



Contrôle vibratoire des planchers

Guide



Guideline_Floors_FR00.doc – 03.12.2008

Table des matières

Résumé	4
1. Introduction	5
1.1. Généralités	5
1.2. Domaine d'application	5
1.3. Références	6
1.4. Définitions	6
1.5. Variables, unités et symboles	9
2. Calcul de planchers vis-à-vis des vibrations	10
2.1. Procédure de dimensionnement	10
2.2. Méthodes de dimensionnement connexes	10
2.2.1. Méthode de calcul manuelle avec l'utilisation des mesures	10
2.2.2. Méthode de fonction de transfert	10
2.2.3. Superposition modale	11
3. Classification des vibrations	12
3.1. Quantité d'intérêt	12
3.2. Classes de planchers	12
4. Méthode de calcul manuelle	14
4.1. Détermination de fréquences propres et de masse modale	14
4.1.1. Méthode des éléments finis	14
4.1.2. Formules analytiques	15
4.2. Détermination de l'amortissement	15
4.3. Détermination de la classe du plancher	15
4.3.1. Systèmes avec plusieurs fréquences propres	16
4.4. Diagrammes OS-RMS ₉₀ pour l'oscillateur simple	17
A. Calcul des fréquences propres et de la masse modale des planchers et d'autres structures	26
A.1. Fréquence propre et masse modale des dalles isotropes	26
A.2. Fréquence propre et masse modale des poutres	28
A.3. Fréquence propre et masse modale des dalles orthotropes	28
A.4. Approche par le poids propre pour la fréquence propre	29
A.5. Méthode de Dunkerley pour la fréquence propre	30
A.6. Approximation de la masse modale	31
B. Exemples numériques	34
B.1. Dalle légère avec poutres cellulaires ACB mixtes (bâtiment de bureaux)	34
B.1.1. Description du plancher	34
B.1.2. Détermination des caractéristiques dynamiques du plancher	38
B.1.3. Evaluation	38
B.2. Bâtiment de bureaux à 3 niveaux	39
B.2.1. Description du plancher	39
B.2.2. Détermination des caractéristiques dynamiques du plancher	41
B.2.3. Evaluation	42

Résumé

Les planchers modernes, légers et/ou de grande portée, peuvent vibrer dans les conditions de service. Ce guide présente une méthode avec laquelle de tels planchers peuvent être facilement dimensionnés pour faire face à ces vibrations.

Le domaine d'utilisation de ce guide comprend les planchers du résidentiel et/ou du non-résidentiel qui pourraient vibrer sous l'effet d'usagers marchant normalement et ainsi nuire au confort d'autres usagers. Le but de ce guide de dimensionnement est d'aider à préciser les exigences de confort pour usagers et d'effectuer un dimensionnement qui est le garant du confort exigé.

Ce guide est accompagné d'un document de justification qui présente des voies alternatives et plus générales pour la détermination de la réponse vibratoire du plancher sous l'action des usagers.

Les méthodes théoriques, présentées ici et dans le document accompagnateur, ont été élaborées dans le cadre du projet FRCA « Vibrations of Floors ». Le guide et le document accompagnateur sont disséminés avec le financement partiel du Fonds de Recherche du Charbon et de l'Acier dans le cadre du projet « HiVoSS ».

Les indications pour la détermination des caractéristiques vibratoires du plancher et quelques exemples numériques sont donnés dans les annexes de ce document.

1. Introduction

1.1. Généralités

Les structures de planchers sont généralement dimensionnées aux Etats Limites Ultimes (ELU) ainsi qu'aux Etats Limites de Service (ELS) :

- Les Etats Limites Ultimes traitent de la stabilité et de la résistance,
- Les Etats Limites de Service font essentiellement référence aux vibrations et par conséquent dépendent des raideurs, des masses, de l'amortissement et des mécanismes d'excitation.

Pour les structures de planchers minces, comme celles en acier ou en mixte, les critères de Service sont prépondérants dans le dimensionnement.

Ce guide aborde les points suivant :

- Définition des vibrations acceptables par le biais de classe d'acceptabilité et,
- Evaluation de la réponse vibratoire du plancher aux actions d'origine humaine en fonction de l'utilisation prévue du bâtiment.

Plusieurs caractéristiques dynamiques du plancher sont nécessaires pour l'évaluation du comportement vibratoire. Ces caractéristiques et les méthodes simplifiées pour leur détermination, sont brièvement abordées dans l'annexe A. L'annexe B reprend des exemples de calcul.

1.2. Domaine d'application

Ce guide propose des méthodes et des recommandations simples pour la détermination de l'acceptabilité des vibrations provoquées par des personnes lors d'une utilisation normale. Les mesures réelles effectuées sur site après construction pourraient différer des valeurs évaluées sans, pour autant, que ces dernières puissent être remises en cause. Les méthodes de calcul des vibrations de plancher font référence aux vibrations de résonance d'origine humaine, provoquées par la marche de personnes lors d'une utilisation normale du plancher du bâtiment. Les vibrations provoquées par des machines ou celles provenant d'un trafic de véhicule, ou autre, ne seront pas traitées dans ce guide.

De même, ce guide ne peut pas être utilisé dans le cas de passerelles pour piétons ou toute autre structure n'ayant pas de caractéristiques structurelles ou d'utilisation similaires aux planchers de bâtiment.

Ce guide se concentre sur la prévision et l'évaluation de vibrations au niveau du dimensionnement.

1.3. Références

- [1] European Commission – Technical Steel Research: *Generalisation of criteria for floor vibrations for industrial, office, residential and public building and gymnastic halls*, RFCS Report EUR 21972 EN, ISBN 92-79-01705-5, 2006, <http://europa.eu.int>
- [2] Hugo Bachmann, Walter Ammann. *Vibration of Structures induced by Man and Machines* IABSE-AIPC-IVBH, Zürich 1987, ISBN 3-85748-052-X
- [3] Waarts, P. *Trillingen van vloeren door lopen: Richtlijn voor het voorspellen, meten en beoordelen*. SBR, September 2005.
- [4] Smith, A.L., Hicks, S.J., Devine, P.J. *Design of Floors for Vibrations: A New Approach*. SCI Publication P354, Ascot, 2007.
- [5] ISO 2631. *Mechanical Vibration and Shock, Evaluation of human exposure to whole-body vibration*. International Organization for Standardization.
- [6] ISO 10371. *Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibrations*. International Organization for Standardization.

1.4. Définitions

Les définitions ici présentes sont applicables uniquement dans le contexte de ce guide.

Amortissement D	<p>L'amortissement est la dissipation d'énergie d'un système vibrant. L'amortissement total consiste en :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'amortissement dû aux matériaux et à la structure, • L'amortissement dû au mobilier et aux finitions (p.ex. faux-plafond), • La redistribution de l'énergie dans l'ensemble du bâtiment.
-------------------	---

<p>Masse modale M_{mod} = Masse généralisée</p>	<p>Dans de nombreux cas, chaque mode d'un système comportant plusieurs degrés de liberté peut être assimilé à un système à un seul degré de liberté :</p> $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K_{mod}}{M_{mod}}}$ <p>où : f est la fréquence propre du mode considéré, K_{mod} est la raideur modale, M_{mod} est la masse modale.</p> <p>La masse modale peut donc être interprétée comme la masse activée dans un mode vibratoire spécifique.</p>
<p>Fréquence propre f</p>	<p>Chaque structure a son propre comportement dynamique face à la forme et la durée $T[s]$ d'une seule oscillation. La fréquence f est l'inverse du temps d'oscillation ou période T ($f=1/T$).</p> <p>La fréquence propre est la fréquence d'un système libre pouvant osciller sans excitation extérieure continue.</p> <p>Toutes les structures ont autant de fréquences propres et de modes vibratoires (formes d'oscillation) associés que de degrés de liberté. Elles se distinguent généralement par les différents niveaux d'énergie (harmonies) créés par l'oscillation. La première fréquence propre est celle qui correspond au niveau d'énergie le plus bas. C'est donc celle qui sera activée de préférence en premier.</p> <p>L'équation de la fréquence propre d'un système libre à un degré de liberté est :</p> $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$ <p>où : K est la raideur, M est la masse.</p>

<i>OS-RMS₉₀</i>	<p>« <i>OS-RMS₉₀</i> » – valeur efficace de l'accélération sous l'effet de la marche d'une personne, couvrant 90% de personnes marchant normalement.</p> <p><i>OS</i> : « One Step » = pas unique</p> <p><i>RMS</i> : « Root mean square » = valeur efficace de l'accélération <i>a</i> :</p> $a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a(t)^2 dt} \approx \frac{a_{peak}}{\sqrt{2}}$ <p>où : <i>T</i> est la période étudiée.</p>
----------------------------	---

1.5. Variables, unités et symboles

a	Accélération	[m/s ²]
B	Largeur	[m]
f, f_i	Fréquence propre considérée	[Hz]
$\delta(x,y)$	Flèche au point avec les coordonnées x,y	[m]
D	Amortissement (% de l'amortissement critique)	[-]
D_1	Amortissement dû à la structure	[-]
D_2	Amortissement dû au mobilier	[-]
D_3	Amortissement dû aux finitions	[-]
l	Longueur	[m]
K, k	Rigidité, raideur	[N/m]
M_{mod}	Masse modale	[kg]
M_{total}	Masse totale	[kg]
$OS-RMS$	Valeur efficace de l'accélération sous l'effet de la marche d'une personne marchant normalement	[-]
$OS-RMS_{90}$	Fractile 90 % des valeurs $OS-RMS$	[-]
T	Période (de vibration)	[s]
t	Temps	[s]
p	Charge répartie (par unité de longueur ou unité de surface)	[kN/m] ou [kN/m ²]
δ	Flèche	[m]
μ	Distribution de la masse par unité de longueur ou unité de surface)	[kg/m] ou [kg/m ²]

2. Calcul de planchers vis-à-vis des vibrations

2.1. Procédure de dimensionnement

La procédure de dimensionnement décrite dans ce guide est une procédure simplifiée à trois pas qui sert pour la vérification d'un projet de plancher vis-à-vis de vibrations sous l'action des usagers :

1. D'abord, on détermine les caractéristiques du plancher de base.
2. En utilisant ces caractéristiques et une série de diagrammes on peut obtenir le fractile 90 % de la valeur efficace de l'accélération sous l'effet de la marche d'une personne marchant normalement, ce qui caractérise la réponse du plancher sous l'action des usagers.
3. Cette valeur est ensuite comparée aux valeurs recommandées pour les différentes utilisations du plancher.

Ces trois pas sont visibles à la Figure 1. Cette procédure est assimilée à une méthode simplifiée de calcul manuelle qui est traitée dans le chapitre 4.

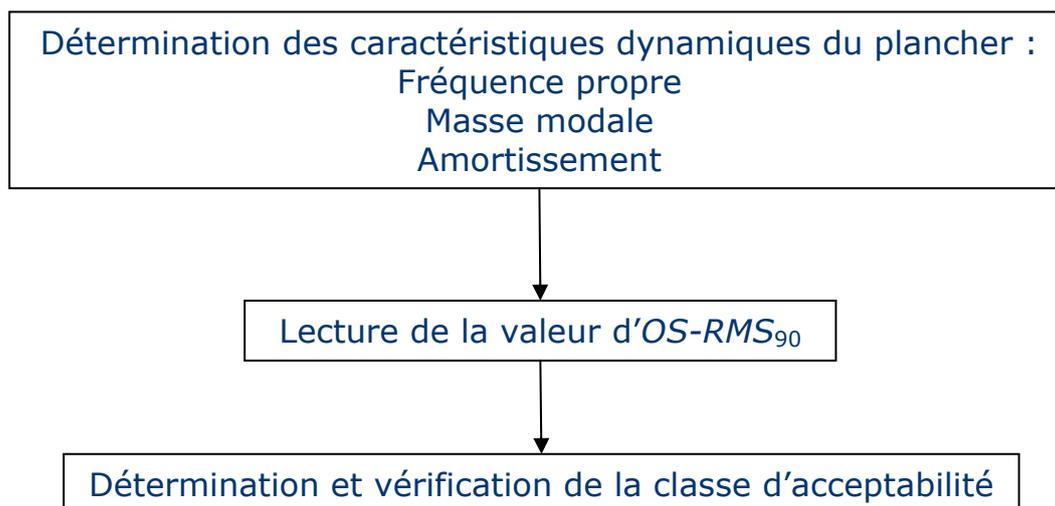


Figure 1 : Procédure de dimensionnement

2.2. Méthodes de dimensionnement connexes

2.2.1. Méthode de calcul manuelle avec l'utilisation des mesures

La méthode de calcul manuelle peut être utilisée aussi dans les cas où les caractéristiques du plancher ont été déterminées par essais. Pour la détermination des caractéristiques vibratoires du plancher à partir d'essais, voir les références [1] et [3].

2.2.2. Méthode de fonction de transfert

Dans la méthode de fonction de transfert, au lieu d'utiliser les paramètres modaux tels que masse, raideur et amortissement modaux, les caractéristi-

ques du plancher sont décrites en termes d'une fonction de réponse de fréquences ou fonction de transfert. En partant d'une description statistique de charges dues aux usagers, une analyse probabiliste est effectuée pour déterminer la valeur d' $OS-RMS_{90}$ du plancher. La méthode est décrite plus dans le détail dans les références [1] et [3].

Pour la méthode de calcul manuelle qui est une version simplifiée de la méthode de fonction de transfert, on utilise la fonction de transfert classique pour un oscillateur simple amorti et on effectue en avant l'analyse probabiliste pour obtenir la valeur d' $OS-RMS_{90}$.

La méthode de fonction de transfert peut être appliquée dans les cas où la réponse de plancher est obtenue par des calculs aux éléments finis ou par des mesures. On utilise alors le jeu de critères d'acceptation décrit dans ce guide.

2.2.3. Superposition modale

Deux méthodes d'analyse basées sur la superposition modale sont présentées dans un guide publié par le Steel Construction Institute [4].

La méthode générale consiste en deux pas : on utilise d'abord un logiciel aux éléments finis pour déterminer les caractéristiques modales du plancher pour un certain nombre de modes et ensuite on applique au plancher des charges dues aux usagers pour déterminer la réponse du plancher en terme d'accélération.

La méthode simplifiée est basée sur une étude paramétrique utilisant une approche générale et est présentée sous forme de formules analytiques. Contrairement à la méthode de calcul manuelle, l'approche utilisée pour la méthode de superposition modale est déterministe et les résultats sont directement comparables aux limites fournies par les normes internationales dans les références [5] et [6]. Cette méthode permet aussi de faire la distinction entre la personne qui marche et provoque les vibrations et celle qui les subit, ce qui permet de déterminer l'isolation des aires critiques telles que salles chirurgicales. Des informations approfondies sur cette approche sont données dans le document accompagnateur.

3. Classification des vibrations

3.1. Quantité d'intérêt

La perception des vibrations par les personnes et le sentiment individuel de gêne associé dépendent de plusieurs aspects. Les plus importants sont :

- La direction de la vibration, même si dans ce guide la vibration verticale est uniquement considérée,
- La position des personnes : être debout, allongé ou assis ;
- L'activité dans laquelle la personne se trouve est importante pour sa perception des vibrations ; une personne travaillant dans une usine de production perçoit différemment les vibrations que celle assise dans un bureau,
- L'âge et l'état de santé des personnes affectées sont aussi des facteurs importants conditionnant le sentiment de gêne causé par les vibrations.

La perception des vibrations est donc un problème individuel qui ne peut être décrit que d'une façon qui répond aux attentes de confort de la majorité.

Il est à noter que ce guide se penche uniquement sur les vibrations qui touchent au confort des occupants et non à l'intégrité de la structure.

Afin d'obtenir une procédure de vérification universelle pour les vibrations d'origine humaine, il est recommandé d'adopter comme mesure la valeur dite *OS-RMS*. Cette valeur correspond à l'oscillation harmonique causée par un pas de référence sur le plancher.

Comme l'effet dynamique de la marche sur un plancher dépend de certaines conditions comme, par exemple, le poids de la personne, la vitesse de la marche, le type de chaussures, du revêtement, etc., il est recommandé de prendre comme valeur de référence 90% d'*OS-RMS* (*OS RMS₉₀*). L'indice 90 indique que 90 pour cent de toutes les valeurs *OS-RMS* sont couvertes par cette valeur.

3.2. Classes de planchers

Le Tableau 1 répartit les vibrations dans différentes classes (de A à F), en donnant des recommandations selon l'utilisation du plancher.

Tableau 1 : Classification des planchers et recommandations en fonction de leur utilisation

Classe	OS-RMS ₉₀		Utilisation du plancher										
	Limite inférieure	Limite supérieure	Endroit sensible	Santé	Education	Résidentiel	Bureau	Réunion	Commerce	Hôtel	Prison	Industriel	Sport
A	0,0	0,1	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé
B	0,1	0,2	Critique	Recommandé	Recommandé	Recommandé							
C	0,2	0,8	Non recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé
D	0,8	3,2	Non recommandé	Critique	Critique	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé	Recommandé
E	3,2	12,8	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Critique	Critique	Critique	Critique	Critique	Critique	Critique	Critique
F	12,8	51,2	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Non recommandé	Critique	Critique

	Recommandé
	Critique
	Non recommandé

Les limitations concernant les vibrations sont aussi données dans la norme internationale ISO 10137 [6], référencée dans les Eurocodes. Ces limitations sont reproduites par le Tableau 2, avec les limites d'OS-RMS₉₀ équivalentes.

Tableau 2 : Limites de vibrations précisées dans l'ISO 10137 pour les vibrations continues

Endroit	Temps	Facteur multiplicateur	OS-RMS ₉₀ équivalente
Espaces de travail critiques (p.ex. salle d'interventions chirurgicales, laboratoires précis, etc.)	Jour	1	0,1
	Nuit	1	0,1
Résidentiel (p.ex. appartements, maisons, hôpitaux)	Jour	2 à 4	0,2 à 0,4
	Nuit	1,4	0,14
Bureau calme, open space	Jour	2	0,2
	Nuit	2	0,2
Bureau généralisés (p.ex. écoles, bureaux)	Jour	4	0,4
	Nuit	4	0,4
Ateliers	Jour	8	0,8
	Nuit	8	0,8

Il est considéré que ces dernières sont inutilement sévères et les mesures dans de nombreux cas ont montré que les limites du Tableau 1 sont plus appropriées (voir [1]).

4. Méthode de calcul manuelle

La méthode de calcul manuelle est basée sur l'hypothèse que la réponse dynamique d'un plancher peut être représentée par un oscillateur simple. La fréquence propre, la masse modale et l'amortissement peuvent être obtenus au préalable, par le calcul, comme exposé dans ce chapitre. Il a été dit précédemment, dans la section 2.2.1, que ces paramètres modaux peuvent être obtenus aussi à partir de mesures. Comme ce guide est destiné au dimensionnement des bâtiments neufs, les procédures d'essais n'y figurent pas.

4.1. Détermination de fréquences propres et de masse modale

En pratique, les caractéristiques des planchers peuvent être déterminées soit par un simple calcul (formules analytiques) soit par la méthode des éléments finis (EF).

Pour le calcul des caractéristiques dynamiques du plancher, il est fortement conseillé d'ajouter une fraction réaliste des charges d'exploitation à la masse même du plancher. Suivant l'expérience dans les bâtiments résidentiels et non résidentiels, les valeurs vont de 10 % à 20 % des charges d'exploitation. Pour les planchers très légers, il est recommandé de prendre aussi en considération la masse d'une personne. La masse minimale représentative recommandée est de 30 kg.

4.1.1. Méthode des éléments finis

Sur le marché existent divers logiciels aux éléments finis avec lesquels il est possible d'effectuer les calculs dynamiques et de déterminer les fréquences propres. La masse modale peut aussi être obtenue suite à ce calcul des fréquences propres.

Etant donné que les éléments finis choisis et la modélisation de l'amortissement peuvent différer d'un logiciel à un autre, quelques informations générales peuvent seulement être données dans ce guide à ce sujet.

Si un logiciel aux éléments finis est utilisé pour le calcul des vibrations, il est à noter que le modèle aux éléments finis pour les calculs dynamiques pourrait être très différent de celui pour les calculs aux États Limites, car seules les petites déformations sont engendrées par les vibrations.

Un exemple typique est la différence des conditions d'appuis utilisées pour un calcul dynamique par rapport à celles utilisées pour un calcul aux ELU. Un appui peut être simple aux ELU alors qu'il peut être considéré comme encasturé lors d'un calcul dynamique.

Le module d'élasticité dynamique du béton devrait être augmenté de 10 % par rapport au module sécant statique E_{cm} .

4.1.2. Formules analytiques

Les fréquences et les masses modales des plaques isotropes et orthotropes ainsi que celles des poutres peuvent être calculées à la main par les formules contenues dans l'annexe A.

4.2. Détermination de l'amortissement

L'amortissement a une influence importante sur le comportement vibratoire du plancher. La valeur de l'amortissement d'un système en vibration peut être calculée indépendamment des fréquences et des masses modales, en considérant les valeurs données dans le Tableau 3. Ces valeurs prennent en compte l'influence de l'amortissement de la structure en fonction des différents matériaux, de l'amortissement dû au mobilier et celui dû aux finitions. L'amortissement D est obtenu par l'addition des valeurs appropriées de D_1 à D_3 .

Tableau 3 : Calcul de l'amortissement

Type	Amortissement (% de l'amortissement critique)
Amortissement de la structure D_1	
Bois	6%
Béton	2%
Acier	1%
Mixte acier-béton	1%
Amortissement du mobilier D_2	
Bureaux avec cloisons de 1 à 3 personnes	2%
Bureaux sans armoires ni étagères	0%
Bureaux ouvert "open space".	1%
Librairies	1%
Résidentiel	1%
Ecoles	0%
Salles de sport	0%
Amortissement des finitions D_3	
Faux-plafond	1%
Faux-plancher	0%
Chape flottante	1%
Amortissement total $D = D_1 + D_2 + D_3$	

4.3. Détermination de la classe du plancher

Lorsque la masse modale et la fréquence propre sont connues, la valeur de l' $OS-RMS_{90}$ et la classe d'acceptabilité du plancher peuvent être déterminées grâce aux diagrammes donnés à la section 4.4, pour l'oscillateur simple. Le choix du diagramme dépend de la valeur de l'amortissement du plancher en condition réelle d'utilisation (finitions et mobilier compris).

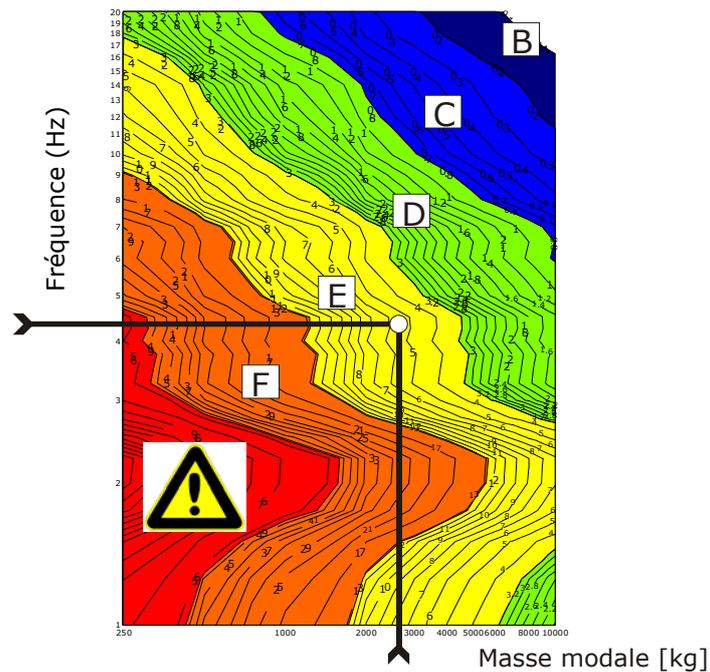


Figure 2 : Principe d'application des diagrammes

Le diagramme s'utilise en repérant la masse modale sur l'axe des abscisses ainsi que la fréquence propre correspondante sur l'axe des ordonnées. La valeur $OS-RMS_{90}$ et la classe d'acceptabilité sont directement lues à l'intersection des deux droites (voir Figure 2).



: signifie une zone en dehors du domaine tolérable

4.3.1. Systèmes avec plusieurs fréquences propres

Dans certains cas, la réponse du plancher peut être caractérisée par plus d'une fréquence propre. Dans de tels cas, la valeur d' $OS-RMS_{90}$ doit être déterminée comme une combinaison de valeurs d' $OS-RMS_{90}$ obtenues pour chaque mode de vibration. Le procédé est le suivant :

- Déterminer les fréquences propres.
- Déterminer la masse modale et l'amortissement correspondant à chaque fréquence propre.
- Déterminer la valeur d' $OS-RMS_{90}$ qui correspond à chaque fréquence propre.
- Approximer la valeur totale (ou combinée) d' $OS-RMS_{90}$ en utilisant :

$$OS - RMS_{90} = \sqrt{\sum_i OS - RMS_{90;i}^2} .$$
- Relever la classe de plancher correspondante du Tableau 1.

4.4. Diagrammes OS-RMS₉₀ pour l'oscillateur simple

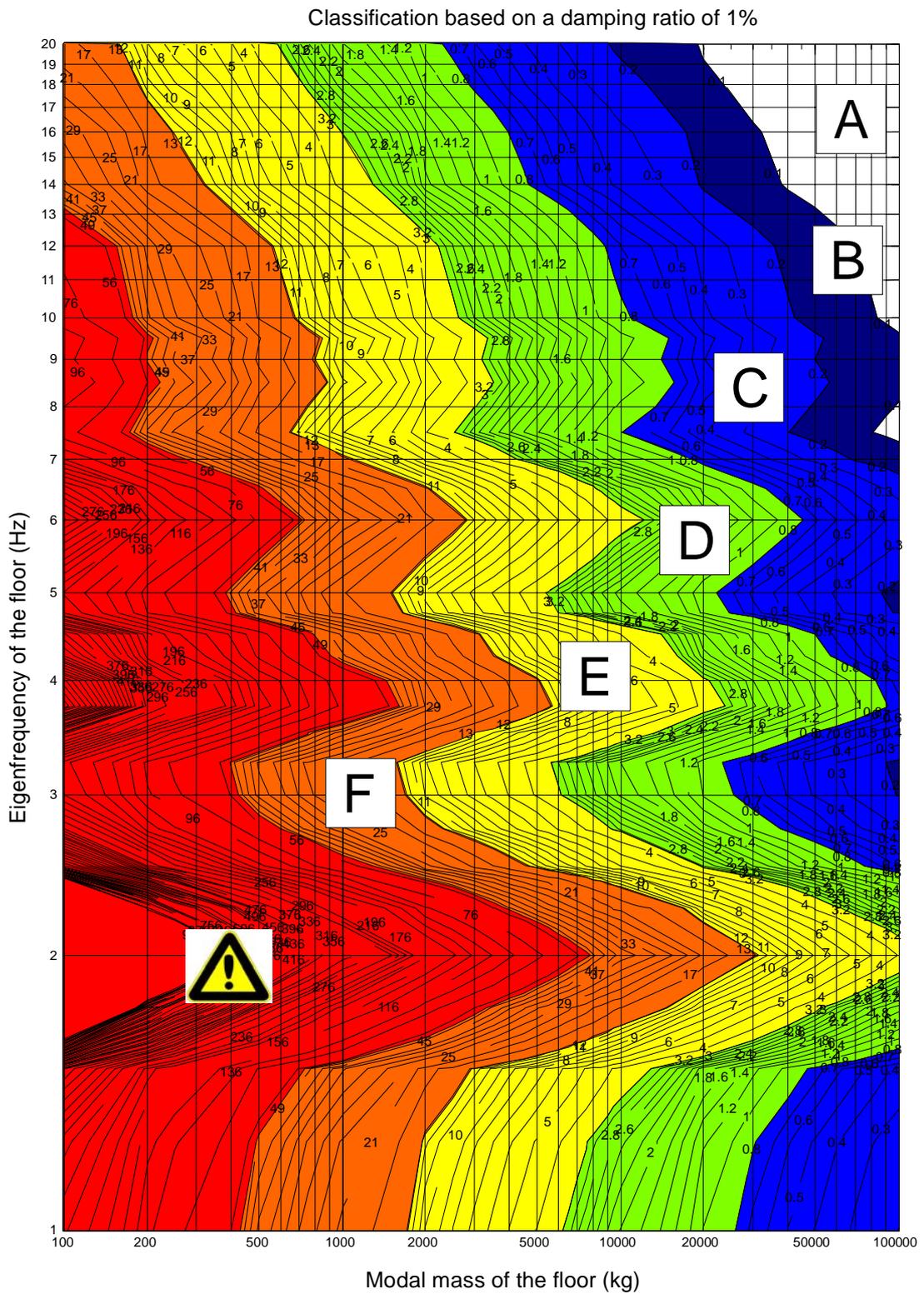


Figure 3 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 1 %

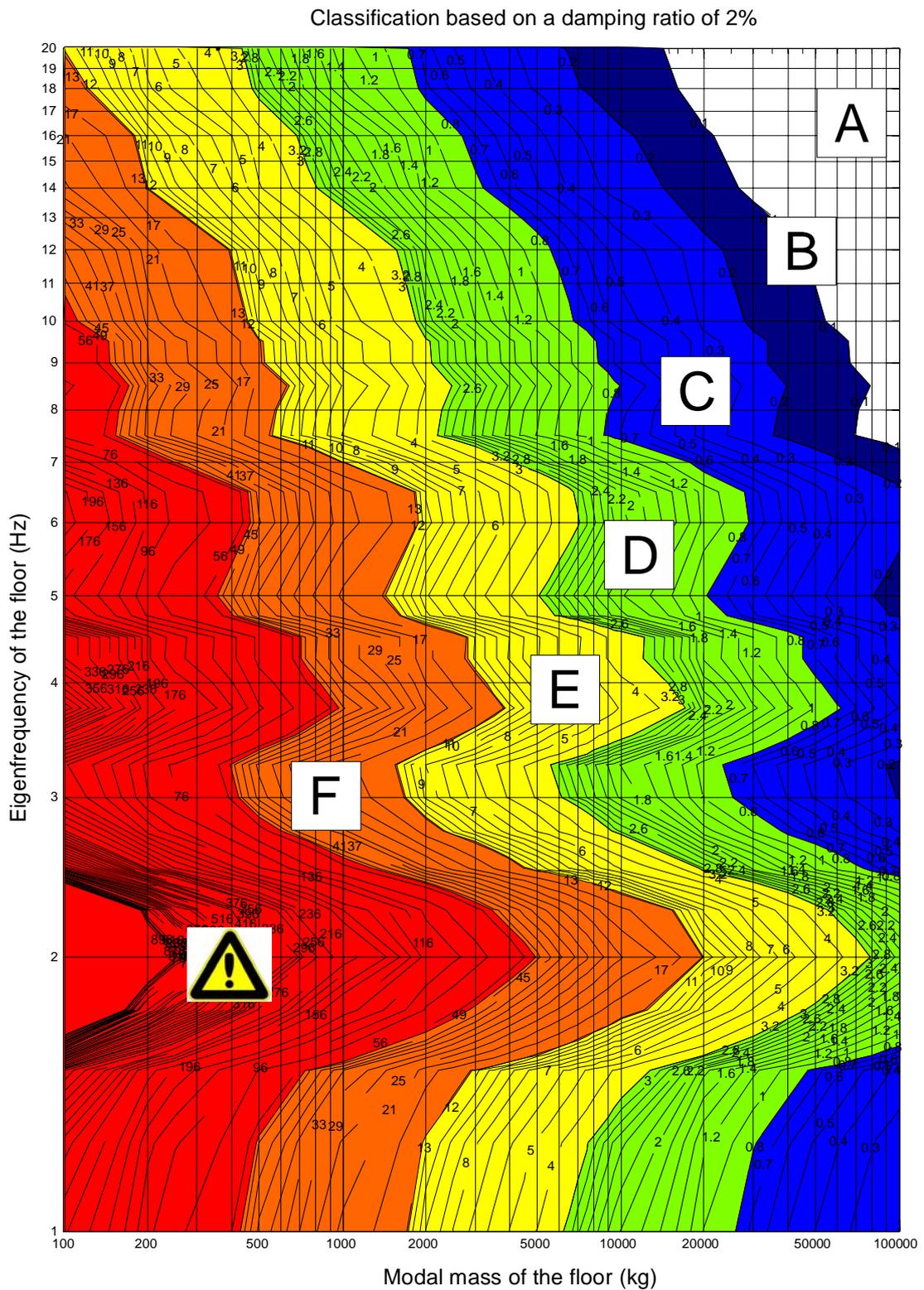


Figure 4 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 2 %

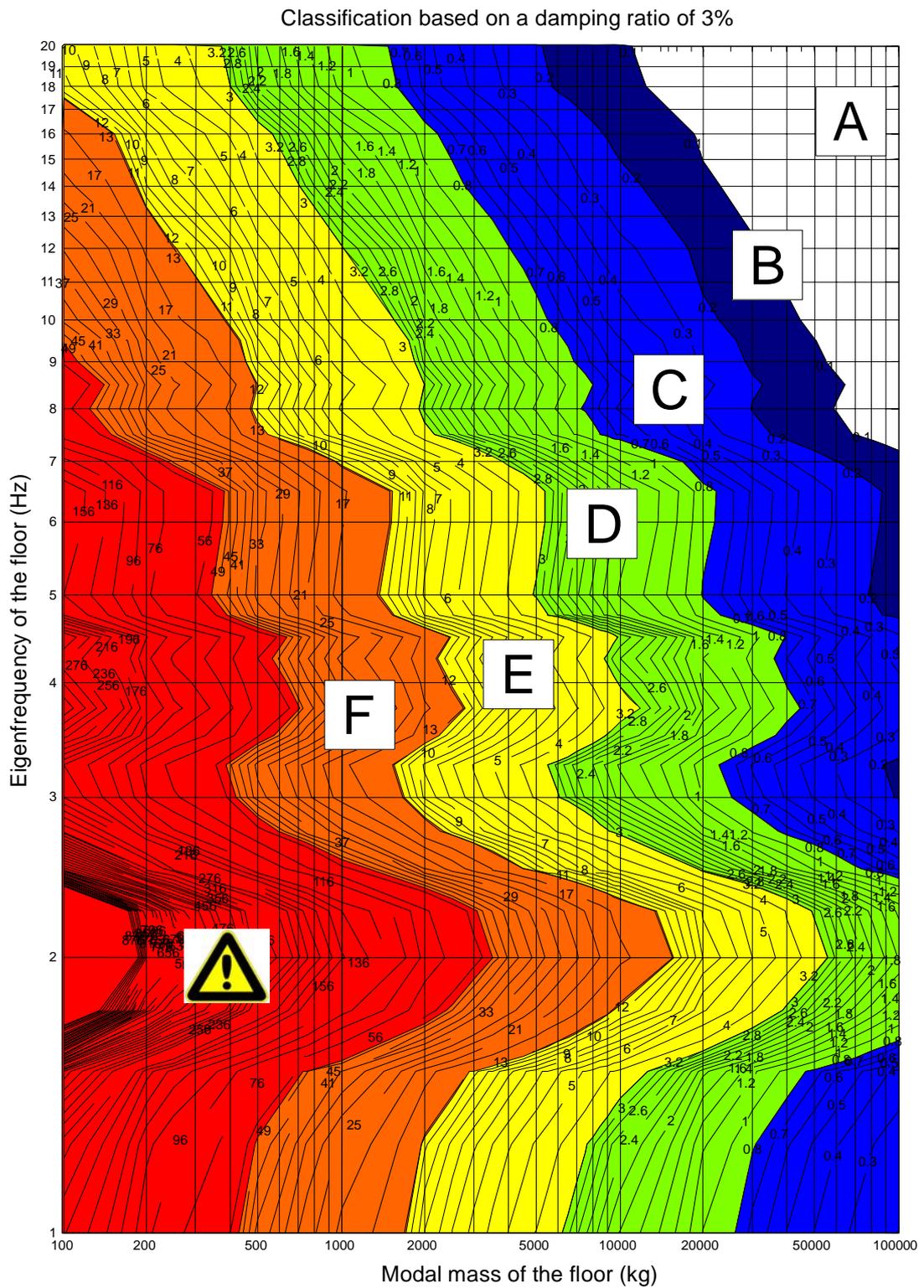


Figure 5 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 3 %

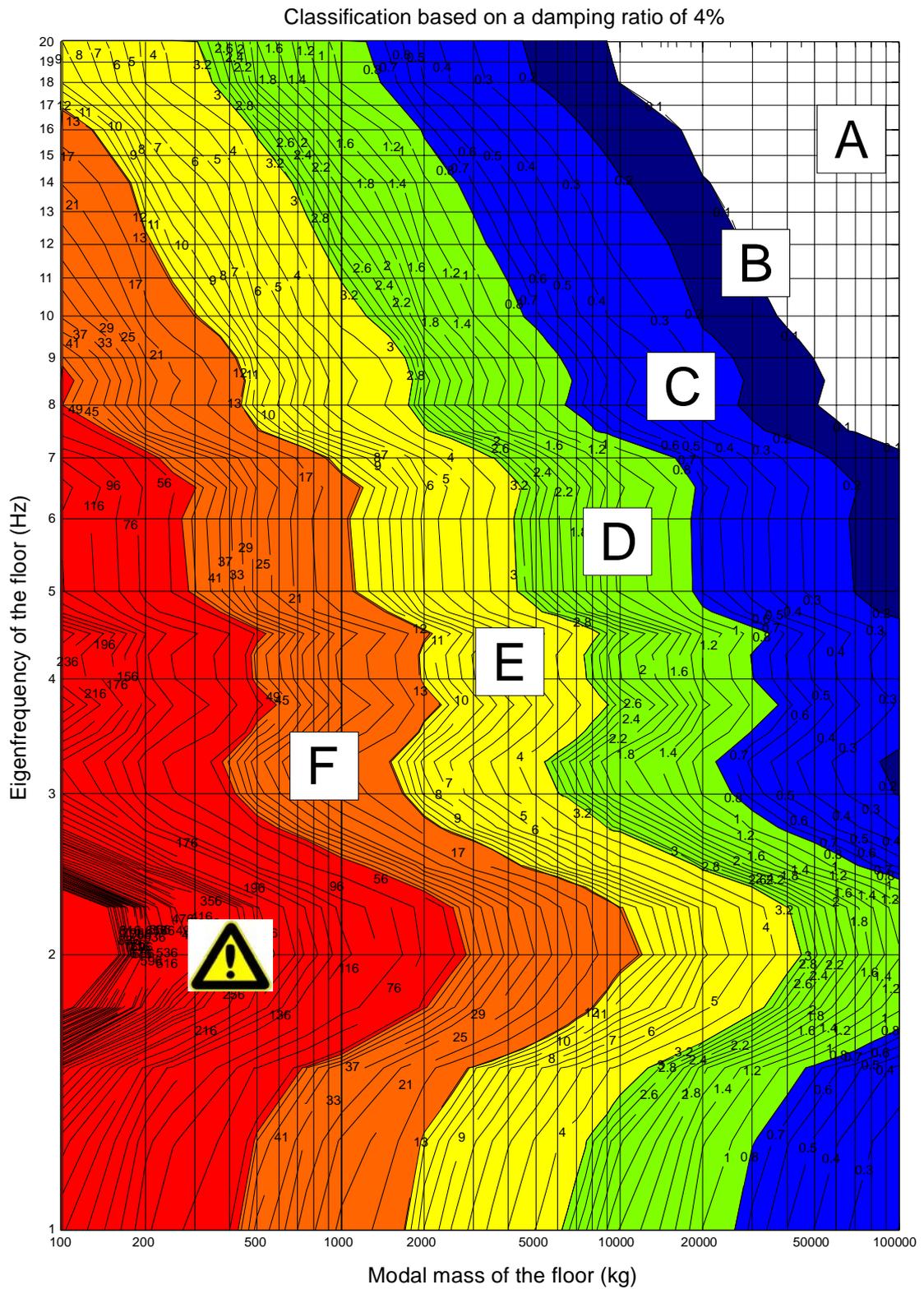


Figure 6 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 4 %

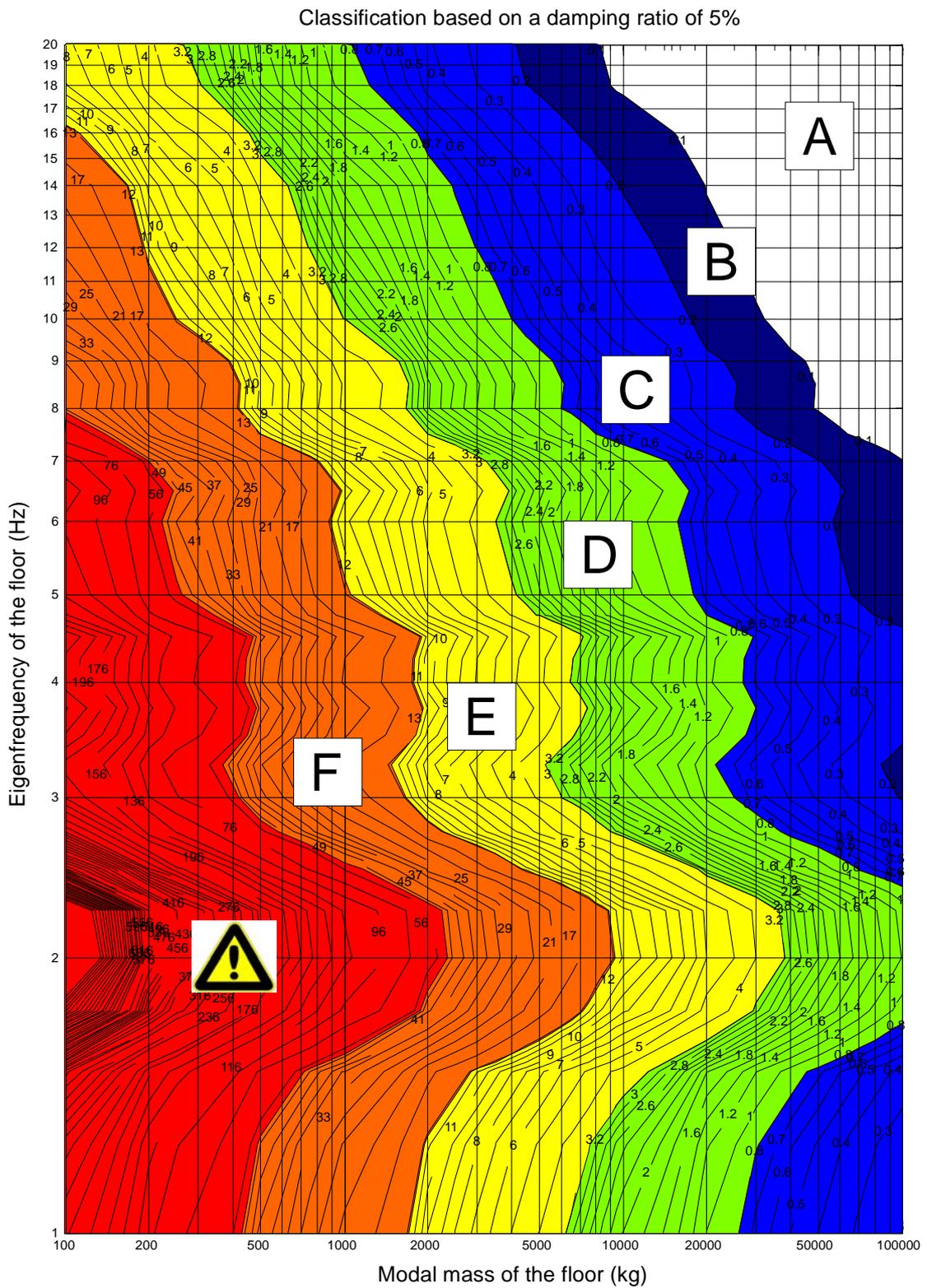


Figure 7 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 5 %

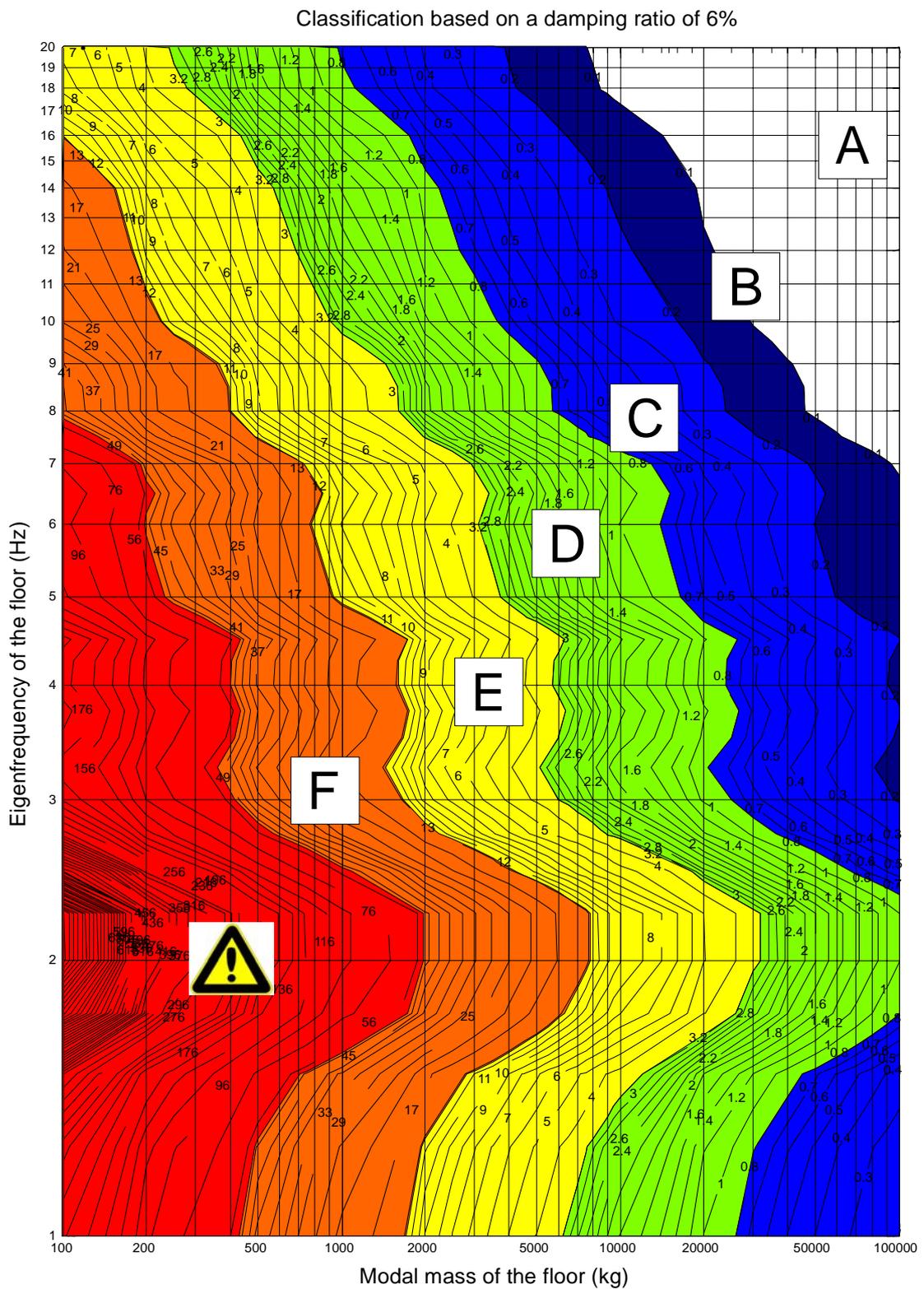


Figure 8 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 6 %

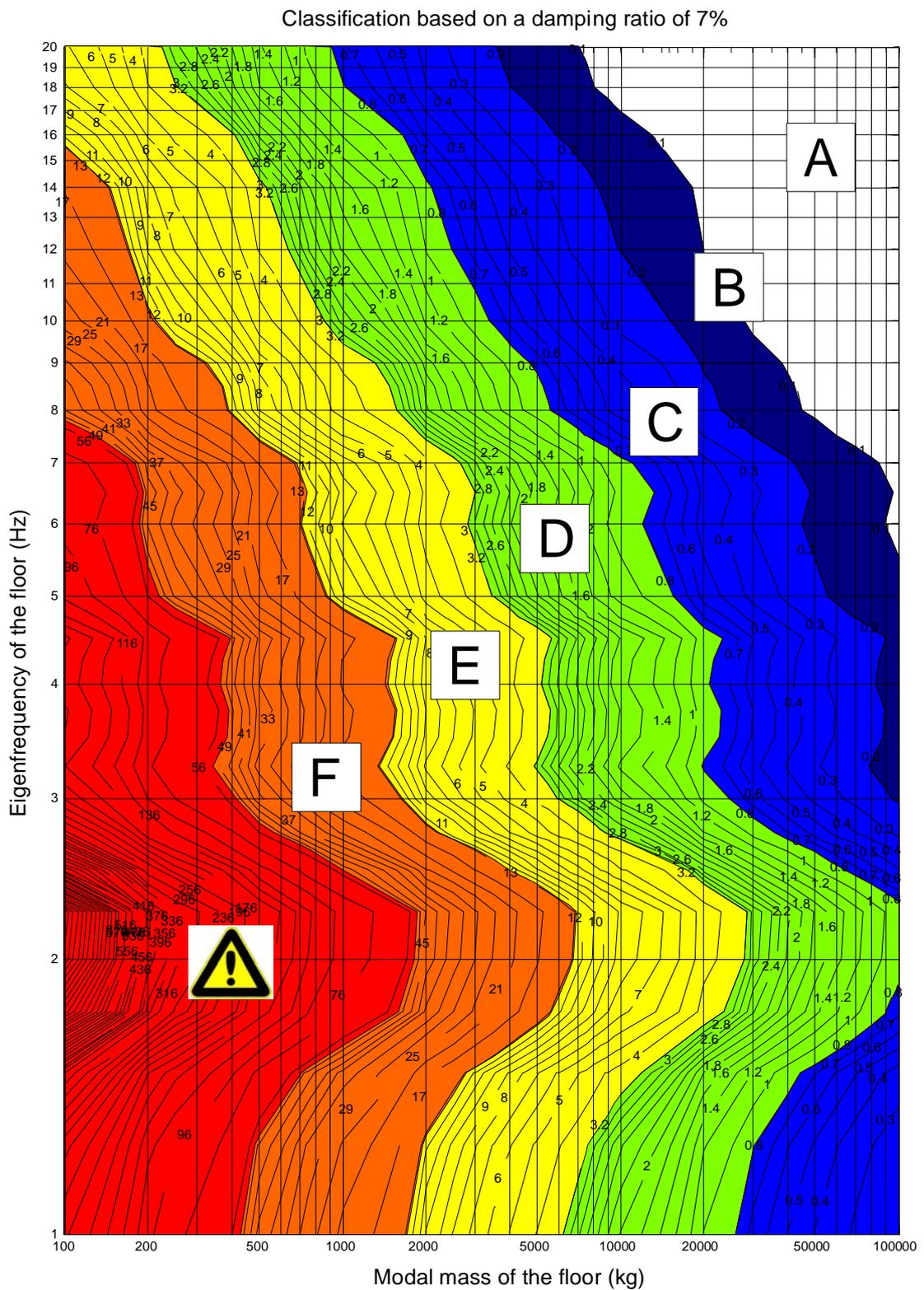


Figure 9 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 7 %

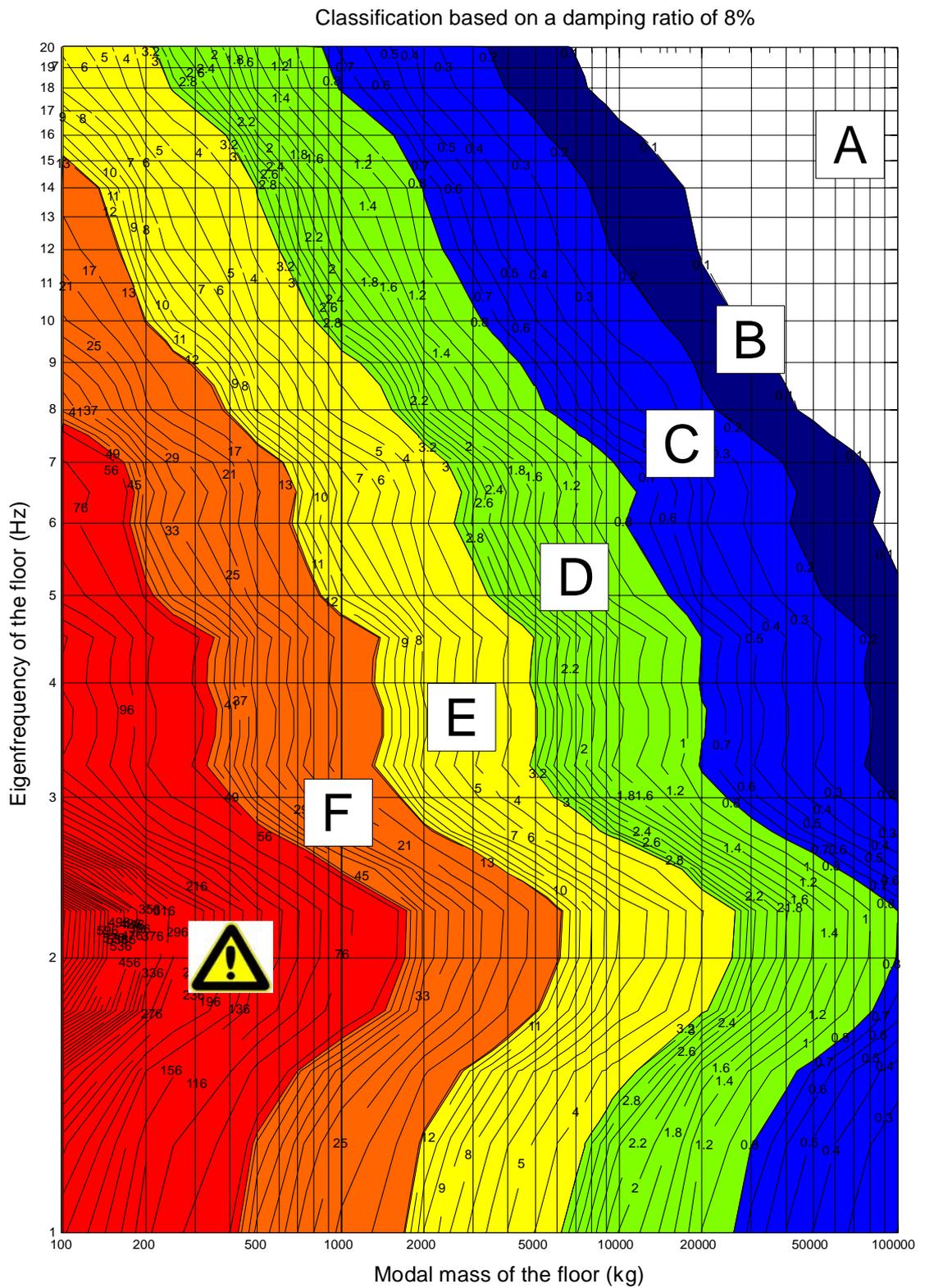


Figure 10 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 8 %

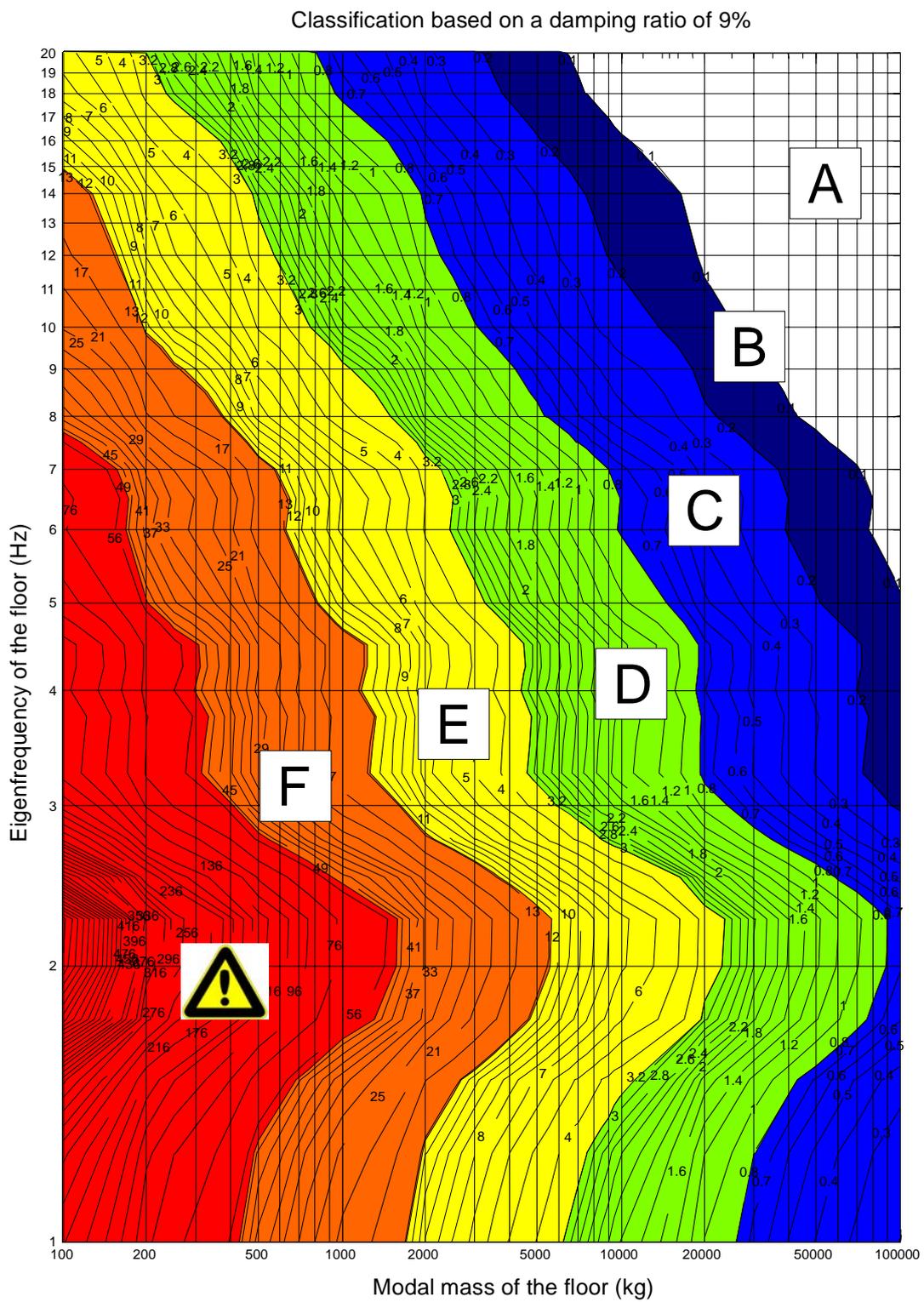


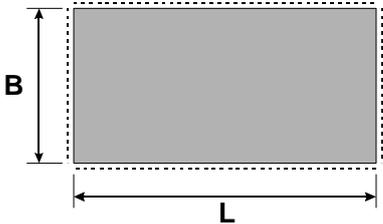
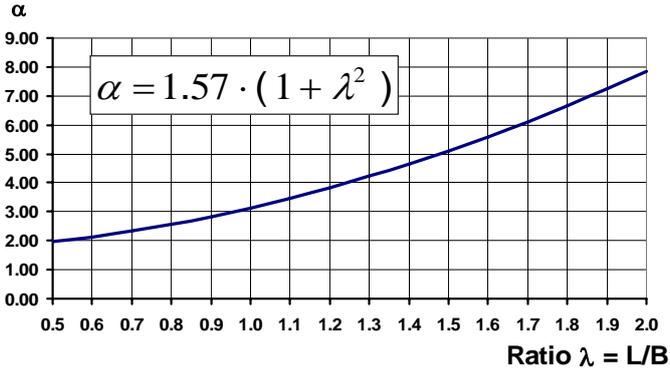
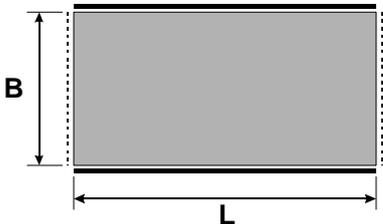
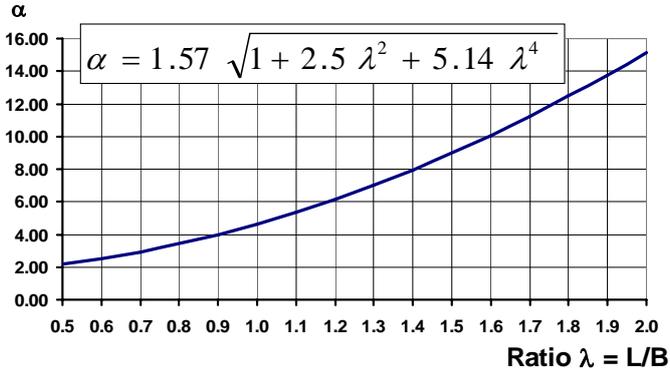
Figure 11 : OS-RMS₉₀ pour un amortissement de 9 %

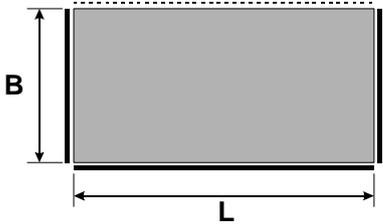
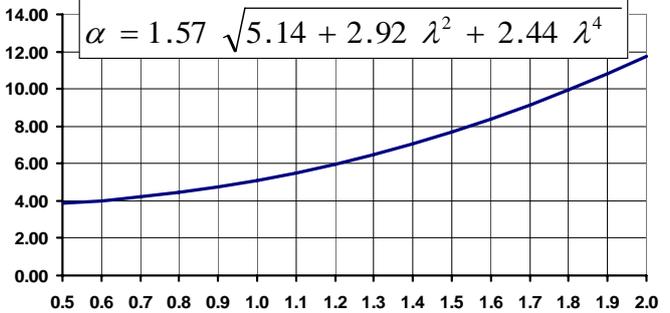
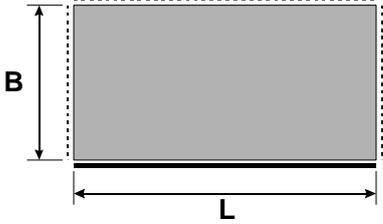
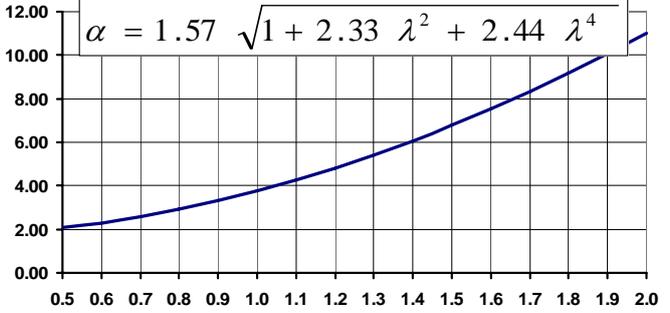
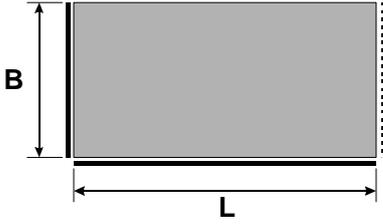
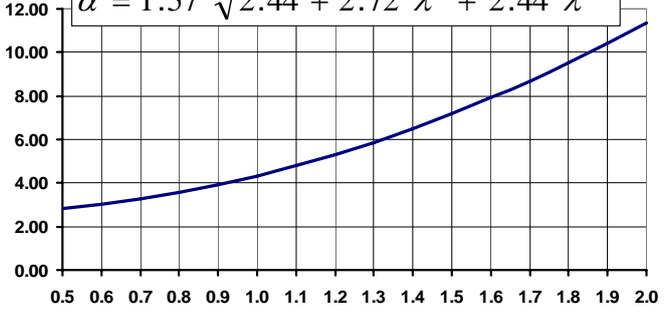
A. Calcul des fréquences propres et de la masse modale des planchers et d'autres structures

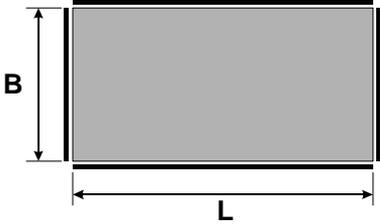
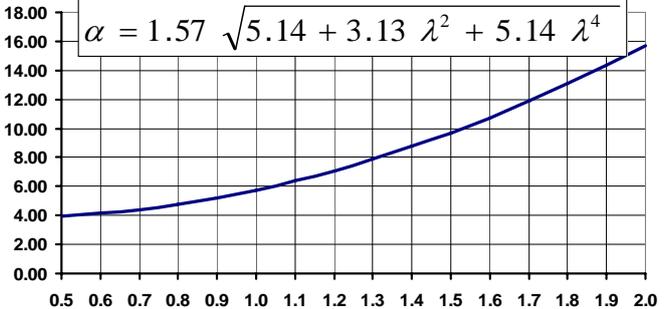
A.1. Fréquence propre et masse modale des dalles isotropes

Les tableaux ci-après permettent le calcul manuel de la première fréquence propre (selon [2]) et de la masse modale de dalles pour différentes conditions d'appuis.

Les équations prennent pour hypothèses qu'il n'y a pas de déformation latérale sur le pourtour des dalles.

<p>Condition aux appuis :</p> <p> encastrement  rotulé</p>	<p>Fréquence propre ; Masse modale</p> $f = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{E t^3}{12 \cdot \mu (1 - \nu^2)}} ; M_{\text{mod}} = \beta \cdot M_{\text{tot}}$
	<p>E Module d'élasticité en N/m²</p> <p>t Epaisseur de la dalle en m</p> <p>μ Masse surfacique du plancher incluant les finitions et le mobilier en kg/m²</p> <p>ν Coefficient de Poisson</p> <p>M_{tot} Masse totale du plancher incluant les finitions et une partie représentative des charges variables en kg</p>
	 <p style="text-align: center;">$\beta \approx 0,25$ pour tout λ</p>
	 <p style="text-align: center;">$\beta \approx 0,20$ pour tout λ</p>

<p>Condition aux appuis :</p> <p>▬▬▬ encastré ▬▬▬ rotulé</p>	<p>Fréquence propre ; Masse modale</p> $f = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{E t^3}{12 \cdot \mu (1 - \nu^2)}} ; M_{\text{mod}} = \beta \cdot M_{\text{tot}}$
	<p>α</p>  <p>$\alpha = 1.57 \sqrt{5.14 + 2.92 \lambda^2 + 2.44 \lambda^4}$</p> <p>Ratio $\lambda = L/B$</p> <p>$\beta \approx 0,18$ pour tout λ</p>
	<p>α</p>  <p>$\alpha = 1.57 \sqrt{1 + 2.33 \lambda^2 + 2.44 \lambda^4}$</p> <p>Ratio $\lambda = L/B$</p> <p>$\beta \approx 0,22$ pour tout λ</p>
	<p>α</p>  <p>$\alpha = 1.57 \sqrt{2.44 + 2.72 \lambda^2 + 2.44 \lambda^4}$</p> <p>Ratio $\lambda = L/B$</p> <p>$\beta \approx 0,21$ pour tout λ</p>

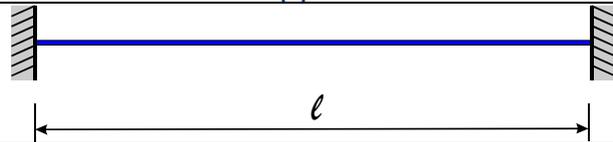
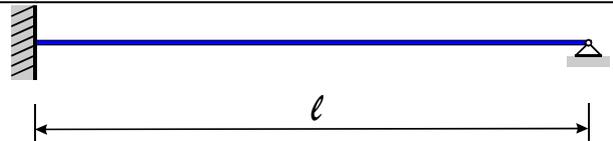
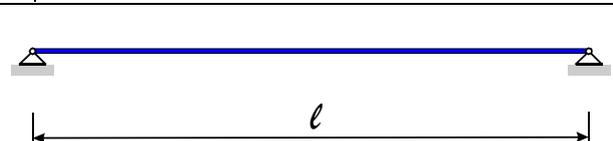
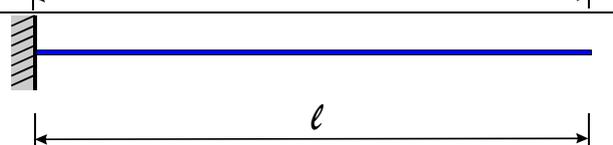
<p>Condition aux appuis :</p> <p> encastré  rotulé</p>	<p>Fréquence propre ; Masse modale</p> $f = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{E t^3}{12 \cdot \mu (1 - \nu^2)}} ; M_{\text{mod}} = \beta \cdot M_{\text{tot}}$
	<p>α</p>  <p>$\alpha = 1.57 \sqrt{5.14 + 3.13 \lambda^2 + 5.14 \lambda^4}$</p> <p>Ratio $\lambda = L/B$</p> <p>$\beta \approx 0,17$ pour tout λ</p>

A.2. Fréquence propre et masse modale des poutres

La première fréquence propre d’une poutre peut être calculée suivant les formules pour différentes conditions d’appuis du Tableau 4 :

- E Module d’élasticité [N/m²]
- I Moment d’inertie [m⁴]
- μ Masse surfacique m du plancher multipliée par la largeur [kg/m]
- ℓ Longueur de la poutre

Tableau 4 : Calcul de la première fréquence propre des poutres

Conditions aux appuis	Fréquence propre	Masse modale
	$f = \frac{4}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0,37 \mu \ell^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,41 \mu \ell$
	$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0,2 \mu \ell^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,45 \mu \ell$
	$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0,49 \mu \ell^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,50 \mu \ell$
	$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0,24 \mu \ell^4}}$	$M_{\text{mod}} = 0,64 \mu \ell$

A.3. Fréquence propre et masse modale des dalles orthotropes

Les planchers orthotropes, comme par exemple les planchers mixtes avec des poutres composées dans la direction longitudinale et la dalle seule dans

la transversale, ont des raideurs différentes suivant la longueur ou suivant la largeur ($E_x I_x > E_y I_y$, voir Figure 12 ci-dessous).

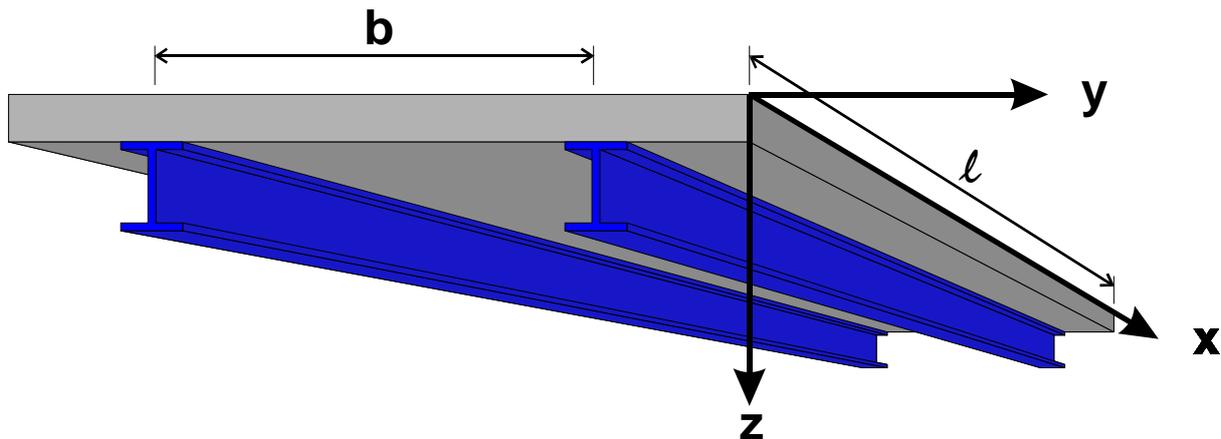


Figure 12 : Dimensions et axes d'une dalle orthotrope

La première fréquence propre d'une dalle orthotrope simplement appuyée sur les quatre côtés est :

$$f_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{E_y I_y}{\mu l^4}} \sqrt{1 + \left[2 \left(\frac{b}{l} \right)^2 + \left(\frac{b}{l} \right)^4 \right] \frac{E_x I_x}{E_y I_y}}$$

où :

μ est la masse surfacique du plancher, en kg/m^2 ,

l est la longueur du plancher, en m (dans la direction x),

b est la largeur du plancher, en m (dans la direction y),

E_x, E_y sont les modules d'élasticité suivant l'axe x et l'axe y respectivement, en N/m^2 ,

I_x est le moment d'inertie pour la flexion suivant l'axe x, en m^4 ,

I_y est le moment d'inertie pour la flexion suivant l'axe y, en m^4 .

A.4. Approche par le poids propre pour la fréquence propre

L'approche par le poids propre est une approximation très pratique dans les cas où la déformée maximale δ_{\max} due à la masse m est déjà connue comme par exemple lors de calculs par éléments finis.

Cette méthode a son origine dans l'équation générale de la fréquence :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

La raideur K peut être évaluée par :

$$K = \frac{M \times g}{\frac{3}{4} \delta_{\max}},$$

où

M est la masse totale du système en vibration,

g est l'accélération de la pesanteur et

$\frac{3}{4} \delta_{\max}$ est la flèche moyenne.

La valeur approximative de la fréquence propre est

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4g \text{ [mm/s}^2\text{]}}{3\delta_{\max} \text{ [mm]}}} = \frac{18}{\sqrt{\delta_{\max} \text{ [mm]}}}$$

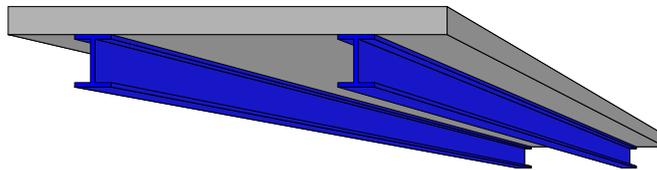
A.5. Méthode de Dunkerley pour la fréquence propre

La méthode de Dunkerley est une approximation pour calculs manuels. Elle est applicable lorsque la nature des vibrations semble très complexe mais elle permet de diviser le problème en plusieurs modes simples. La fréquence propre pourra alors être déterminée en utilisant les formules décrites aux paragraphes A.1, A.2 et A.3.

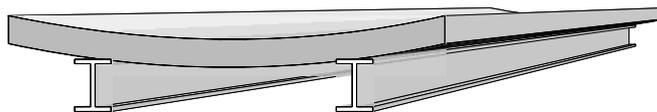
La Figure 13 montre un exemple de plancher mixte avec deux poutres simplement appuyées et une dalle béton libre aux extrémités.

Le mode vibratoire escompté est divisé en deux modes simples indépendants ; un pour la dalle en béton, l'autre pour la poutre mixte. Les deux formes ont leur propre fréquence propre (f_1 pour la vibration de la dalle en béton et f_2 pour la poutre mixte).

Système initial:



Mode de la dalle béton:



Mode de la poutre mixte:

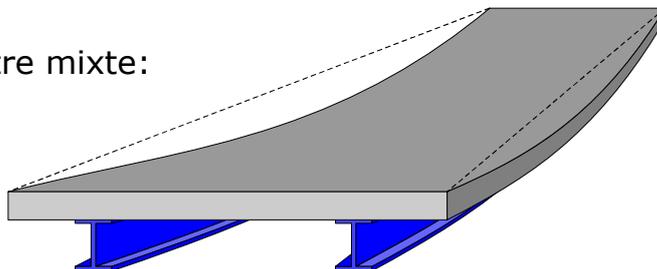


Figure 13 : Exemple de la décomposition des formes de mode

Selon la méthode de Dunkerley, la fréquence propre résultante f du système totale est :

$$\frac{1}{f^2} = \frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_2^2} + \frac{1}{f_3^2} + \dots$$

A.6. Approximation de la masse modale

La masse modale peut être interprétée comme une fraction de la masse totale d'un plancher, activée lorsque ce dernier oscille dans une forme de mode spécifique. Chaque mode de vibration a sa fréquence propre et masse modale spécifique.

Pour le calcul de la masse modale, le mode doit être connu et normalisé par rapport à la déformation maximale. Puisque le mode ne peut être déterminé par un calcul manuel, des approximations du premier mode seront généralement utilisées.

De même, les analyses par éléments finis sont souvent utilisées comme alternative au calcul manuel. Si les logiciels ne fournissent pas la masse modale comme résultat de l'analyse modale, le mode de vibration peut être obtenu par l'application de charges poussant la dalle à adopter la forme de mode escompté, voir Figure 14.

Mode escompté :



Application des charges :

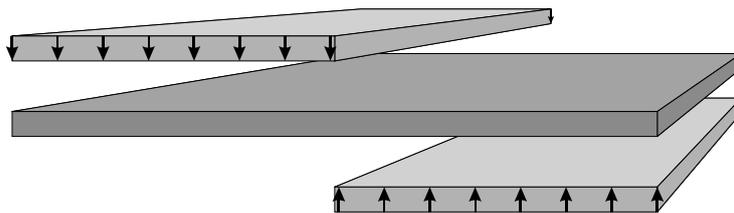


Figure 14 : Application de charge pour l'obtention du mode escompté (exemple)

Si le mode vibratoire du plancher peut être approché par une fonction normalisée $\delta(x,y)$ (c.-à-d. $|\delta(x,y)|_{\max} = 1,0$), la masse modale correspondante se calcule par :

$$M_{\text{mod}} = \mu \int_F \delta^2(x,y) dF$$

où

μ est la distribution des masses

$\delta(x,y)$ est la déformée verticale au point de coordonnées x,y

Cette équation devient, lorsque le mode est calculé par les éléments finis :

$$M_{\text{mod}} = \sum_{\text{Nodes } i} \delta_i^2 \times dM_i$$

où

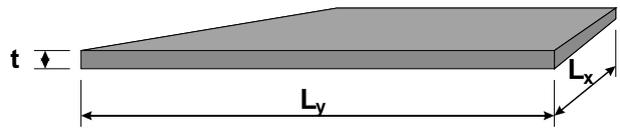
f_i est la déformée verticale au nœud i (normalisée par rapport à la déformée maximale)

dM_i est la fraction de masse représentée au nœud i

Si la fonction $\delta(x,y)$ représente la solution exacte pour le mode vibratoire, l'équation décrite ci-dessus conduit alors à la masse modale exacte.

Les exemples suivants illustrent des calculs manuels de la masse modale :

Exemple 1 : Dalle simplement appuyée aux quatre côtés, $L_x \sim L_y$



- Approximation du premier mode de vibration :

$$\delta(x,y) = \sin\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \times \sin\left(\frac{\pi y}{L_y}\right), \quad |\delta(x,y)|_{\max} = 1,0$$

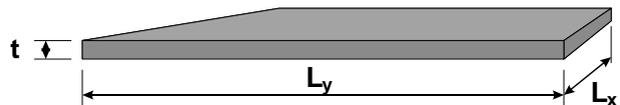
- Distribution de la masse :

$$\mu = \frac{M_{total}}{L_x L_y}$$

- Masse modale :

$$M_{mod} = \mu \times \int_F \delta^2(x,y) dF = \frac{M_{total}}{L_x L_y} \times \int_{L_y} \int_{L_x} \sin^2\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \sin^2\left(\frac{\pi y}{L_y}\right) dx dy = \frac{M_{total}}{4}$$

Exemple 2 : Dalle simplement appuyée aux quatre côtés, $L_x \ll L_y$



- Approximation du premier mode de vibration :

$$1. \quad 0 \leq y \leq \frac{L_x}{2} \quad \text{et} \quad L_y - \frac{L_x}{2} \leq y \leq L_y :$$

$$\delta(x,y) = \sin\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \times \sin\left(\frac{\pi y}{L_y}\right), \quad |\delta(x,y)|_{\max} = 1,0$$

$$2. \quad \frac{L_x}{2} \leq y \leq L_y - \frac{L_x}{2} :$$

$$\delta(x,y) = \sin\left(\frac{\pi x}{L_x}\right) \times 1,0, \quad |\delta(x,y)|_{\max} = 1,0$$

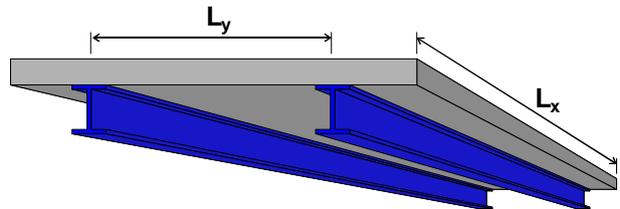
- Distribution de la masse :

$$\mu = \frac{M_{total}}{L_x L_y}$$

- Masse modale :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{mod}} &= \mu \times \int_F \delta^2(x, y) dF \\
 &= \frac{M_{\text{total}}}{L_x L_y} \times \left[2 \times \int_0^{L_x} \int_0^{\frac{L_y}{2}} \sin^2\left(\frac{\pi X}{L_x}\right) \sin^2\left(\frac{\pi Y}{L_y}\right) dx dy + \int_0^{L_x} \int_{\frac{L_y}{2}}^{L_y} \sin^2\left(\frac{\pi X}{L_x}\right) dx dy \right] \\
 &= \frac{M_{\text{total}}}{4} \times \left(2 - \frac{L_x}{L_y} \right)
 \end{aligned}$$

Exemple 3 : Dalle portant dans une direction entre poutres, dalle et poutres simplement appuyées



- Approximation du premier mode de vibration :

$$\delta(x, y) = \frac{\delta_x}{\delta} \times \sin\left(\frac{\pi X}{L_x}\right) + \frac{\delta_y}{\delta} \times \sin\left(\frac{\pi Y}{L_y}\right), \quad |\delta(x, y)|_{\text{max}} = 1,0$$

avec

δ_x = Déformée de la poutre

δ_y = Déformée de la dalle considérant la déformée des appuis (c.-à-d. la déformée de la poutre) comme nulle

$$\delta = \delta_x + \delta_y$$

- Distribution de la masse :

$$\mu = \frac{M_{\text{total}}}{L_x L_y}$$

- Masse modale :

$$\begin{aligned}
 M_{\text{mod}} &= \mu \times \int_F \delta^2(x, y) dF = \frac{M_{\text{total}}}{L_x L_y} \times \int_{L_x L_y} \left[\frac{\delta_x}{\delta} \times \sin\left(\frac{\pi X}{L_x}\right) + \frac{\delta_y}{\delta} \times \sin\left(\frac{\pi Y}{L_y}\right) \right]^2 dx dy \\
 &= M_{\text{total}} \times \left[\frac{\delta_x^2 + \delta_y^2}{2\delta^2} + \frac{8}{\pi^2} \times \frac{\delta_x \delta_y}{\delta^2} \right]
 \end{aligned}$$

B. Exemples numériques

B.1. Dalle légère avec poutres cellulaires ACB mixtes (bâtiment de bureaux)

B.1.1. Description du plancher

Dans ce premier exemple de bureaux ouverts dits « open space », le comportement d'un plancher composé de pré-dalle avec faux-plancher est contrôlé par rapport à la marche.



Figure 15 : Structure du plancher

La dalle porte sur 4,2 m entre poutres. Son épaisseur totale est de 160 mm. Les poutres principales sont des poutres cellulaires Arcelor (ACB) agissant comme poutres mixtes. Elles sont connectées aux poteaux avec un moment d'encastrement. La vue en plan est donnée à la Figure 16. La partie représentative du plancher à considérer dans cet exemple est indiquée en hachuré à la Figure 16.

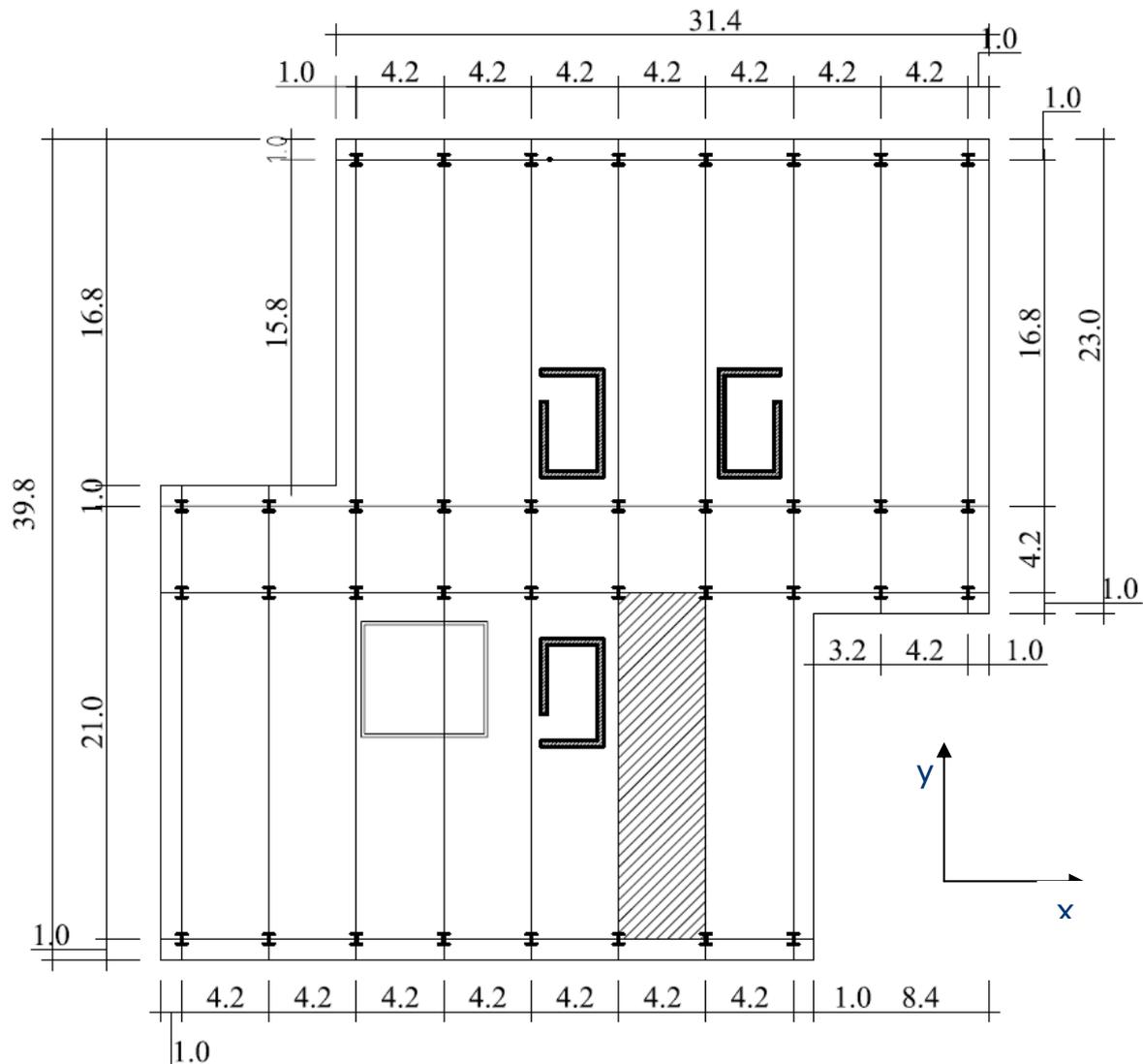


Figure 16 : Vue en plan du plancher

Pour les poutres de 16,8 m de portée, les profilés ACB/HEM400 de qualité S460 ont été choisis, pour celles plus petites de 4,2 m ce sont des ACB/HEM360, aussi en S460.

Les poutres transversales qui portent dans la direction globale X sont négligées pour les calculs, puisqu'elles ne contribuent pas à la descente des charges de la structure.

Les propriétés nominales des matériaux sont :

- Acier S460 : $E_s = 210\,000\text{ N/mm}^2$, $f_y = 460\text{ N/mm}^2$
- Béton C25/30 : $E_{cm} = 31\,000\text{ N/mm}^2$, $f_{ck} = 25\text{ N/mm}^2$

Comme indiqué dans la section 4.1.1, le module élastique nominal du béton sera augmenté pour les calculs dynamiques de 10 % :

$$E_{c,dyn} = 1,1 \times E_{cm} = 34\,100\text{ N/mm}^2$$

Le mode de vibration escompté qui correspond à la première fréquence propre de la partie du plancher est dessiné à la Figure 18. De par le mode re-

présenté ici, on peut conclure, pour les calculs dynamiques suivants, que chacun des bords de la dalle se comporte comme simplement appuyé. De même pour les conditions aux appuis de la poutre principale, suivant le type d'assemblage poutre-poteau montré à la Figure 17, il semble évident que pour des faibles amplitudes comme celles rencontrées dans l'analyse des vibrations, la rigidité rotationnelle de l'assemblage est suffisante pour permettre de considérer la poutre comme encastree.



Figure 17 : Assemblage poutre-poteau

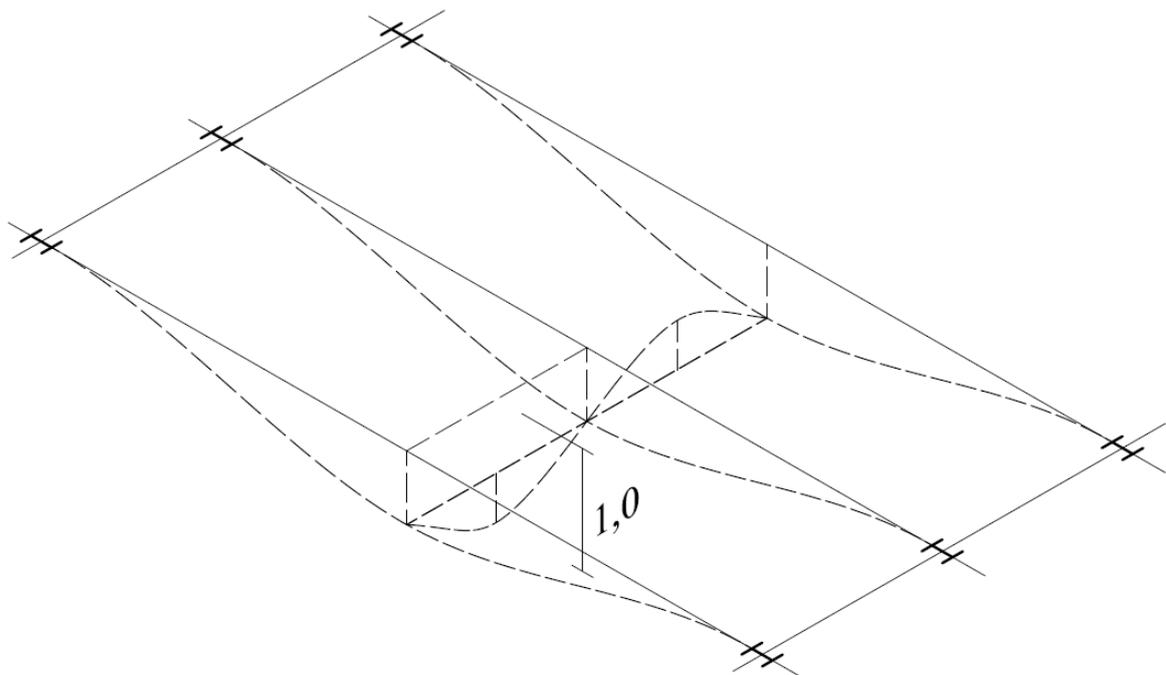


Figure 18 : Mode escompté correspondant à la première fréquence propre de la partie du plancher considérée

Caractéristiques de sections

- Dalle :

Les propriétés de la dalle suivant la direction globale X sont :

$$A_{c,x} = 160 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$I_{c,x} = 3,41 \times 10^5 \text{ mm}^4/\text{mm}$$

- Poutre mixte :

La largeur participante de la poutre mixte est obtenue par l'équation suivante en considérant le premier mode de vibration décrit auparavant :

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{eff},1} + b_{\text{eff},2} = \frac{l_0}{8} + \frac{l_0}{8} = 2 \times \frac{0,7 \times 16,8}{8} = 2,94 \text{ m}$$

Les propriétés de la section nécessaires pour les Etats Limites de Service (sans fissuration) sont :

$$A_{a,\text{net}} = 21936 \text{ mm}^2$$

$$A_{a,\text{brut}} = 29214 \text{ mm}^2$$

$$A_i = 98320 \text{ mm}^2$$

$$I_i = 5,149 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

Charges

- Dalle :

- Poids propre (avec 1,0 kN/m² pour le faux-plancher) :

$$g_{\text{dalle}} = 160 \times 10^{-3} \times 25 + 1,0 = 5 \text{ kN/m}^2$$

- Charge d'exploitation : généralement une charge variable de 3 kN/m² est recommandée pour les bâtiments de bureaux. La fraction de charge variable considérée pour le calcul dynamique est supposée d'environ 10 % de la charge variable totale, d'où

$$q_{\text{dalle}} = 0,1 \times 3,0 = 0,3 \text{ kN/m}^2$$

- Poutre mixte :

- Poids propre (avec 2,00 kN/m pour l'ACB) :

$$g_{\text{poutre}} = 5,0 \times \frac{4,2}{2} \times 2 + 2,0 = 23,00 \text{ kN/m}$$

- Charge d'exploitation :

$$q_{\text{poutre}} = 0,3 \times \frac{4,2}{2} \times 2 = 1,26 \text{ kN/m}$$

B.1.2. Détermination des caractéristiques dynamiques du plancher

Fréquence propre

La première fréquence propre est calculée selon l'approche du poids propre. La flèche maximale totale sera obtenue par superposition de la flèche de la dalle et de celle de la poutre principale :

$$\delta_{total} = \delta_{dalle} + \delta_{poutre}$$

avec

$$\delta_{dalle} = \frac{5 \times (5,0 + 0,3) \times 10^{-3} \times 4200^4}{384 \times 34100 \times 3,41 \times 10^5} = 1,9 \text{ mm}$$

$$\delta_{poutre} = \frac{1 \times (23,0 + 1,26) \times 16800^4}{384 \times 210000 \times 5,149 \times 10^9} = 4,7 \text{ mm}$$

La flèche maximale est :

$$\delta_{total} = 1,9 + 4,7 = 6,6 \text{ mm}$$

La première fréquence propre sera alors obtenue par :

$$f_1 = \frac{18}{\sqrt{6,6}} = 7,0 \text{ Hz}$$

Masse modale

La masse totale de la dalle est :

$$M_{total} = (5 + 0,3) \times 10^2 \times 16,8 \times 4,2 = 37397 \text{ kg}$$

Suivant l'exemple 3 du chapitre A.6, la masse modale de la dalle peut être calculée par :

$$M_{mod} = 37397 \times \left[\frac{1,9^2 + 4,7^2}{2 \times 6,6^2} + \frac{8}{\pi^2} \times \frac{1,9 \times 4,7}{6,6^2} \right] = 17246 \text{ kg}$$

Amortissement

Le taux d'amortissement de la dalle acier-béton avec faux-plancher se calcule à partir du Tableau 1 :

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = +1 + 1 + 1 = 3\%$$

avec

$$D_1 = 1,0 \text{ (dalle acier-béton)}$$

$$D_2 = 1,0 \text{ (bureau ouvert)}$$

$$D_3 = 1,0 \text{ (faux-plancher)}$$

B.1.3. Evaluation

Selon les caractéristiques modales calculées ci-dessus, le plancher est de classe C (Figure 5). La valeur $OS-RMS_{90}$ espérée est d'environ 0,5 mm/s.

Suivant le Tableau 1, la classe C fait partie du domaine recommandé pour les bâtiments de bureaux, l'exigence est donc remplie.

B.2. Bâtiment de bureaux à 3 niveaux

B.2.1. Description du plancher

La portée du plancher de ce bâtiment, voir Figure 19, est de 15 m entre les deux poutres de rive extrêmes. Les poutres secondaires sont des IPE600 et ont un entre-axe de 2,5 m. Les poutres principales de rive, de portée 7,5 m de poteau à poteau, sont aussi des IPE600, voir Figure 20.

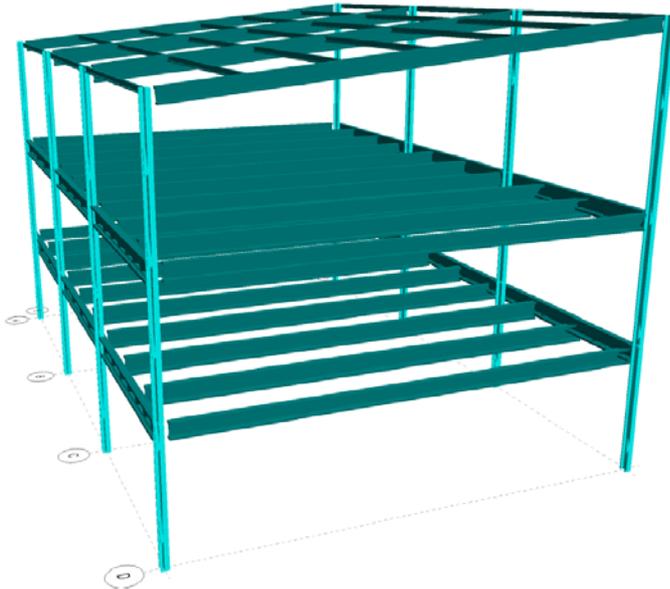


Figure 19 : Vue d'ensemble de la structure

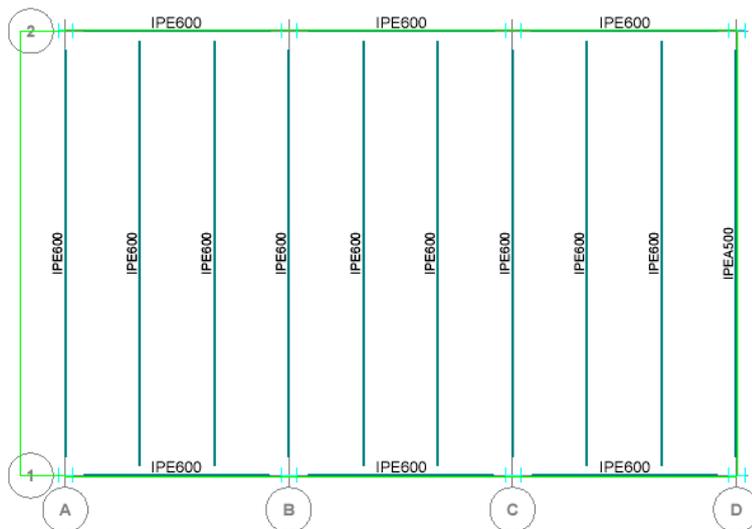


Figure 20 : Vue en plan du plancher avec désignation des sections en acier

La dalle est une dalle mixte d'épaisseur totale 15 cm avec un bac acier CO-FRASTRA 70, voir Figure 21.

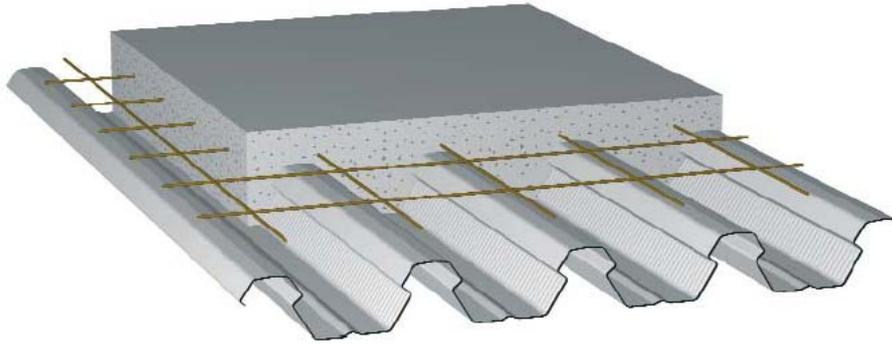


Figure 21 : Composition du plancher

Les propriétés nominales des matériaux sont :

- Acier S235 : $E_s = 210\,000\text{ N/mm}^2$, $f_y = 235\text{ N/mm}^2$
 - Béton C25/30 : $E_{cm} = 31\,000\text{ N/mm}^2$, $f_{ck} = 25\text{ N/mm}^2$
- $$E_{c,dyn} = 1,1 \times E_{cm} = 34\,100\text{ N/mm}^2$$

Propriétés des sections

- Dalle (perpendiculaire aux poutres) :
 - $A = 1\,170\text{ cm}^2/\text{m}$
 - $I = 20\,355\text{ cm}^4/\text{m}$
 - $g = 3,5\text{ kN/m}^2$
 - $\Delta g = 0,5\text{ kN/m}^2$
- Poutre mixte ($b_{eff} = 2,5\text{ m}$; $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$) :
 - $A = 468\text{ cm}^2$
 - $I = 270\,089\text{ cm}^4$
 - $g = (3,5+0,5) \times 2,5 + 1,22 = 11,22\text{ kN/m}$

Charges

- Dalle (perpendiculaire aux poutres) :
 - $g + \Delta g = 4,0\text{ kN/m}^2$ (poids propre)
 - $q = 3,0 \times 0,1 = 0,3\text{ kN/m}^2$ (10 % des charges variables totales)
 - $p_{total} = 4,3\text{ kN/m}^2$
- Poutre mixte ($b_{eff} = 2,5\text{ m}$; $E = 210\,000\text{ N/mm}^2$) :
 - $g = 11,22\text{ kN/m}$
 - $q = 0,3 \times 2,5 = 0,75\text{ kN/m}$
 - $p_{total} = 11,97\text{ kN/m}$

B.2.2. Détermination des caractéristiques dynamiques du plancher

Conditions aux appuis

Les poutres secondaires aboutissent sur des poutres principales qui sont de sections ouvertes à faible rigidité en torsion. Ces poutres peuvent donc être considérées comme simplement appuyées.

Fréquence propre

Pour cet exemple, les conditions de support sont déterminées de deux manières. La première est l'application de la formule de la poutre en négligeant la raideur transversale du plancher. La deuxième consiste en la méthode du poids propre en prenant en compte la rigidité transversale.

- Application de la formule de la poutre (Chapitre A.2) :

$$p = 11,97 \text{ kN/m} \Rightarrow \mu = 11,97 \times 10^3 \text{ [kg m/s}^2\text{/m]} / 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} = 1220 \text{ kg/m}$$

$$f = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3EI}{0,49 \mu \ell^4}} = \frac{2}{\pi} \sqrt{\frac{3 \times 210\,000 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]} \times 270\,089 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}}{0,49 \times 1220 \text{ [kg/m]} \times 15^4 \text{ [m}^4\text{]}}} = 4,77 \text{ Hz}$$

- Application de l'équation des dalles orthotropes (Chapitre A.3) :

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{E_y I_y}{\mu \ell^4}} \sqrt{1 + \left[2 \left(\frac{b}{\ell} \right)^2 + \left(\frac{b}{\ell} \right)^4 \right] \frac{E_x I_x}{E_y I_y}} \\ &= \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{210\,000 \times 10^6 \times 270\,089 \times 10^{-8}}{1220 \times 15^4}} \sqrt{1 + \left[2 \left(\frac{2,5}{15} \right)^2 + \left(\frac{2,5}{15} \right)^4 \right] \frac{34\,100 \times 20\,355}{210\,000 \times 270\,089}} \\ &= 4,76 \times 1,00 = 4,76 \text{ Hz} \end{aligned}$$

- Application de la méthode du poids propre (Chapitre A.4) :

$$\delta_{total} = \delta_{dalle} + \delta_{poutre}$$

$$\delta_{dalle} = \frac{5 \times 4,3 \times 10^{-3} \times 2500^4}{384 \times 34\,100 \times 20\,355 \times 10^1} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{poutre} = \frac{5 \times 11,97 \times 15000^4}{384 \times 210\,000 \times 270\,089 \times 10^4} = 13,9 \text{ mm}$$

$$\delta_{total} = 0,3 + 13,9 = 14,2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_1 = \frac{18}{\sqrt{14,2}} = 4,78 \text{ Hz}$$

Masse modale

La détermination de la fréquence propre ci-dessus a montré que le comportement dynamique du plancher peut être assimilé au modèle d'une poutre simple (voir Tableau 4). Ce modèle sera donc utilisé pour la masse modale :

$$M_{mod} = 0,5 \mu \ell = 0,5 \times 1220 \times 15 = 9150 \text{ kg}$$

Amortissement

Le taux d'amortissement de la dalle acier-béton avec faux-plancher se calcule à partir du Tableau 1 :

$$D = D_1 + D_2 + D_3 = 1 + 1 + 1 = 3\%$$

avec

$$D_1 = 1,0 \text{ (dalle acier-béton)}$$

$$D_2 = 1,0 \text{ (bureau ouvert)}$$

$$D_3 = 1,0 \text{ (faux-plafond)}$$

B.2.3. Evaluation

Selon les caractéristiques modales calculées ci-dessus, le plancher est de classe D (Figure 5). La valeur $OS-RMS_{90}$ attendue est d'environ 3,2 mm/s.

Suivant le Tableau 1, la classe C fait partie du domaine recommandé pour les bâtiments de bureaux, l'exigence est donc remplie.