 1 à 3 sont liées entre elles. En effet, on retrouve des poteaux métalliques qui servent de porteurs verticaux pour plusieurs plots à la fois. De même pour les poutres métalliques des planchers bas du RDC et les poutres en bois des charpentes qui se trouvent entre les jonctions des plots. Ces éléments sont fondamentaux à la stabilité des structures. C'est pour cette raison qu'il est possible de dissocier les plots entre eux et ainsi en moduler quelques uns mais dans la mesure où on garde les structures porteuses et qu'il y est une étude capacitaire derrière.

Sarah IKAMA
Ingénieure chargée d'affaires
Département Audit & Assistance Technique
QCS SERVICES

