

EXPOSÉ TECHNIQUE - DANS LE CADRE DU CAMPUS ASCHWANDEN

Éléments d'armature thermo-isolants ARBO Explications concernant le dimensionnement

Dr Stefan Lips,

F.J. Aschwanden AG, Lyss

Prof. Dr Albin Kenel,

Haute école d'ingénierie et d'architecture de
Lucerne, Horw

Prof. Dr Urs Bopp,

Haute école d'ingénierie de la Fachhochschule
Nordwestschweiz, Windisch

Prof. Dr Marcel Steiner

Haute école d'ingénierie de la Fachhochschule
Nordwestschweiz, Windisch

Table des matières

1. Introduction	3
2. Documents concernant le dimensionnement	5
3. Sécurité structurale	7
4. Aptitude au service	11
5. Isolation thermique	15
6. Transmission des bruits de choc par les balcons et les coursives extérieures	27
7. Exigences en matière de résistance au feu et de réaction au feu d'éléments de raccords de dalles en porte-à-faux	31
8. Exemple 1	33
9. Désignations	55

1. Introduction

Le défi posé par les éléments d'armature thermo-isolants, c'est qu'ils doivent non seulement assurer la sécurité structurale et l'aptitude au service, mais aussi avoir d'excellentes propriétés thermiques. Si on négligeait les exigences en matière thermique, le plus simple, et pour la sécurité structurale et l'aptitude au service le plus efficace, serait de réaliser la dalle sans isolation thermique. Cela aurait toutefois des effets négatifs importants sur le bilan énergétique du bâtiment et entraînerait de plus une diminution considérable du confort sans compter des dommages au bâtiment financièrement coûteux par suite de la formation de moisissures. Dans ce domaine, les éléments d'armature thermo-isolants sont par conséquent un bon moyen de séparer du point de vue thermique la dalle intérieure de la dalle de balcon. L'utilisation d'éléments ARBO ne se limite pourtant pas aux liaisons des balcons, mais permet toutes sortes de liaisons pour lesquelles une séparation thermique des éléments en béton armé est souhaitée. C'est la raison pour laquelle il est systématiquement question d'éléments d'armature thermo-isolants.

Comme généralement l'isolation thermique est en contradiction avec les exigences en matière de résistance ultime (transfert de charge) et d'aptitude au service (rigidité), plusieurs aspects sont à considérer. Lors de la conception et de la révision des éléments ARBO, il a été fait attention à ne pas « améliorer » une fonction au détriment de l'autre et à ce que l'élément ARBO allie de manière optimale les trois exigences que sont la sécurité structurale, l'aptitude au service et l'isolation thermique.

Le présent document explique les principes de conception présidant à l'utilisation des éléments ARBO en matière de sécurité structurale, d'aptitude au service et d'isolation thermique. Bien qu'il convienne de considérer ces éléments dans leur ensemble, ces trois critères sont répartis en trois chapitres séparés pour une meilleure visibilité, étant entendu que, sur certains points, il sera fait référence aux autres chapitres. Par ailleurs, dans le chapitre concerné, il sera montré comment de petits détails de conception peuvent parfois avoir des effets importants sur les performances d'ensemble des liaisons des armatures thermo-isolantes. Par ailleurs un exemple permettra de montrer comment dimensionner les éléments ARBO de manière efficace et rentable par différentes méthodes de calcul.

La présente documentation concerne de manière générale les éléments ARBO-400 et ARBO-400Plus. Beaucoup de paramètres peuvent logiquement s'appliquer aussi aux éléments ARBO-300, ARBO-500, ARBO-500Plus, ARBO-600 et ARBO-600Plus.

2. Documents concernant le dimensionnement

F.J. Aschwanden AG met à disposition différents outils d'aide au dimensionnement en vue d'obtenir un résultat fiable et efficace. Les indications d'ordre général concernant le dimensionnement ainsi que les informations concernant les différents types ARBO se trouvent dans la documentation ARBO « Introduction à la conception et au calcul des liaisons avec les éléments d'armatures ARBO ». Il existe des documentations techniques pour le dimensionnement de ces différents types.

Dans les documentations techniques correspondantes figurent toutes les données importantes en matière de calcul, telles que les diagrammes d'interaction permettant de déterminer la résistance ultime, les valeurs de rigidité des éléments pour la vérification de l'aptitude au service, les diagrammes d'évaluation de la déformation supplémentaire due aux éléments ARBO dans les dalles en porte-à-faux et les diagrammes permettant de déterminer les coefficients de transmission thermique linéiques.

Pour le calcul statique concernant la sécurité structurale et l'aptitude au service, F.J. Aschwanden AG met à disposition deux possibilités de dimensionnement par ordinateur des éléments ARBO. D'une part, le logiciel de mesure ARBO/CRET figure dans le kit logiciel Aschwanden et, d'autre part, il existe sur le site Internet un plug-in ARBO/CRET à télécharger pour le programme d'éléments finis (EF) AxisVM.

Le logiciel ARBO/CRET est un programme EF dans lequel il est possible d'intégrer les éléments ARBO directement dans la modélisation des dalles à relier. Il est ainsi possible de dimensionner les éléments ARBO de manière efficace et rentable à l'aide du logiciel de calcul ARBO/CRET. Le logiciel ARBO/CRET s'inspire du logiciel EF AxisVM, mais il présente cependant certaines restrictions concernant son domaine d'application. À l'inverse de la version Axis VM complète, il n'existe pas d'éléments de coque disponibles et le nombre d'éléments et de cas de charge est limité.

Sur le site Internet, il existe pour les utilisateurs de la version AxisVM un plug-in ARBO/CRET à télécharger qui permet d'utiliser les avantages du logiciel ARBO/CRET directement dans le logiciel AxisVM. Dans ce cas, il est possible d'intégrer les éléments ARBO directement dans la modélisation. Cela permet un dimensionnement efficace des éléments ARBO en même temps que le calcul statique général du bâtiment.

Il existe par ailleurs un outil paramétré d'analyse des vibrations afin d'exclure simplement et de manière fiable un éventuel problème de vibrations. Dans cet outil d'analyse sont déjà prédéfinis plusieurs cas de base paramétrés permettant une évaluation rapide des fréquences de résonance probables. Pour cela, il est également fait appel à la routine de calcul d'AxisVM ce qui permettra aussi plus tard de retoucher ces modèles avec le logiciel ARBO/CRET ou AxisVM.

Si le calcul statique est effectué dans un autre logiciel EF, les éléments ARBO sont dimensionnés aussi simplement et efficacement à l'aide des indications figurant dans les documentations techniques concernées. La procédure appropriée est également expliquée dans les exemples de calcul.

3. Sécurité structurale

La sécurité structurale des éléments ARBO s'obtient par le flux des forces dans l'élément et de la transmission des forces dans la dalle en béton armé raccordée. Celui-ci s'explique assez facilement sur un modèle de bielles et tirants. Le moment de flexion agissant sur le joint est absorbé par les efforts normaux dans la barre de compression et la barre de traction. L'effort tranchant est transmis au moyen de la plaque de cisaillement. La Figure 1 représente le flux des forces. Ici la bielle de compression dans la dalle en béton armé s'appuie sur la barre de compression du côté du porte-à-faux. Celle-ci dirige la charge dans la plaque de cisaillement dans laquelle se forme un tirant. Du fait de l'effort tranchant dans la barre de traction, la bielle de compression se reforme ensuite dans le béton. En fonction des conditions limites (conditions d'appui, situation de la charge, etc.), il est également possible que la bielle de compression s'appuie sur la barre de traction côté balcon. Grâce au mode de conception des éléments ARBO, une inversion de l'action de l'effort tranchant est tout à fait possible puisque l'effort tranchant peut être transmis dans les deux sens. Ceci facilite également le montage et le contrôle du chantier puisque les éléments sur le chantier ne doivent pas obligatoirement être positionnés dans le sens de l'effort tranchant.

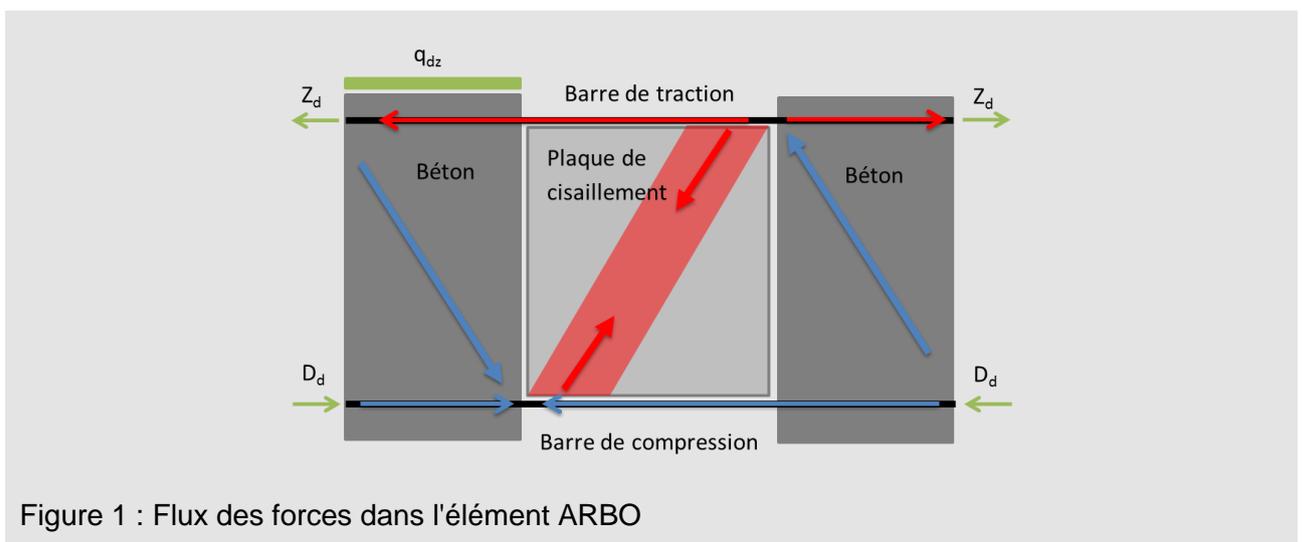


Figure 1 : Flux des forces dans l'élément ARBO

Comme la plaque de cisaillement n'est pas en contact direct avec le béton, ce qui représente un avantage considérable en matière d'isolation thermique (voir chapitre Calcul thermique), les barres de compression et les barres de traction sont fortement sollicitées au niveau de la liaison. Cela nécessite de disposer de barres relativement épaisses de $\varnothing 14$ mm pour offrir une résistance suffisante pour l'utilisation habituelle. Cependant, malgré le diamètre relativement important des barres, ce type de conception présente d'énormes avantages si on considère non seulement la sécurité structurale, mais aussi l'aptitude au service et l'isolation thermique.

Comparativement au type de conception selon lequel l'effort tranchant est transmis directement du béton à la plaque de cisaillement, les éléments ARBO ont des barres de compression et des barres de traction plus épaisses pour des raisons statiques. Ces diamètres de barres plus importants entraînent une rigidité en flexion plus élevée ce qui donne une meilleure tenue à la flexion et aux vibrations. Par ailleurs la séparation du béton et de la plaque de cisaillement offre

une isolation thermique nettement meilleure puisque la chaleur n'est pas transmise directement du béton à la plaque de cisaillement. Comme on le voit au chapitre Calcul thermique, il n'est pas non plus très utile du point de vue thermique de réduire le diamètre des barres de compression et des barres de traction pour ces types de conception dans lesquels les plaques de cisaillement se fondent dans les dalles en béton armé. C'est pourquoi, d'un point de vue purement statique, ce type de conception ARBO n'est pas la meilleure solution possible, mais, d'un point de vue global (sécurité structurale, aptitude au service et isolation thermique), c'est une solution optimale pour les liaisons des armatures thermo-isolantes.

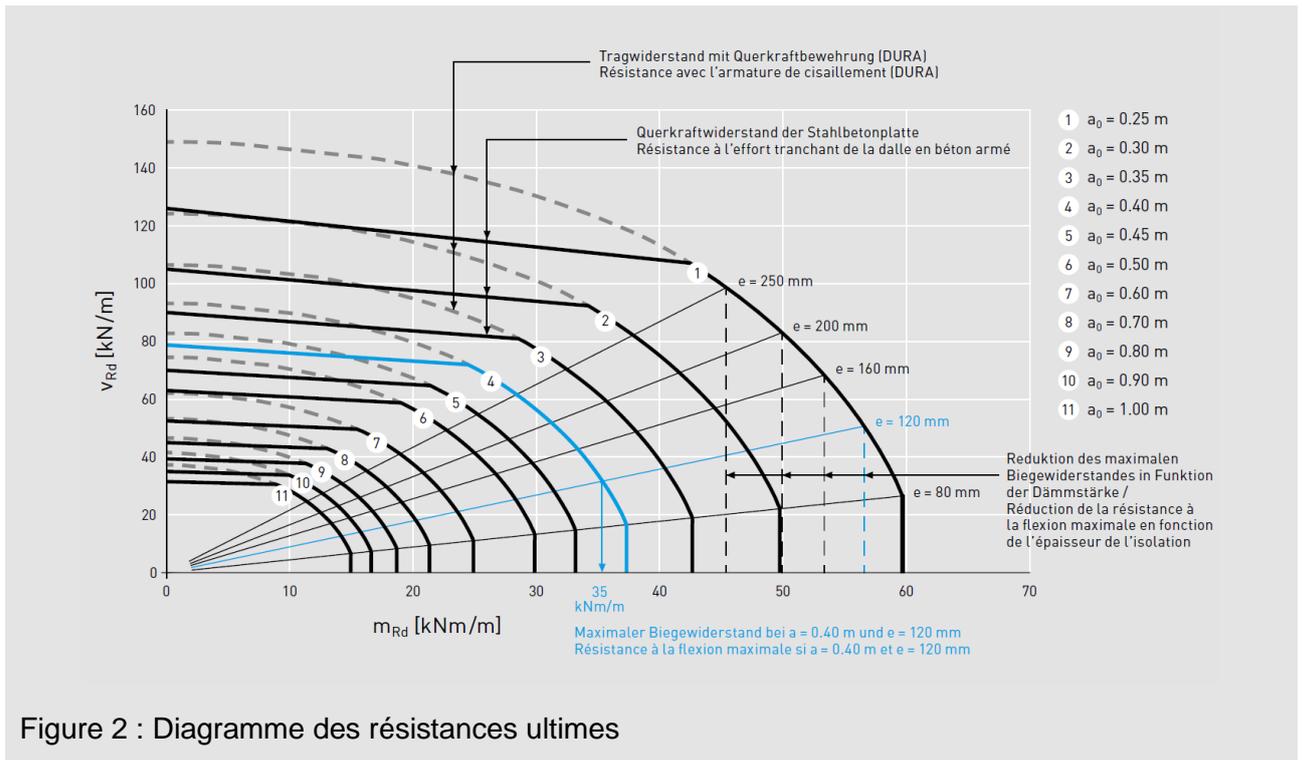
Le flambage de la barre de compression constitue une vérification concluante du calcul. C'est déterminant surtout pour les épaisseurs d'isolation importantes et les charges en flexion élevées. Bien que la plaque de cisaillement améliore un peu la stabilité de la barre de compression, la résistance au flambage réduit généralement la résistance maximale à la flexion en fonction de l'épaisseur d'isolation.

La capacité de charge à l'effort tranchant des dalles en béton armé raccordées constitue une autre limitation de la capacité de charge. Comme d'habitude sur les produits Aschwanden, la résistance calculée indiquée est valable non seulement pour les éléments eux-mêmes, mais aussi pour la transmission de la charge aux éléments structuraux raccordés. Par conséquent les résistances calculées indiquées (diagrammes/logiciel EF) intègrent la résistance à l'effort tranchant des dalles en béton armé.

Dimensionnement à partir des diagrammes

Pour simplifier le prédimensionnement et le calcul, la documentation Aschwanden comporte des diagrammes de calcul. Le diagramme d'interaction montre la résistance à l'effort tranchant et la résistance à la flexion. La vérification de la sécurité structurale est probante si le point des actions (m_d , n_d) se trouve à l'intérieur de la courbe d'interaction.

La résistance dépend généralement de l'entraxe choisi pour les éléments. Les courbes 1 à 11 montrent la résistance pour des entraxes de 0,25 m à 1,00 m. Il est généralement recommandé de ne pas dépasser un entraxe de 1,00 m.



Par ailleurs le diagramme montre la résistance maximale à la flexion en fonction de l'épaisseur d'isolation. Il faut noter que les lignes tracées en noir concernent toujours une épaisseur d'isolation de 80 mm. Pour des épaisseurs d'isolation plus importantes, il peut se produire une réduction de la résistance maximale à la flexion par suite de la résistance au flambage de la barre de compression. Cette limitation est représentée pour un entraxe des éléments de 0,25 m par les lignes verticales en pointillés. Pour des entraxes différents, la résistance maximale à la flexion s'obtient par le point d'intersection du diagramme d'interaction pour l'entraxe concerné et de la ligne radiale de l'épaisseur d'isolation concernée.

De plus les courbes sont limitées à la capacité de charge à l'effort tranchant des dalles raccordées. C'est-à-dire que la canalisation de l'effort des éléments ARBO est garantie dans les dalles raccordées. Généralement il n'y a pas d'armature de cisaillement dans les dalles de balcon. Si cela devait pourtant être le cas, par ex. avec l'utilisation de paniers DURA, il est possible d'obtenir une résistance plus élevée. Cette augmentation de la résistance ultime est représentée, si elle existe, par une ligne en pointillés grise sur les diagrammes. Dans ce cas, il convient de dimensionner les paniers DURA pour l'effort tranchant dans les dalles à l'aide du logiciel DURA.

Dimensionnement avec le logiciel EF

Les performances optimales en matière de sécurité structurale, d'aptitude au service et d'isolation thermique ne peuvent s'obtenir que si les éléments ne sont utilisés qu'aux endroits où ils sont effectivement nécessaires. Par conséquent les éléments ARBO n'ont qu'une largeur de 25 cm et peuvent ainsi être disposés en fonction de la sollicitation. Pour pouvoir déterminer les différents entraxes, il est recommandé d'effectuer le calcul avec le logiciel d'éléments finis (EF). Pour cela Aschwanden propose plusieurs possibilités.

Le logiciel ARBO/CRET, en tant qu'élément du pack logiciel Aschwanden, est un logiciel EF limité en nombre d'éléments et de cas de charge. Ce logiciel est basé sur le logiciel AxisVM. S'il existe déjà une version complète du logiciel AxisVM, le plug-in ARBO/CRET peut se charger directement dans la version complète du logiciel AxisVM (lien pour le téléchargement disponible sur le site Internet Aschwanden). L'utilisation du logiciel ARBO/CRET et celle du plug-in ARBO/CRET Plug-In sont fondamentalement identiques. Par conséquent, pour une question de simplification, il a été renoncé à présenter des illustrations tirées des deux programmes même si certains symboles peuvent différer d'une version à l'autre.

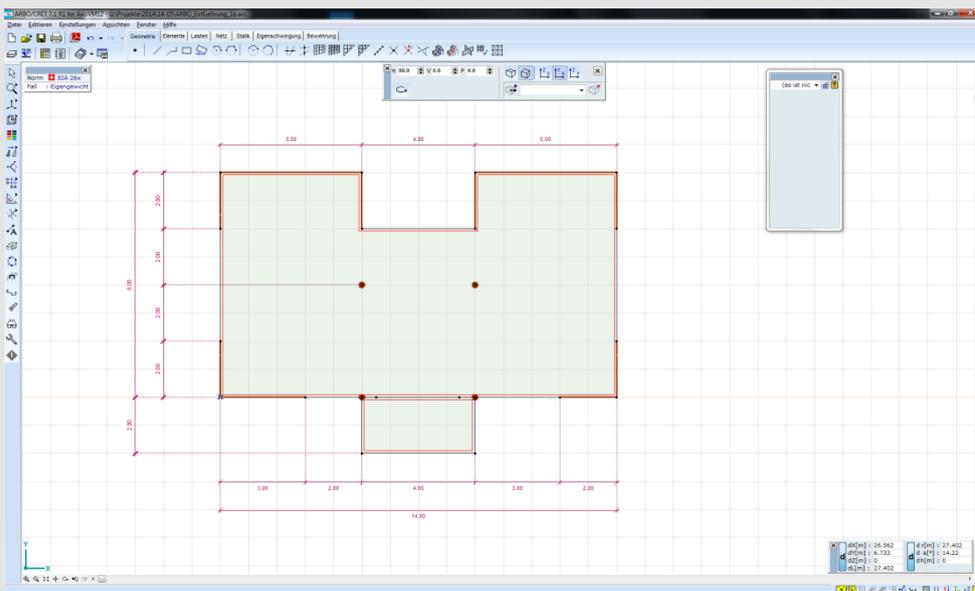


Figure 3 : Logiciel ARBO/CRET

4. Aptitude au service

Sur les dalles en porte-à-faux, il faut, pour la vérification de l'aptitude au service, considérer d'une part les flèches et d'autre part la tenue aux vibrations. Pour ces deux vérifications, l'élément déterminant est la rigidité de la structure ou de l'élément d'armature au niveau de l'isolation. C'est surtout la rigidité en flexion qui est déterminante.

Pour obtenir des flèches peu importantes et une tenue aux vibrations acceptable, l'objectif est une liaison la plus rigide possible en flexion au niveau de l'isolation. Comme pour la sécurité structurale, ceci est en contradiction avec une bonne isolation thermique. Cependant un type de conception adapté peut, même dans ce cas-là, augmenter la rigidité de manière à toujours disposer d'une isolation thermique optimale.

En matière de rigidité en flexion, le type de conception des éléments ARBO présente deux caractéristiques principales.

D'une part les barres de compression et les barres de traction sont reliées par une plaque de cisaillement. L'apport des plaques de cisaillement permet d'augmenter la rigidité en flexion. D'autre part la rigidité en flexion augmente du fait que les plaques de cisaillement ne pénètrent pas dans la dalle en béton armé. Ce qui apparaît au premier coup d'œil comme une contradiction s'explique d'une manière relativement simple dans le paragraphe qui suit. Mais il ne faut pas perdre de vue les deux autres critères des liaisons d'armature : la sécurité structurale et l'isolation thermique.

Si la plaque de cisaillement pénètre dans la dalle en béton armé, on peut obtenir une canalisation directe de l'effort. Par rapport aux éléments ARBO, le diamètre des barres de compression et des barres de traction peut de ce fait être réduit. Par ailleurs, pour les types de conception dans lesquels les plaques de cisaillement dépassent dans la dalle, par suite des exigences en matière thermique, il faut réduire dans la mesure du possible le nombre de plaques de cisaillement par rapport aux éléments ARBO. Comme il est montré au chapitre Isolation thermique, cependant même avec une réduction du diamètre des barres et du nombre de plaques de cisaillement, l'isolation thermique est nettement moins bonne qu'avec les éléments ARBO. Par ailleurs ces mesures ont une influence déterminante sur l'aptitude au service. Une réduction du diamètre des barres de compression et des barres de traction et une réduction du nombre de plaques de cisaillement conduisent inévitablement à une perte de rigidité en flexion. Cela entraîne enfin des flèches plus importantes et une moins bonne tenue aux vibrations.

La Figure 4 montre la rigidité en flexion en fonction de l'épaisseur de l'isolation et du type de conception pour des éléments d'une hauteur de 200 mm. Il s'avère, qu'avec une plaque de cisaillement et des barres d'armature de $\varnothing 14$ mm, on obtient au niveau des éléments une rigidité en flexion entre 575 et 675 kNm², en fonction de l'épaisseur d'isolation, sur l'élément concerné (ARBO-420). Sans plaque de cisaillement, cette valeur diminue d'environ 20 %. Si on réduit encore le diamètre des barres, on obtient des rigidités inférieures d'environ 40 %. Cela a une influence directe sur la tenue à la déformation et aux vibrations.

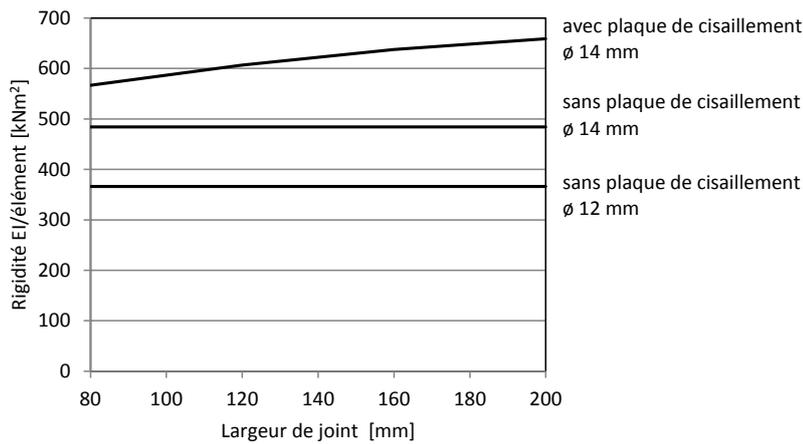


Figure 4 : Rigidité en fonction de l'épaisseur d'isolation

Par ailleurs la Figure 4 montre que la rigidité en flexion des éléments ARBO dépend de l'épaisseur d'isolation. Plus l'épaisseur d'isolation augmente, plus la rigidité en flexion (EI) augmente par suite de l'action conjointe de la plaque de cisaillement. Au niveau des éléments ARBO, il existe principalement deux zones : une zone longue avec la plaque de cisaillement de grande rigidité et une zone courte entre la plaque de cisaillement et le bord du béton avec une extrémité libre de la barre de faible rigidité. Avec des épaisseurs d'isolation faibles, la partie libre de la barre de traction et de la barre de compression entre la plaque de cisaillement et le bord du béton est relativement plus élevée qu'avec des épaisseurs d'isolation importantes. Par conséquent, avec des épaisseurs d'isolation importantes, la rigidité en flexion moyenne est plus élevée qu'avec des épaisseurs d'isolation faibles. Puisque toutefois les rigidités en flexion un peu plus faibles que pour la dalle en béton armé doivent être appliquées sur l'ensemble de l'épaisseur d'isolation, il en résulte pour des épaisseurs d'isolation plus grandes des déformations un peu plus importantes ou des rigidités en rotation un peu plus faibles malgré la rigidité en flexion plus élevée.

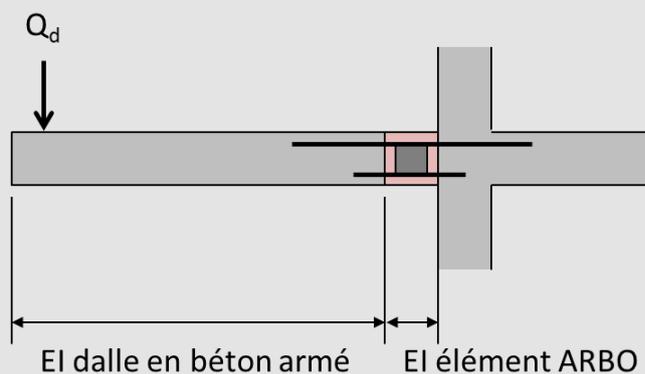


Figure 5 : Rigidités en flexion le long de la dalle en porte-à-faux

Si la rigidité en rotation s'avérait nécessaire pour la modélisation EF, elle peut se calculer à l'aide de la formule ci-dessous.

$$K_{xx} = EI_{EL} \cdot \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{e}$$

K_{xx} étant la rigidité en rotation parallèlement à la direction des joints, EI_{EL} la rigidité en flexion de l'élément ARBO, a l'entraxe des éléments ARBO et e l'épaisseur de l'isolation.

Dämmstärke Épaisseur de l'isolation	Für linear-elastische FEM Berechnung (ungerissen) Pour un calcul FEM linéaire-élastique (non fissuré)	Für nichtlineare FEM Berechnung (gerissen) Pour un calcul FEM non linéaire (fissuré)
e = 80 mm	$EI_{EL} = 1125 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 275 \text{ kNm}^2$
e = 120 mm	$EI_{EL} = 1175 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$
e = 160 mm	$EI_{EL} = 1225 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$
e = 200 mm	$EI_{EL} = 1250 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$
e = 250 mm	$EI_{EL} = 1250 \text{ kNm}^2$	$EI_{EL} = 300 \text{ kNm}^2$

Figure 6 : Mention des rigidités des éléments dans la documentation technique

Les rigidités en flexion des éléments ARBO figurent dans les documentations techniques correspondantes. Dans la documentation technique, il est fait la distinction entre deux rigidités en flexion. Dans une première colonne sont indiquées les rigidités en flexion pour un calcul linéaire-élastique des déformations. La section du béton armé est modélisée en configuration non fissurée. Pour la vérification de la déformation, les déformations linéaires-élastiques calculées sont ensuite augmentées afin de prendre en compte la formation de fissures et les effets de l'âge tel que le fluage. Ceci s'effectue habituellement à l'aide de l'équation (102) de la norme SIA 262:2013.

$$w = \frac{1 - 20\rho'}{10\rho^{0.7}} \cdot (0.75 + 0.1\varphi) \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^3 \cdot w_c$$

w_c étant la flèche déterminée selon le mode linéaire-élastique.

Si la section fissurée et les effets de l'âge sont déjà utilisés pour la modélisation, il faut intégrer la rigidité en flexion des éléments ARBO figurant dans la deuxième colonne. Tandis que les sections du béton armé sont normalement modélisées à l'état non fissuré pour le calcul des flèches, il faut, pour une analyse des vibrations, modéliser impérativement la section du béton armé en configuration fissurée. C'est-à-dire que, pour une analyse des vibrations, il convient toujours d'intégrer pour les éléments ARBO la rigidité en flexion indiquée pour un calcul EF non linéaire/en configuration fissurée. La procédure détaillée pour une analyse des vibrations apparaît dans les exemples.

Pour les dalles en porte-à-faux, il est possible d'évaluer de manière simplifiée les déformations supplémentaires dues aux éléments ARBO à l'aide des diagrammes figurant dans la documentation technique correspondante. La Figure 7 montre un exemple de diagramme. Elle

indique la valeur permettant de déterminer la déformation supplémentaire en fonction de l'entraxe des éléments et de l'épaisseur de l'isolation. La valeur extraite du diagramme est ensuite multipliée par le moment de flexion agissant sur le niveau d'usage ($m_{d,ser}$) et sur la longueur de la dalle en porte-à-faux (l). Comme cette valeur n'indique que la déformation supplémentaire due aux éléments ARBO, il faut calculer et additionner la seule flèche de la dalle en béton pour obtenir la flèche totale de la dalle en porte-à-faux. Il convient cependant de considérer ces valeurs uniquement comme des estimations. Les valeurs réelles peuvent différer des valeurs indiquées par le diagramme en fonction de la géométrie de la dalle en porte-à-faux et des conditions limites. Pour la vérification effective des flèches, il est recommandé d'effectuer un calcul EF.

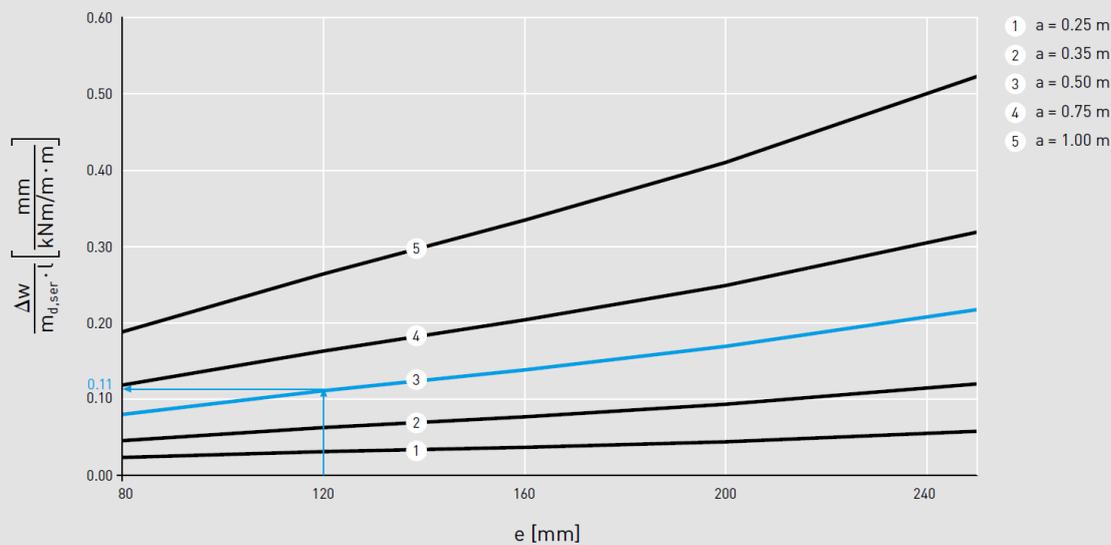


Figure 7 : Déformations supplémentaires dues aux éléments ARBO sur les dalles en porte-à-faux

5. Isolation thermique

Les exigences en matière d'isolation thermique des bâtiments ont beaucoup augmenté au cours des dernières années et deviendront de plus en plus importantes. Ceci concerne en premier lieu les exigences en matière d'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments. Cependant, avec l'amélioration de l'isolation du toit, des murs, des portes et des fenêtres, l'influence des ponts thermiques sur la consommation d'énergie pour le chauffage d'un bâtiment augmente.

On entend par pont thermique une zone de l'enveloppe de bâtiment par laquelle la chaleur transite vers l'extérieur plus vite qu'à travers les éléments de construction adjacents. Au niveau de la construction en béton armé, les ponts thermiques apparaissent là où la transmission d'un effort est nécessaire entre un élément de construction avec isolation thermique et un élément de construction sans isolation thermique. La dalle de plafond continue en direction de la dalle en porte-à-faux est un exemple classique. Un autre exemple est la liaison de transition entre les zones non chauffées (par ex. caves) et les zones chauffées (par ex. espace habité).

Pour le contrôle de l'isolation thermique au niveau des ponts thermiques, le coefficient de transmission thermique linéique (valeur ψ) est déterminant. Ce coefficient prend en compte les pertes supplémentaires d'une anomalie dans le sens longitudinal. Il s'agit en l'occurrence d'une valeur corrective du transit de chaleur en partant d'un élément de construction de conception plane sans ponts thermiques. Pour la vérification des besoins en énergie liés au chauffage, il existe deux méthodes différentes selon la norme SIA 380/1:2009. La vérification peut s'effectuer d'une part par le biais des exigences globales et d'autre part par le biais des exigences concernant les différents éléments structuraux. Généralement une vérification par le biais des exigences concernant les différents éléments structuraux est plus simple dans la mesure où, pour la vérification par la méthode globale, il faut intégrer le calcul des besoins en énergie liés au chauffage. Tandis que pour la vérification par le biais des exigences concernant les différents éléments structuraux, il suffit de respecter les valeurs limites de la norme ou de tendre vers les objectifs chiffrés figurant dans la norme.

D'après la norme SIA 380/1:2009, tableau 3, les valeurs limites et les objectifs chiffrés pour le coefficient de transmission thermique linéique (valeur ψ) sont de 0,30 W/(m·K) ou de 0,15 W/(m·K) concernant les ponts thermiques pour la vérification en matière de porte-à-faux par le biais des exigences concernant les différents éléments structuraux. Comme cependant il faut également prendre en compte la transmission thermique au niveau des ponts thermiques pour la vérification globale, il convient, pour une vérification énergétique optimale, de respecter ces valeurs limites, même pour une vérification globale, ou de tendre vers les objectifs chiffrés.

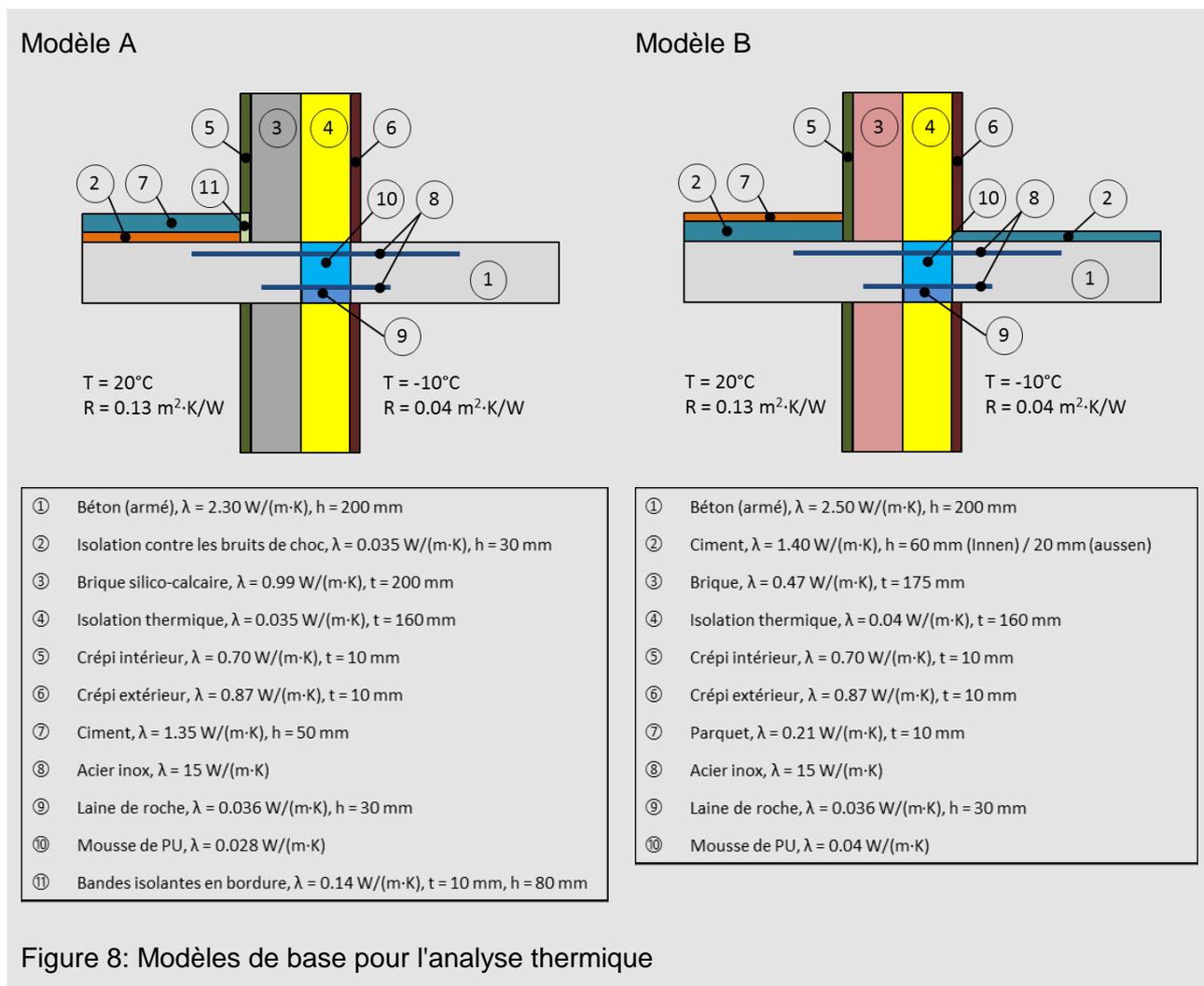
La transmission thermique ou la consommation d'énergie pour le chauffage n'est cependant pas le seul critère pour le calcul thermique. Outre la considération énergétique, il convient également de prendre en compte le climat intérieur et la condensation qui joue un rôle capital pour le confort et les risques d'apparition de moisissures. Ces exigences sont définies dans la norme SIA 180. Comme ces critères deviennent rarement déterminants pour les éléments d'armature thermo-isolants (la prudence est cependant recommandée pour les éléments structuraux en béton armé d'un seul tenant), ils ne feront pas l'objet de commentaires plus détaillés dans le présent document.

Calculs thermiques

Pour le calcul du coefficient de transmission thermique linéique (valeur ψ), les calculs EF 3D sont nécessaires. Les éléments ARBO ont évolués grâce aux calculs thermiques permettant d'obtenir une isolation thermique optimale sans concession en matière de sécurité structurale ou d'aptitude au service.

Pour mettre en évidence les avantages thermiques des éléments ARBO, plusieurs facteurs influents, comme l'épaisseur de l'isolation et l'entraxe des éléments, ont été étudiées. Par ailleurs sont indiqués les résultats de deux autres types de conception. Ces types de conception ont été étudiés dans le cadre de l'évolution des éléments ARBO. Des éléments d'aspect identiques mis sur le marché ne présentent pas obligatoirement les mêmes résultats.

Deux modèles différents ont été utilisés comme modèles de base pour étudier l'influence de la conception du modèle. Les calculs comparatifs présentés ci-dessous ont été effectués, à l'exception de la comparaison de l'entraxe, avec le modèle A. Le modèle B correspond sur le principe au modèle utilisé pour le calcul des valeurs thermiques dans les documentations techniques.



Le modèle A est un modèle actualisé par rapport au modèle B qui a été utilisé auparavant comme base pour les calculs thermiques des éléments ARBO. Le modèle A a été créé à partir du modèle de calcul de l'institut allemand Passivhaus. Cependant, à l'inverse du modèle de l'institut Passivhaus, l'épaisseur de l'isolation a été réduite et de la brique silico-calcaire a été utilisé au lieu du béton armé comme matériau pour les murs. Comparativement au modèle B, plusieurs conductibilités thermiques ont également été actualisées. Pour la dalle en béton armé, $\lambda = 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ au lieu de $\lambda = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ est utilisé dans le modèle A. La conductibilité thermique des dalles en béton armé dépend généralement du taux d'armature. Pour les dalles de balcon, la valeur généralement utilisée est $2,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. C'est pourquoi cette valeur a été adaptée. Une autre actualisation concerne la conductibilité thermique de la couche d'isolation thermique du mur et la couche d'isolation thermique au niveau de l'élément. Pour les murs, la référence retenue pour le matériau d'isolation thermique est celle habituellement utilisée de nos jours avec une conductibilité thermique $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ au lieu de $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Au niveau de l'élément, la mousse de PU actuellement utilisée présentant une conductibilité thermique $\lambda = 0.028 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a été modélisée dans le modèle A. Auparavant la valeur retenue pour simplifier dans le calcul même pour l'isolation thermique au niveau de l'élément la conductibilité thermique de l'isolation thermique était $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Ceci explique en plus des modifications géométriques et structurelles sur les modèles également les modifications spécifiques au matériau.

Influence du modèle de base

Le coefficient de transmission thermique linéique n'est valable fondamentalement que pour le modèle considéré. Afin de connaître l'importance de l'influence de plusieurs modèles de base, deux modèles différents ont été étudiés. Les modèles étudiés sont présentés sur la Figure 8. Même si la valeur U des structures de murs (modèle A : $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; modèle B : $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) des deux modèles se différencie et si plusieurs détails de conception et plusieurs paramètres concernant les matériaux ont été utilisés, il n'en résulte pour le coefficient de transmission thermique linéique qu'une différence réduite d'environ 5 %. Cette étude permet de conclure que, pour des structures de murs semblables, les coefficients de transmission thermique indiqués dans les documentations techniques présentent également une précision suffisante pour être utilisés.

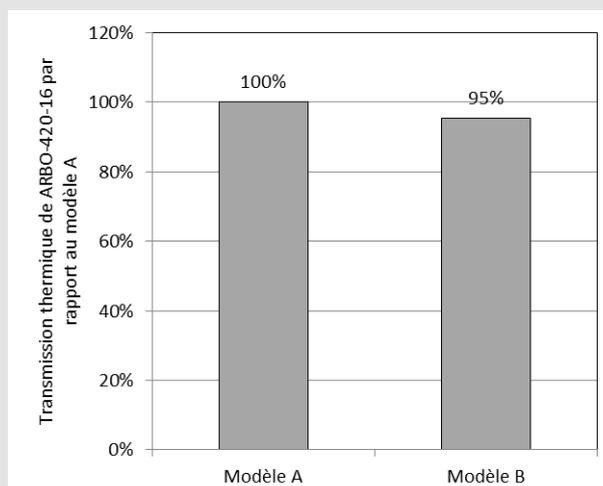


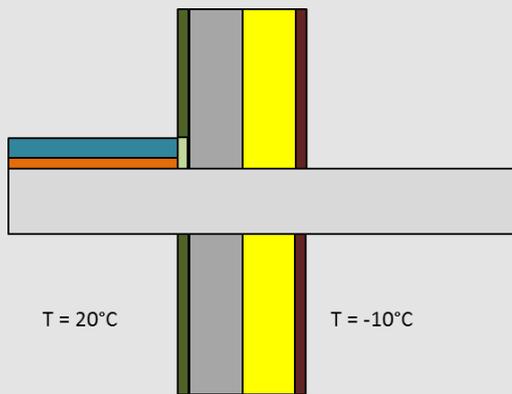
Figure 9 : Comparaison de la transmission thermique pour différents modèles de base concernant un élément ARBO 420-16

La Figure 10 montre les différents types de conception étudiés. Pour mettre en évidence l'efficacité des éléments d'armature thermo-isolants, une dalle d'un seul tenant a également été modélisée. De plus un ARBO-420 et un ARBO-420Plus avec une épaisseur d'isolation de 8 cm ont été modélisés, car le standard le plus utilisé est une isolation de 8 cm d'épaisseur. Toutefois Aschwanden recommande d'utiliser au niveau de l'élément la même épaisseur d'isolation qu'au niveau du mur afin de garantir une isolation thermique adaptée à la période actuelle. C'est la raison pour laquelle ont été également modélisés un ARBO-420 et un ARBO-420Plus avec une épaisseur d'isolation de 16 cm.

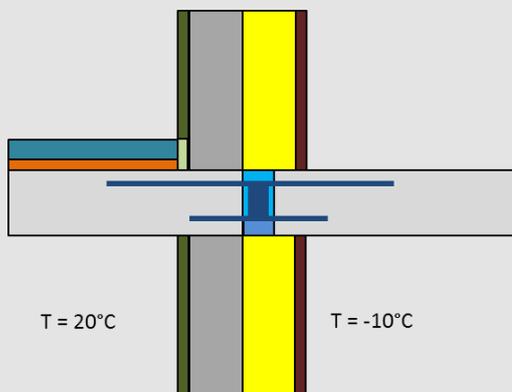
Par leur type de conception, les éléments ARBO ainsi que les éléments ARBO Plus en particulier sont étudiés pour une isolation thermique optimale et contribuent ainsi aux économies d'énergie. Ce doit être également en fin de compte l'objectif principal des éléments d'armature thermo-isolants. Plusieurs détails de conception sont déterminants pour obtenir ces propriétés thermiques exceptionnelles. Deux choses sont particulièrement importantes : la plaque de cisaillement ne doit pas être en contact direct avec le béton armé et il faut utiliser systématiquement au niveau de l'élément de la mousse de PU présentant une isolation thermique de $\lambda = 0,028 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

En guise de comparaison, deux autres calculs ont été effectués pour montrer l'influence des détails de conception. Avec le type de conception 1, la plaque de cisaillement va jusqu'au bord du béton et la conductibilité thermique de l'isolation thermique a été augmentée à $\lambda = 0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Avec le type de conception 2, la plaque de cisaillement s'insère dans la dalle en béton armé et la conductibilité thermique de l'isolation thermique a encore été augmentée à $\lambda = 0,045 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Dans tous les cas, le nombre et le diamètre des barres de compression et des barres de traction ainsi que le nombre de plaques de cisaillement ont été définis afin d'obtenir un transfert de charge comparable. Avec le type de conception 2, grâce à la transmission directe de la charge dans la plaque de cisaillement, le diamètre des barres de compression et des barres de traction a pu être réduit à 12 mm et le nombre de plaques de cisaillement a pu être divisé par deux par rapport aux éléments ARBO.

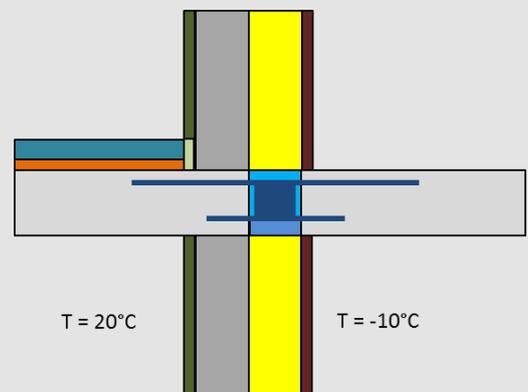
Dalle d'un seul tenant



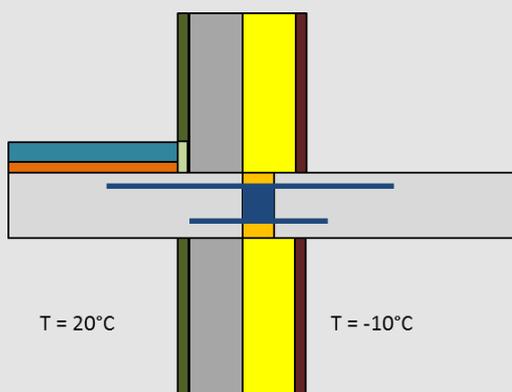
ARBO-420-08 / ARBO-420Plus-08
(Isolation en largeur pour l'élément e = 80 mm)



ARBO-420-08 / ARBO-420Plus-08
(Isolation en largeur pour l'élément e = 160 mm)



Type de conception 1
Plaque de cisaillement contre le bord du béton
(Isolation en largeur pour l'élément e = 80 mm)



Type de conception 2
Plaque de cisaillement dans la dalle en béton
(Isolation en largeur pour l'élément e = 80 mm)

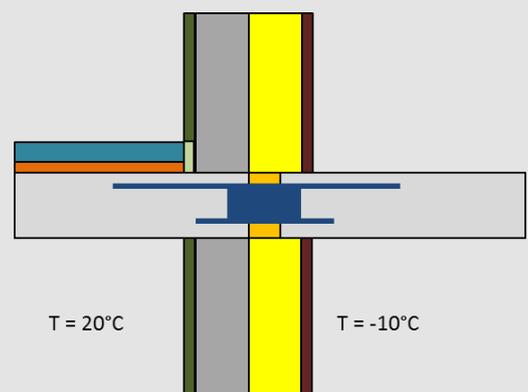


Figure 10 : Différents types de conception étudiés

Influence des éléments ARBO

La Figure 11 montre la comparaison entre les éléments ARBO avec une épaisseur d'isolation de 8 cm et un entraxe des éléments de 0,35 m et une dalle en béton armé d'un seul tenant. Il s'avère que les éléments ARBO constituent un avantage considérable en matière d'isolation thermique. La transmission thermique par pont thermique est plus de trois fois plus importante sur une dalle d'un seul tenant que sur une liaison avec dalle en porte-à-faux isolée avec des éléments ARBO.

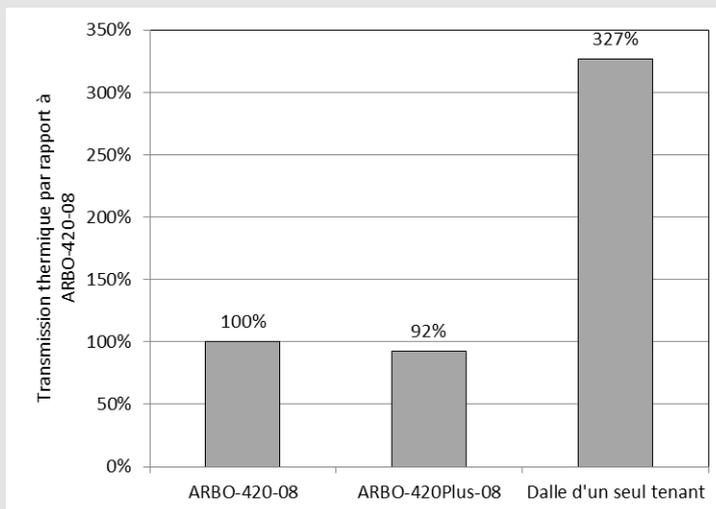


Figure 11 : Comparaison de la transmission thermique entre des éléments ARBO et une dalle d'un seul tenant en référence à ARBO-420-08 (épaisseur d'isolation = 8 cm, entraxe = 0,35 m)

Si on utilise l'élément ARBO PLUS recommandé du point de vue thermique, la différence est encore plus importante. La Figure 12 montre la comparaison d'un ARBO-420-16 et d'un ARBO-420Plus-16 avec une épaisseur d'isolation de 16 cm et un entraxe des éléments de 0,35 m avec une dalle en béton armé d'un seul tenant. Comparativement à la conception des éléments ARBO Plus, la transmission thermique est plus de cinq fois supérieure pour une dalle d'un seul tenant. Pour le dire autrement, la transmission thermique dans les éléments ARBO est seulement de 18 % par rapport à une dalle d'un seul tenant. Cela a une influence directe sur la consommation d'énergie pour le chauffage du bâtiment et sur le confort à l'intérieur du bâtiment.

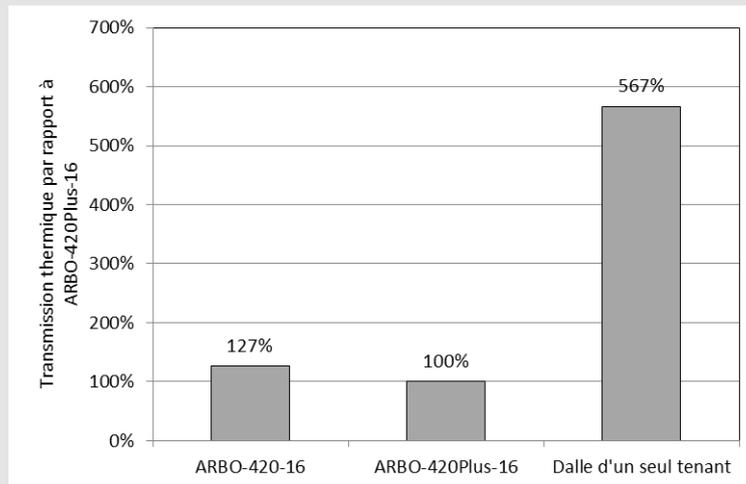


Figure 12 : Comparaison de la transmission thermique entre des éléments ARBO et une dalle d'un seul tenant en prenant comme référence ARBO-420Plus-16 (épaisseur de l'isolation = 16 cm, entraxe = 0,35 m)

Influence de l'épaisseur de l'isolation

La valeur la plus importante pour les pertes thermiques par le pont thermique (liaison avec la dalle en porte-à-faux) est l'épaisseur de l'isolation au niveau des éléments. Les éléments ARBO sont conçus de manière qu'il soit possible d'utiliser la même épaisseur d'isolation thermique au niveau des éléments que sur le mur (jusqu'à 25 cm). Les calculs montrent qu'en doublant l'épaisseur de l'isolation du joint on obtient une forte réduction des pertes thermiques au niveau du pont thermique. Il est essentiel que le type de conception des éléments ARBO n'implique pas d'inconvénient majeur dans le transfert de charge (sécurité structurale) ni dans le comportement en matière d'aptitude au service.

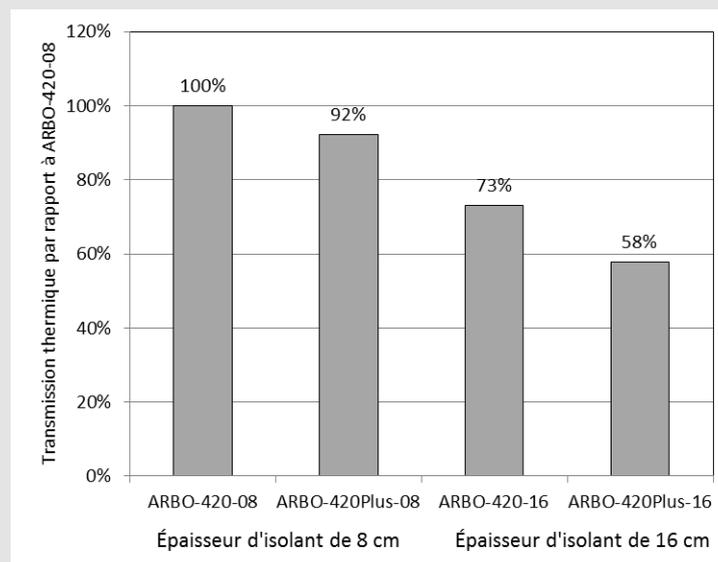


Figure 13: Comparaison de la transmission thermique pour différentes épaisseurs d'isolation en prenant comme référence ARBO-420-08 (épaisseur de l'isolation = 8 cm)

Influence de l'entraxe des éléments

Un autre paramètre déterminant est l'entraxe des éléments ARBO. Si on double l'entraxe des éléments, on n'obtient pas automatiquement, en raison du caractère tridimensionnel du flux thermique, une réduction de moitié, mais cependant une réduction importante de la transmission thermique. La Figure 14 montre la comparaison de la transmission pour les éléments ARBO-420-08 avec un entraxe respectivement de 0,25 m, 0,50 m et 1,00 m. Il s'avère qu'un doublement de l'entraxe des éléments entraîne une réduction de la transmission thermique qui atteint 57 %. Avec un nouveau doublement de l'entraxe à 1,00 m, la transmission thermique n'est plus de 32 % par rapport à celle constatée pour un entraxe des éléments de 0,25 m. Le fait que l'entraxe des éléments peut être choisi au cas par cas, et qu'il puisse aussi être calculé facilement grâce au logiciel Aschwanden, permet d'avoir une isolation thermique optimale.

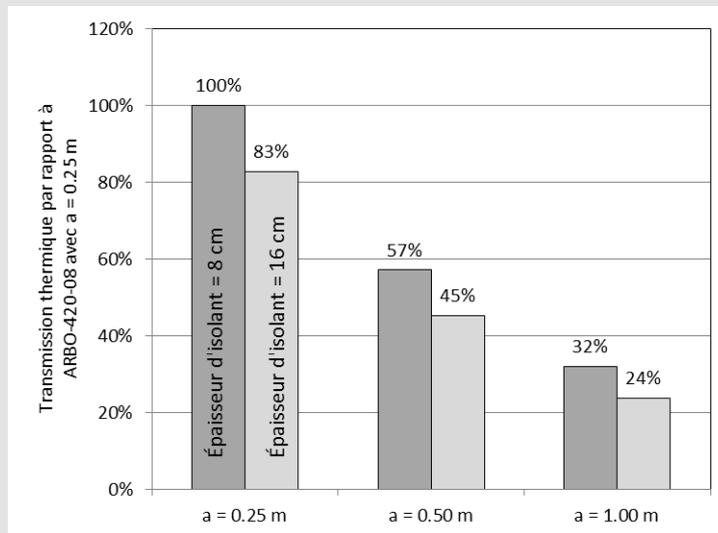


Figure 14 : Comparaison de la transmission thermique pour différents entraxes des éléments en prenant comme référence ARBO-420-08 (épaisseur de l'isolation = 8 cm) avec un entraxe de 0,25 m

Influence du mode de conception

La Figure 15 montre la transmission thermique en prenant comme référence ARBO 420-08 en comparaison avec les types de conception 1 et 2. Il s'avère qu'une modification même minime, comme la prolongation de la plaque de cisaillement jusqu'au bord du béton, a une influence importante sur le pouvoir d'isolation thermique. Avec le type de conception 1, il faut s'attendre, comparativement aux éléments ARBO-420-08, à une augmentation de 23 % de la transmission thermique. Si la plaque de cisaillement s'insère dans la dalle en béton armé, la transmission thermique augmente même de 38 %. Ceci bien que, pour une charge inchangée, il faille utiliser des barres plus fines et un nombre de plaques de cisaillement plus faible.

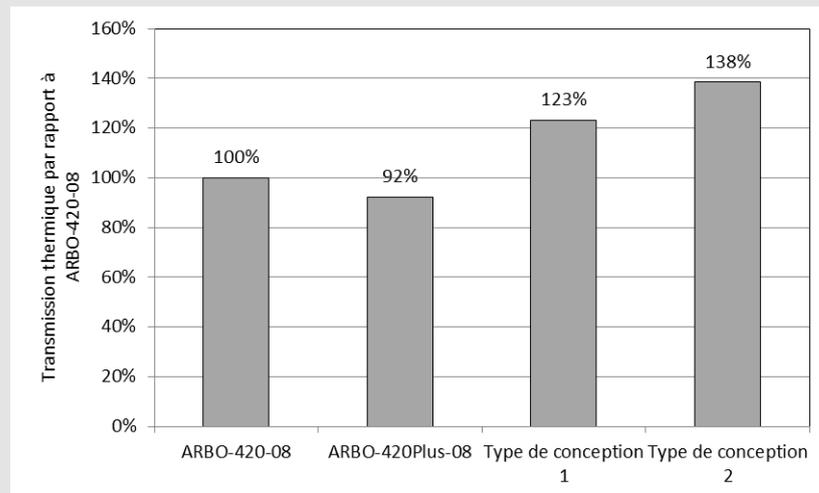


Figure 15 : Comparaison de la transmission thermique pour différents types de conception en prenant comme référence ARBO-420-08 (épaisseur de l'isolation = 8 cm)

Selon le type de conception, il ne sera, le cas échéant, pas possible d'augmenter l'épaisseur de l'isolation sans créer des problèmes de sécurité structurale (flambage de la barre de compression) ou d'aptitude au service (rigidité). Surtout si on utilise des barres de compression et des barres de traction de faible diamètre et si tous les couples de barres sont reliés à une plaque de cisaillement. À l'inverse, les éléments ARBO peuvent présenter des épaisseurs d'isolation plus grandes sans altération importante de la sécurité structurale et de l'aptitude au service, puisque chaque couple de barres est relié à une plaque de cisaillement et qu'avec $\varnothing 14$ mm le diamètre des barres est suffisamment grand. Pour plus de détails à ce sujet, voir le chapitre Sécurité structurale et aptitude au service.

Il est recommandé d'utiliser systématiquement pour les éléments ARBO la même épaisseur d'isolation que pour le mur. Si on compare les résultats à ceux obtenus avec un élément ARBO 420Plus avec une épaisseur d'isolation de 16 cm, les différences sont encore plus importantes. Comparativement à un élément ARBO 420Plus-16, la transmission thermique est plus de deux fois supérieure avec le type de conception 1 ou 2 avec une épaisseur d'isolation standard de 8 cm. C'est-à-dire que les besoins en énergie liés au chauffage en raison du balcon sont, avec l'utilisation des éléments ARBO-420Plus-16, de plus de la moitié inférieurs à ceux nécessaires en cas d'utilisation des éléments du type de conception 1 ou 2.

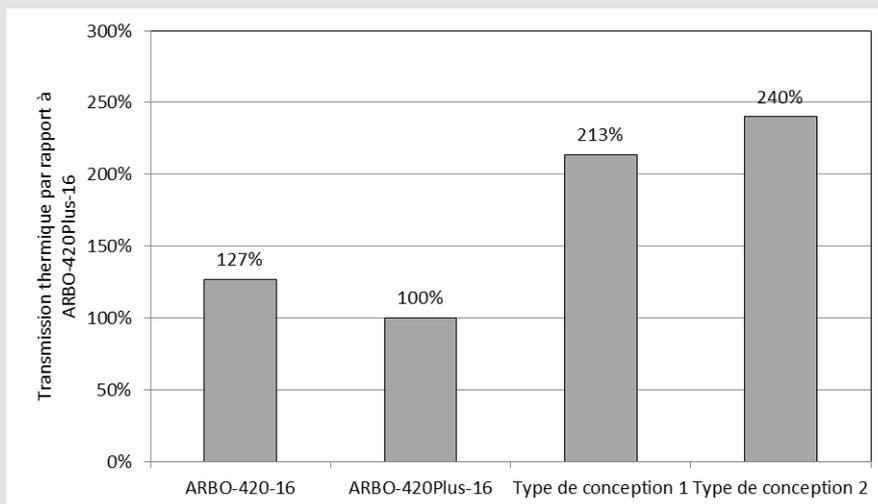


Figure 16 : Comparaison de la transmission thermique pour différents types de conception en prenant comme référence ARBO-420Plus-16 (épaisseur de l'isolation = 16 cm)

Dimensionnement à partir des diagrammes

Les coefficients de transmission thermique linéiques figurent dans la documentation technique correspondant aux différents éléments ARBO. Les indications des diagrammes ne sont généralement valables que pour le modèle considéré présenté dans le document d'introduction. Toutefois, comme il a été démontré auparavant, on peut escompter des coefficients de transmission thermique semblables pour des structures de murs semblables. Les coefficients de transmission thermique linéiques sont représentés sur les diagrammes en fonction de l'entraxe a des éléments et de l'épaisseur e de l'isolation. Comme dans l'étude présentée auparavant, il s'avère que l'entraxe des éléments a une influence importante sur les coefficients de transmission thermique. Il s'avère par ailleurs que l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation permet d'accroître notablement le pouvoir d'isolation thermique. À l'inverse de l'entraxe des éléments, l'épaisseur de l'isolation au niveau des éléments n'a qu'une influence minimale sur la sécurité structurale et l'aptitude au service. C'est pourquoi il est recommandé de choisir l'épaisseur d'isolation la plus grande possible. L'idéal est d'utiliser la même épaisseur d'isolation que pour la zone du mur attenante.

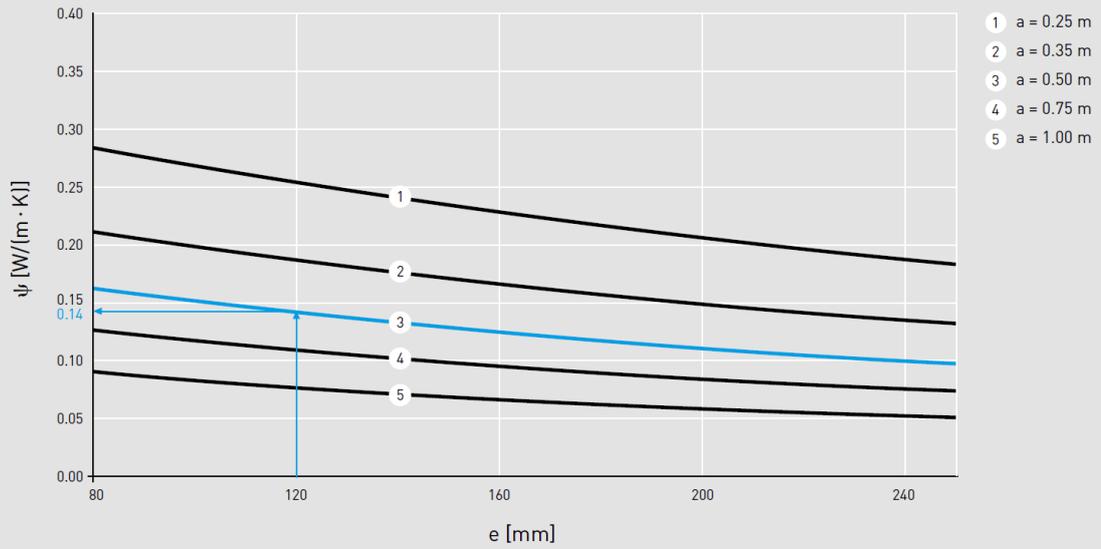


Figure 17 : Diagramme permettant de déterminer le coefficient de transmission thermique linéique

6. Transmission des bruits de choc par les balcons et les coursives extérieures

Introduction

Les balcons sont de plus en plus répandus dans les immeubles. Alors qu'autrefois les balcons de petites dimensions n'incitaient pas à une utilisation intensive, la demande aujourd'hui en matière de balcons concerne des surfaces et des porte-à-faux de plus en plus importants. Des porte-à-faux de 3 m et plus ne sont pas rares. Les balcons de telles dimensions incitent naturellement à une utilisation plus intensive engendrant des émissions de bruits de choc en conséquence. Pour ces raisons, il convient aujourd'hui de ne pas négliger non plus la protection contre les bruits de choc, en particulier si le balcon donne sur des pièces utilisées pour dormir. En Suisse, contrairement par exemple à l'Allemagne, il existe des directives établissant des exigences minimales en matière de bruits de choc pour les balcons également.

Cependant l'exigence est de 10 dB moins sévère que pour les coursives extérieures. Une isolation phonique efficace est aujourd'hui absolument indispensable pour la maîtrise d'ouvrage, car les ponts de bruit solidien dans les habitations peuvent avoir des conséquences franchement indésirables. Du fait de la demande croissante de calme et de repos de la part de notre société, il faut tenir compte des exigences sévères en matière de protection contre le bruit dès la conception. Ces derniers temps, les maîtres d'ouvrage sont de plus en plus convaincus qu'une bonne protection contre le bruit peut entraîner une augmentation significative de la valeur de l'immeuble. Pour cette raison, il est de plus en plus souvent exigé, en particulier pour les propriétés par étages, des standards élevés en matière de protection contre les bruits de choc.

Normes

La protection contre le bruit est régie par l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB). Dans l'article 32, le maître d'ouvrage doit s'assurer

« ...que l'isolation acoustique des éléments extérieurs et des éléments de séparation des locaux à usage sensible au bruit, ainsi que des escaliers et des équipements, satisfont aux règles reconnues de la construction. Sont notamment applicables ... contre le bruit des autres installations stationnaires, les exigences minimales selon la norme SIA 181 de l'Association suisse des ingénieurs et architectes. »

L'OPB fait ici référence à la norme SIA 181 :

- SIA 181:2006 « Protection contre le bruit dans le bâtiment »

La version de l'année 2006 est toujours en vigueur.

La norme SIA 181 fait encore référence à différentes normes internationales dont celles figurant ci-dessous concernent l'étude dont il est question :

- ISO 140-7 (SN EN ISO 140-7): Acoustique – Mesurage de l'isolation acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 7 : Mesure de l'isolation contre les bruits de choc des dalles dans les bâtiments

- ISO 140-6 (SN EN ISO 140-6): Acoustique – Mesurage de l'isolation acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 6 : Mesure de l'isolation contre les bruits de choc des dalles en laboratoire
- ISO 717-2 (SN EN ISO 717-2): Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 2 : Protection contre les bruits de choc
- La norme ISO 140-6 a été agrégée en 2010 à d'autres normes dans la nouvelle série de normes ISO 10140. La norme ISO 10140-3 correspond par sa teneur en grande partie à la norme ISO 140-6.
- Les normes ISO 140-7 et ISO 140-6 définissent les procédures de mesure de l'isolation contre les bruits de choc dans les bâtiments ou en laboratoire. Ces procédés donnent les valeurs d'isolation contre les bruits de choc pour un spectre de tiers d'octave.

La norme ISO 717-2 définit un procédé permettant de transformer en indice les valeurs d'isolation contre les bruits de choc liées à la fréquence.

Le procédé de détermination des indices d'affaiblissement des bruits de choc est valable au niveau international comme le prouve la dénomination de la norme. Toutefois la définition de valeurs-seuils est régie au niveau national. En Suisse, ces valeurs-seuils sont définies par la norme SIA 181. La référence utilisée pour la protection contre la transmission des bruits de choc est le niveau des bruits de choc standard pondéré L_{tot} adapté au niveau spectral et corrigé en volume (SIA 181, § 3.2.2.1). Pour l'exprimer simplement, il s'agit par exemple de frapper (émetteur) sur une dalle à partir d'un marteau normalisé dans un bâtiment existant et de mesurer le niveau du bruit produit dans l'espace à évaluer (récepteur). Par conséquent la protection contre les bruits de choc est d'autant meilleure que le niveau est faible ou l'exigence en matière de protection contre les bruits de choc est d'autant plus élevée que la valeur-seuil exigée est faible.

Les valeurs exigées L' pour les bruits de choc (valeurs-seuils) figurent dans le tableau 5 de la norme SIA 181. Il s'agit là d'exigences minimales. Dans ce tableau, la « nuisance sonore » définit le degré de la perturbation (émetteur). Pour les couloirs, les escaliers, les coursives extérieures, mais aussi pour les salles de séjour et les chambres à coucher, la nuisance sonore doit être modérée. Pour les balcons, il existe une réglementation particulière selon le paragraphe 3.2.2.5 : la nuisance sonore est « faible », mais avec des valeurs supérieures de 5 dB d'après le tableau 5 de la norme SIA 181. En cas d'exigences plus sévères (définies par contrat), il conviendra d'appliquer des valeurs inférieures de 3 dB par rapport au tableau 5 de la norme SIA 181. Une réglementation particulière s'applique aussi pour les transformations (§ 3.2.2.4) : il conviendra d'appliquer des valeurs supérieures de 2 dB par rapport au tableau 5 de la norme SIA 181. La sensibilité au bruit (récepteur) est définie au paragraphe 2.3 de la norme SIA 181. Pour les pièces destinées au séjour, au sommeil et aux tâches intellectuelles, la sensibilité au bruit à prendre en considération est « moyenne ». Cette sensibilité au bruit concerne par conséquent dans la pratique les principales applications. Il est ainsi possible de simplifier les valeurs exigées L' selon la norme SIA 181 pour le cas exposé de transmission des bruits de choc par les balcons et les coursives extérieures comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1 : Valeurs exigées L' selon la norme SIA 181 pour les balcons et les coursives extérieures pour une sensibilité au bruit « moyenne ».

Sensibilité au bruit « moyenne »		Balcon	Coursive extérieure
Exigences minimales	Bâtiments neufs	63 dB	53 dB
	Rénovation	65 dB	55 dB
Exigences élevées	Bâtiments neufs	60 dB	50 dB
	Rénovation	62 dB	52 dB

La valeur exigée L' est comparée avec le niveau des bruits de choc standard L'_{tot} adapté au niveau spectral et corrigé en volume. La valeur d'adaptation au spectre¹ pour les transmissions basse fréquence C_i est spécifique à l'élément structural et se situe entre 0 et 2 dB pour les dalles massives courantes.

¹ Valeur d'adaptation au spectre : valeur, en décibels, ajoutée à l'indice pour tenir compte du spectre des bruits de choc correspondant à un bruit de pas normal.

7. Exigences en matière de résistance au feu et de réaction au feu d'éléments de raccordements de dalles en porte-à-faux

Normalement, les éléments de raccordements de dalles en porte-à-faux pour balcons de bâtiments de faible et de moyenne hauteur (jusqu'à une hauteur de bâtiment de 30 m) ne sont soumis à aucune exigence en matière de sécurité incendie, dans la mesure où ils ne servent pas de voie d'évacuation, de compartimentage coupe-feu ou de bande filante de protection incendie. Des exigences peuvent cependant être imposées dans des cas spéciaux, en particulier pour des bâtiments élevés. Les sections suivantes démontrent toutefois que les éléments ARBO peuvent être utilisés pour toute hauteur de bâtiment, sans mesures supplémentaires pour balcons, voies d'évacuation (coursives extérieures) et bandes filantes de protection incendie.

Selon la norme de protection incendie 1-15 de l'Association des Établissements cantonaux d'Assurance Incendie (AEAI), la résistance au feu des systèmes porteurs et des éléments de construction constituant des compartiments coupe-feu doit être définie de telle manière que la sécurité des personnes soit assurée de même que la lutte anti-incendie et que la propagation du feu à d'autres compartiments coupe-feu soit empêchée pendant une durée définie. Dans ce contexte, les exigences concernant les éléments de construction se laissent répartir en deux catégories : la résistance en cas d'incendie et l'empêchement de la propagation du feu. La résistance est indiquée par la lettre R (p. ex. R60). Suivant le type de bâtiment et le concept de protection incendie (installation sprinklers), diverses exigences sont définies dans la directive de protection incendie 15-15 « Distances de sécurité incendie, systèmes porteurs et compartiments coupe-feu ». Pour empêcher la propagation de l'incendie, l'étanchéité (E) et l'isolation thermique (I) sont les critères déterminants pour les éléments de construction. Par contre, pour les matériaux de construction, le critère déterminant est la combustibilité du matériau de construction. Un matériau de construction est classé RF1 (pas de contribution au feu), RF2 (faible contribution au feu), RF3 (contribution admissible au feu) ou RF4 (contribution inadmissible au feu) (directive de protection incendie 13-15 « Matériaux et éléments de construction »). Des matériaux de construction qui, du fait de la fumée produite, de la formation de gouttelettes ou de particules enflammées ou de leur corrosion, peuvent avoir des effets inacceptables en cas d'incendie sont classés avec la mention cr (p. ex. RF2(cr)) en raison de leur comportement critique. Il importe cependant de mentionner clairement que les éléments de raccordements de dalles en porte-à-faux sont classés comme éléments de construction et non comme matériaux de construction².

Les éléments de raccordements de dalles en porte-à-faux peuvent être considérés d'une part comme système porteur et, d'autre part, comme élément de construction résistant au feu, sachant que la définition comme systèmes porteurs se rapporte en premier lieu à des éléments de construction nécessaires au transfert de la charge et à la stabilisation du bâtiment. Les éléments en porte-à-faux, tels que les balcons, constituent ici des cas particuliers, car ils ne supportent généralement qu'eux-mêmes et n'ont aucun effet porteur ou stabilisateur pour l'ensemble de la structure. Par conséquent, les balcons non prévus comme voie d'évacuation ne sont généralement soumis à aucune exigence particulière en matière de système porteur, indépendamment de la hauteur du bâtiment. Font exception à cette règle les bâtiments élevés sans installations d'extinction à protection intégrale, dans lesquels à chaque étage, dans la zone d'élément de raccordement entre la dalle d'étage et la paroi extérieure, il faut adopter des mesures permettant

de limiter la propagation de l'incendie (directive de protection incendie 15-15 article 3.7.13 & annexe). Dans ce contexte, il est possible de renvoyer aussi à la liste des décisions de la commission pour la technique de construction concernant les essais normalisés EN de matériaux et parties de construction (point 1.38), laquelle mentionne que les éléments de raccords de dalles en porte-à-faux résistant au feu sans fonction de compartimentage coupe-feu et constitués de matériaux combustibles peuvent être utilisés dans les constructions de parois extérieures pour toutes les hauteurs de bâtiments (y compris pour les bâtiments élevés). Cependant, la résistance au feu de l'élément de raccordement de dalles en porte-à-faux doit comporter au moins REI 30.

Des exigences particulières en matière de protection incendie s'appliquent à des éléments de construction en porte-à-faux prévus comme voie d'évacuation (en particulier les coursives extérieures). L'article 2.5.4 de la directive de protection incendie 16-15 (« Voies d'évacuation et de sauvetage ») exige pour les surfaces de circulation de coursives extérieures, aboutissant uniquement à une voie d'évacuation verticale (cage d'escalier), une résistance au feu minimale de 30 minutes. Si la coursive extérieure aboutit à des voies d'évacuation verticales aux deux extrémités, il n'existe pas d'exigences concernant la résistance au feu. La hauteur du bâtiment n'a pas d'importance pour les exigences en matière de résistance au feu des coursives extérieures.

Comme mesure empêchant la propagation de l'incendie sur des isolations thermiques extérieures crépies, il faut prévoir des bandes filantes de protection incendie, dans la mesure où le matériau d'isolation thermique utilisé ne correspond pas à la catégorie de réaction au feu RF1. Pour la construction d'une bande filante de protection incendie, l'association PSE suisse a élaboré un document (« Mesures de protection incendie pour isolation thermique extérieure crépie (ITEC) ») stipulant les exigences voire la conception constructive des bandes filantes de protection incendie. Concernant le fonctionnement d'un balcon ou de son élément de raccordement de dalles en porte-à-faux en tant que bande filante de protection incendie, il est fait mention entre autres de l'exigence REI 30. Cela signifie qu'un élément de raccordement de dalles en porte-à-faux avec REI 30 - défini au moyen d'essais de résistance au feu - peut être utilisé comme bande filante de protection incendie. Dans ce cas, il n'existe pas d'exigences supplémentaires pour l'élément de raccordement de dalles en porte-à-faux sur le plan des matériaux utilisés².

Au cours de l'essai de résistance au feu (cf. rapport d'expertise du MFPA Leipzig Éléments ARBO), les éléments ARBO ont démontré qu'ils remplissent les exigences de la classe REI 90. Ainsi, les éléments ARBO servent de système porteur et résistent au feu. C.-à-d., les éléments ARBO peuvent être utilisés comme bande filante de protection incendie. Cependant, il faut mentionner que la résistance au feu des éléments ARBO n'a pour l'instant été testée qu'avec une épaisseur d'isolation de 120 mm. Il n'est donc pas possible de se prononcer sur la résistance au feu avec une épaisseur d'isolation supérieure. Pour des épaisseurs d'isolation supérieures, on dispose cependant des éléments ARBO-RF. Au cours des essais de résistance au feu, ces derniers ont démontré qu'ils remplissent la classe REI 120 avec une épaisseur d'isolation allant jusqu'à 240 mm (cf. rapport d'expertise du MFPA Leipzig Éléments ARBO-RF). Par ailleurs, les éléments ARBO-RF sont constitués exclusivement de matériaux non combustibles. On dispose ainsi d'éléments correspondants ARBO et ARBO-RF pour répondre à diverses exigences.

² Il faut mentionner que les matériaux utilisés pour les éléments de raccords de dalles en porte-à-faux doivent en principe satisfaire au moins aux exigences RF3(cr). Les éléments ARBO remplissent ces exigences.

8. Exemple 1

Données de base

L'exemple 1 concerne un bâtiment avec un balcon en porte-à-faux sur le côté en longueur du bâtiment. Il porte sur la vérification de la sécurité structurale et de l'aptitude au service ainsi que sur l'étude de la transmission thermique. Concernant la vérification de la sécurité structurale et de l'aptitude au service sont présentés trois procédés différents. En premier lieu, l'étude porte sur la faisabilité dans le cadre d'un prédimensionnement à partir d'évaluations simples. Ensuite sont représentés d'une part le calcul avec un logiciel de calcul EF général et le calcul avec le logiciel ARBO/CRET (ou AxisVM avec le plug-in ARBO/CRET). À la fin de l'exemple, les diagrammes permettent de déterminer la transmission thermique à partir du pont thermique.

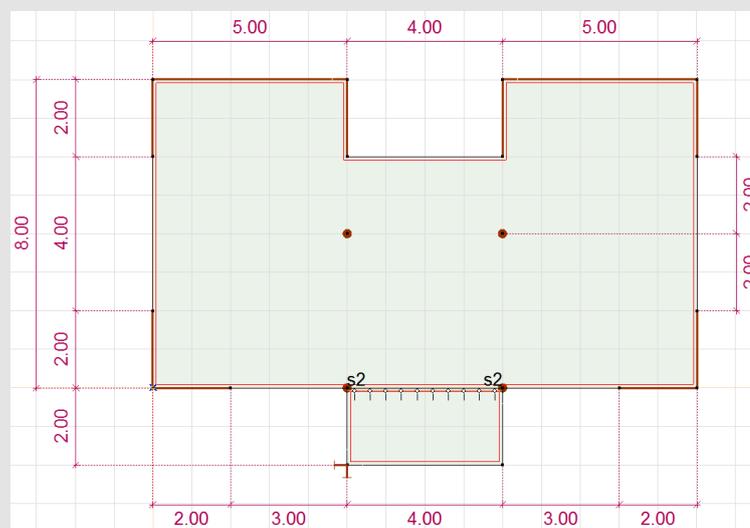


Figure 18 : Géométrie exemple 1

Matériau	C30/37 B500B	Appui linéique (Murs)	$R_x = 1E7 \text{ kN/m/m}$ $R_y = 0 \text{ kN/m/m}$ $R_z = 1E7 \text{ kN/m/m}$
Épaisseur de la dalle	$h = 180 \text{ mm}$		$R_{xx} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{yy} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{zz} = 0 \text{ kNm/m}$
Taille du maillage EF	Automatique (max. 0,40 m)	Appui ponctuel (Colonnes)	$R_x = 0 \text{ kN/m/m}$ $R_y = 0 \text{ kN/m/m}$ $R_z = 1E7 \text{ kN/m/m}$ $R_{xx} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{yy} = 0 \text{ kNm/m}$ $R_{zz} = 0 \text{ kNm/m}$

Charges et combinaisons de charges

Poids propre : 25 kN/m³
 Surcharge (partie intérieure) : 1 kN/m²
 Charge utile (partie intérieure) : 2 kN/m²
 Charge utile (balcon) : 3 kN/m²

Combinaison de charges 1 : Sécurité structurale

Situation de charge pour la vérification de la sécurité structurale

Partie intérieure

$$g_d + q_d = 1.35 \cdot (0.18 \cdot 25 + 1) + 1.5 \cdot 2 = 10.4 \text{ kN/m}^2$$

Balcon

$$g_d + q_d = 1.35 \cdot (0.18 \cdot 25) + 1.5 \cdot 3 = 10.6 \text{ kN/m}^2$$

Combinaison de charges 2 : Aptitude au service pour la vérification des flèches

Situation de charge quasi constante pour la vérification de la flèche maximale du balcon (pas de charge utile à l'intérieur)

Partie intérieure

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25 + 1) = 5.5 \text{ kN/m}^2$$

Balcon

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25) + 0.3 \cdot 3 = 5.4 \text{ kN/m}^2$$

Combinaison de charges 3 : Aptitude au service pour l'analyse des vibrations

Situation de charge quasi constante pour l'analyse des vibrations

Partie intérieure

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25 + 1) + 0.3 \cdot 2 = 6.1 \text{ kN/m}^2$$

Balcon

$$g_d + q_d = 1.0 \cdot (0.18 \cdot 25) + 0.3 \cdot 3 = 5.4 \text{ kN/m}^2$$

Pour l'analyse des vibrations, les charges doivent être recalculées en masse.

Éléments ARBO

Dans cet exemple les éléments utilisés sont des éléments ARBO-418-16 : éléments ARBO pour une épaisseur de dalle de 180 mm et une épaisseur d'isolation thermique de 160 mm

Prédimensionnement

Pour le prédimensionnement, la dalle en porte-à-faux est modélisée comme un porte-à-faux d'une largeur de 1,00 m.

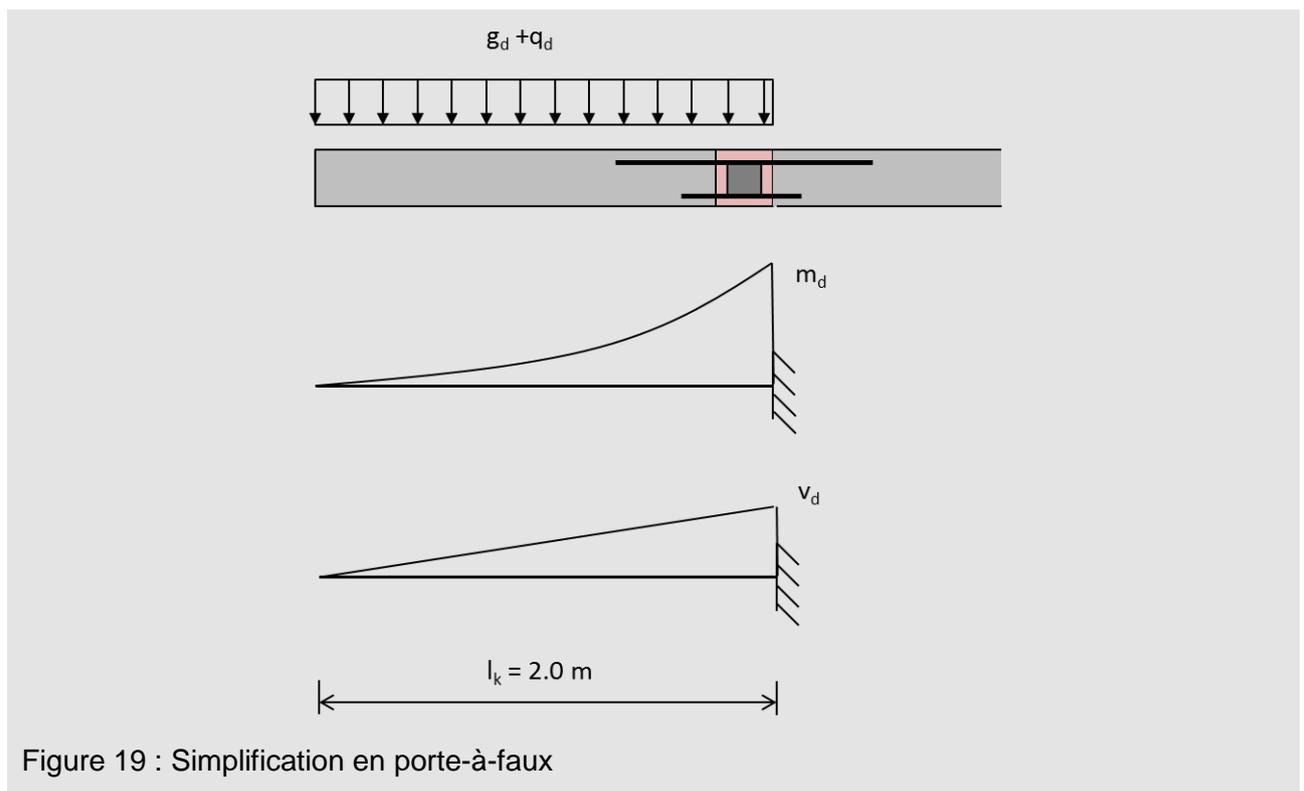


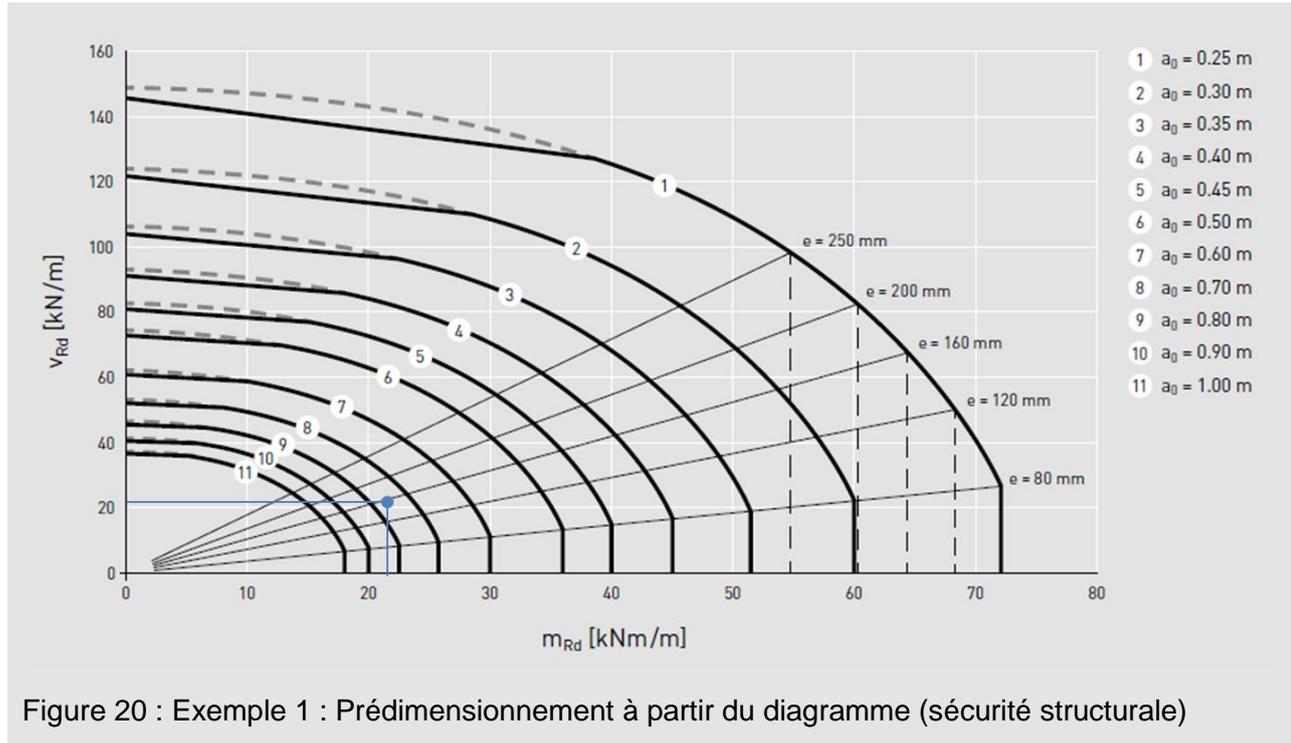
Figure 19 : Simplification en porte-à-faux

Cela entraîne des efforts intérieurs de :

$$m_d = 10.6 \cdot \frac{2.0^2}{2} = 21.2 \text{ kNm/m}$$

$$v_d = 10.6 \cdot 2.0 = 21.2 \text{ kN/m}$$

Sécurité structurale



Il s'avère que pour l'élément ARBO un entraxe d'environ 0,70 m à 0,80 m est nécessaire pour un moment de flexion de 21,2 kNm/m et un effort tranchant de 21,2 kN/m. Cela entraîne pour un balcon de 4,00 m de long un nombre de :

$$n = \frac{4.0}{0.75} + 1 = 7 \text{ éléments}$$

Flèches

Les calculs ci-dessous concernant les flèches sont basées sur l'hypothèse d'un porte-à-faux encastré. On suppose la semelle fixe sans rotation au niveau de l'encastrement. Ceci entraîne généralement une sous-évaluation des flèches. Dans l'exemple choisi, il s'avère que les flèches évaluées sont nettement inférieures comparées à un calcul EF. C'est pourquoi, pour obtenir une solution fiable, il est recommandé en général un calcul EF.

Sans tenir compte d'une éventuelle rotation à un endroit ou à un autre de la zone de jonction, la flèche de la dalle s'obtient avec la formule

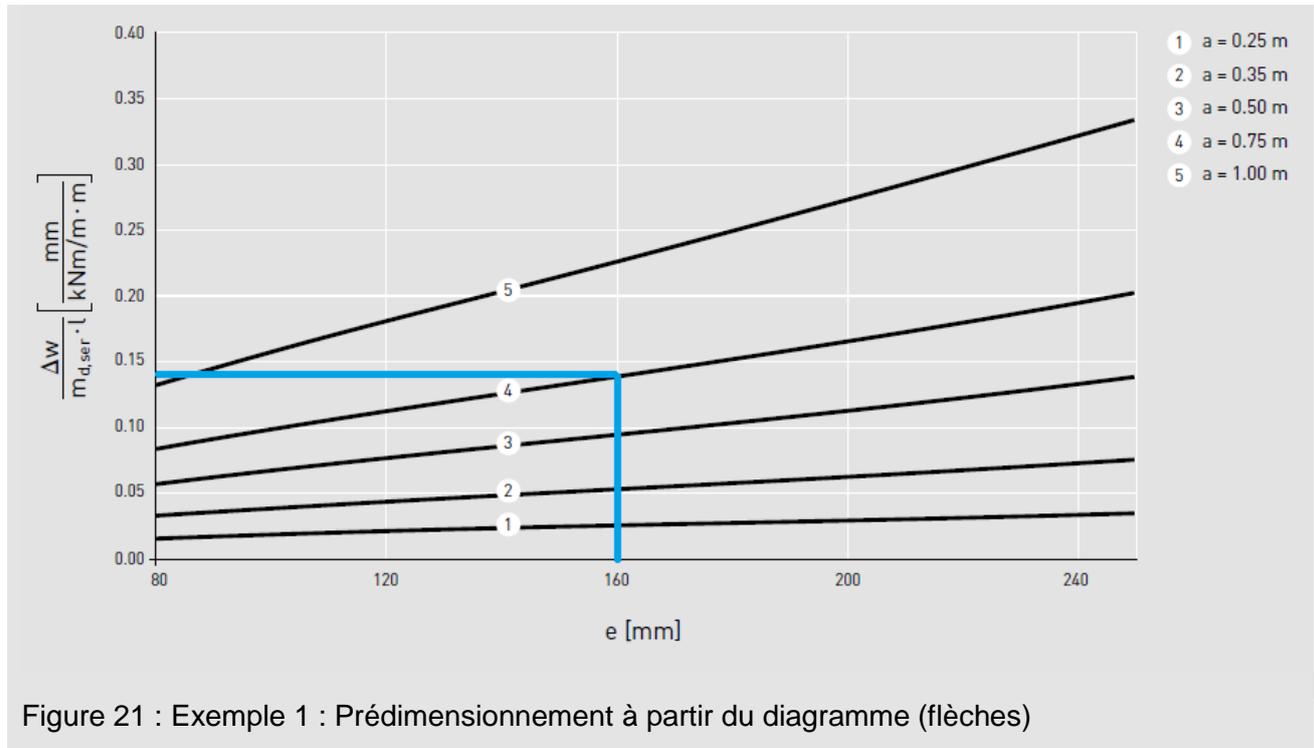
$$w_{dalle} \cong \frac{1}{8} \cdot \frac{ql^4}{EI_{\infty}^I} = \frac{1}{8} \cdot \frac{5.4 \cdot 1000 \cdot 2^4}{2916} = 3.7 \text{ mm}$$

EI_{∞}^I étant la rigidité de la dalle du balcon à section fissurée et en tenant compte des effets à long terme.

On peut estimer que la rigidité de la dalle du balcon à section fissurée et effets à long terme est approximativement :

$$EI_{\infty}^I \cong \frac{1}{5} EI_0^I = \frac{1}{5} \cdot 30'000 \cdot \frac{180^3 \cdot 1000}{12} \cdot 10^{-9} = 2916 \text{ kN/m}^2$$

La déformation supplémentaire due à l'élément ARBO s'obtient à partir du diagramme de la documentation technique.



Cela entraîne une déformation supplémentaire due à l'élément ARBO de :

$$\Delta w \cong 0.14 \cdot \left(5.4 \cdot \frac{2.0^2}{2} \right) \cdot 2.0 = 3.0 \text{ mm}$$

La déformation totale peut être estimée (sans tenir compte d'une rotation au niveau de la jonction par suite d'un encastrement non rigide) à

$$w_{tot} = 3.7 + 3.0 = 6.7 \text{ mm}$$

Analyse des vibrations pour le prédimensionnement

Les analyses des vibrations sont généralement complexes à cause des conditions limites et des rigidités à prendre en compte. Pour une analyse des vibrations utile dans la pratique, il est par conséquent recommandé d'effectuer une modélisation EF des dalles en porte-à-faux en même temps que celle de la structure porteuse à laquelle elles sont raccordées, même pour des dalles de balcon simples. Pour le prédimensionnement, l'outil d'analyse des vibrations paramétré figurant dans le kit logiciel Aschwanden est parfaitement adapté. Des plans déjà prédéfinis sont alors faciles à utiliser. La Figure 22 montre l'interface de l'outil d'analyse des vibrations. Ci-dessous sont expliquées les différentes données à saisir.

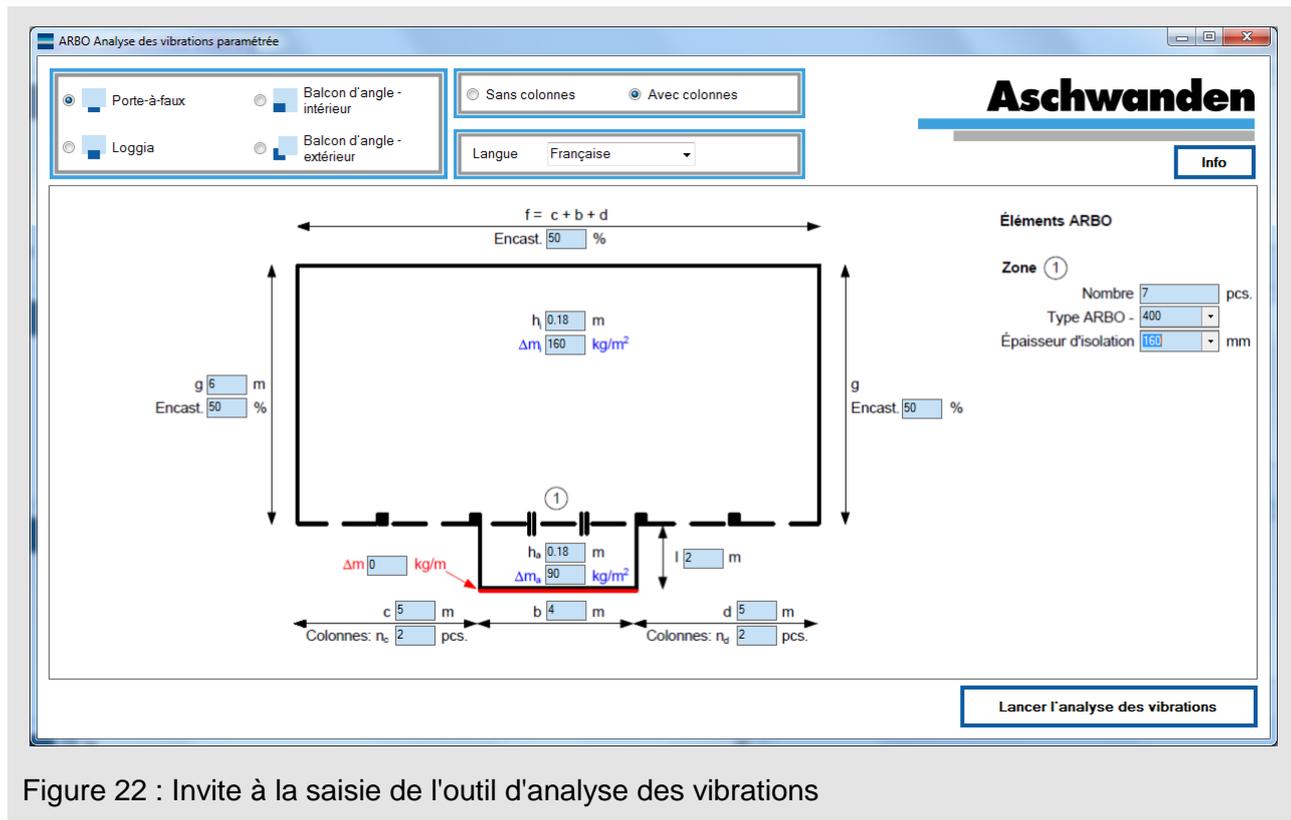


Figure 22 : Invite à la saisie de l'outil d'analyse des vibrations

Dans l'exemple, le balcon est en porte-à-faux. C'est pourquoi on choisit dans la partie supérieure gauche de l'invite à la saisie « *Porte-à-faux* » comme modèle de base. Comme dans l'exemple il n'y a pas de murs d'un seul tenant au niveau du balcon, on choisit le modèle « *Avec colonnes* ».

Généralement la géométrie du bâtiment ne correspond pas exactement avec la géométrie prédéfinie. C'est pourquoi il faut évaluer les longueurs pour la modélisation. Dans l'exemple cité, la longueur du bâtiment est de 14 m. Par contre la largeur à modéliser n'est pas clairement définie (Figure Figure 18). Si on suppose que les murs en forme de U entraînent la formation d'une semelle virtuelle au niveau de la réservation pour l'escalier (côté opposé du bâtiment par rapport au balcon) avec effet d'encastrement, on peut évaluer la largeur à 6 m.

Pour les semelles des murs, le degré d'encastrement de la dalle dans les murs est de plus exigé. La saisie de l'effet d'encastrement s'effectue en pourcentage. Pour cela, se référer aux points de repère suivants :

100 %	Encastrement complet (pas de rotation) par ex. si des murs transversaux sont présents dans la dalle suivante
70 %	Encastrement complet par ex. si les murs sont liés à la dalle de manière rigide.
1 - 70 %	Encastrement partiel
1 %	Pas d'encastrement ; dalles à rotation libre par ex. dalle reposant sur un mur en maçonnerie sans mur reposant sur elle

Dans l'exemple, on suppose un faible effet d'encastrement de 50 % dans tous les murs. Cela correspond à peu près partiellement à des murs reliés de manière rigide sur lesquels reposent des murs.

Dans l'exemple, l'épaisseur de la dalle est de 0,18 m à l'intérieur comme à l'extérieur.

Comme masse supplémentaire (en plus du poids propre déterminé automatiquement), on indiquera les masses des actions quasi constantes.

$$\Delta m_i = \frac{(1.0 \cdot 1 + 0.3 \cdot 2) \cdot 10^3}{9.81} = 160 \text{ kg}$$

$$\Delta m_a = \frac{(0.3 \cdot 3) \cdot 10^3}{9.81} = 90 \text{ kg}$$

Dans la partie droite de l'invite à la saisie, on pourra indiquer les éléments ARBO. Dans cet exemple, 7 éléments ARBO 418-16 sont présents. C'est-à-dire que le type d'élément est un ARBO-400 avec une épaisseur d'isolation de 160 mm.

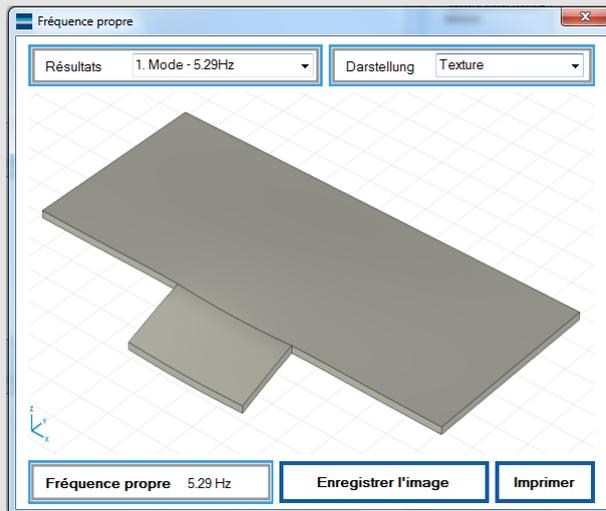


Figure 23 : Résultats de l'analyse paramétrée des vibrations

La Figure 23 montre les résultats de l'analyse paramétrée des vibrations. Les cinq premières fréquences de résonance sont éditées ainsi que les modes de vibration correspondants. Toutefois seule la première fréquence de résonance est généralement intéressante. Dans l'exemple cité, il en résulte une fréquence de résonance de 5.29 Hz. Cette fréquence de résonance est systématiquement supérieure à 4,5 Hz, une fréquence à éviter par analogie avec les passerelles réservées aux piétons. Il ne devrait ainsi ne pas y avoir de problèmes pour ces dimensions avec les éléments ARBO. Comme la fréquence de résonance est toutefois relativement basse, il est recommandé pour le dimensionnement effectif dans cet exemple d'affiner encore un peu la modélisation (voir Calcul avec le logiciel ARBO/CRET).

Calcul avec le logiciel EF général

Sécurité structurale

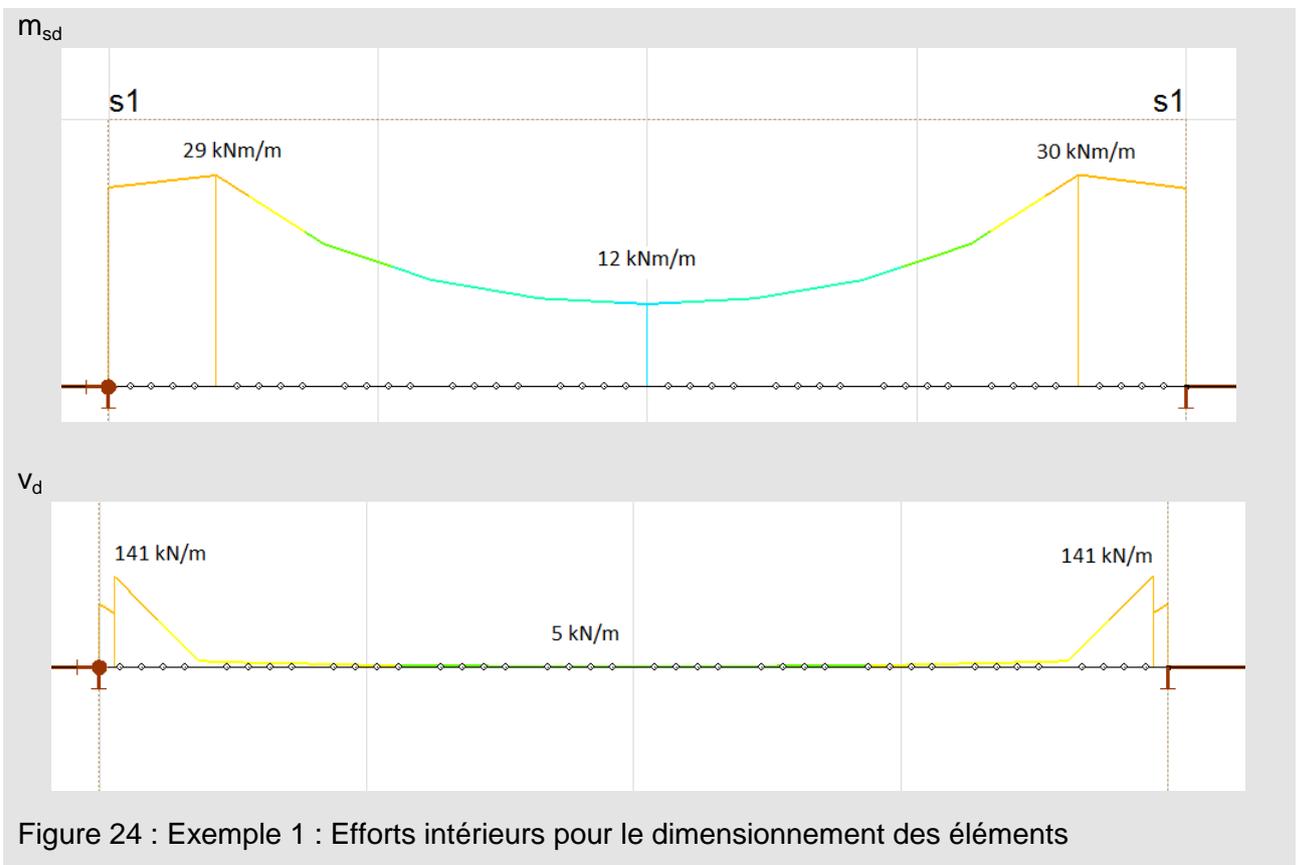
Lors du calcul avec un logiciel général, il est possible de prendre en compte les éléments ARBO dans le calcul EF grâce à la ligne d'articulation. La rigidité à la rotation s'obtient à partir de la rigidité des éléments indiquée dans la documentation correspondante.

$$K_{xx} = \frac{EI_{El}}{e} \cdot \frac{1}{a}$$

Pour déterminer les efforts intérieurs, on peut, pour une épaisseur d'isolation de 160 mm et un entraxe des éléments supposé de 0,50 m, escompter une rigidité de :

$$K_{xx} = \frac{1825}{0.160} \cdot \frac{1}{0.5} = 22813 \text{ kNm/m}$$

Pour le calcul des efforts intérieurs, il suffit généralement d'estimer approximativement la rigidité de l'articulation en bordure. Pour le calcul des flèches et pour une analyse des vibrations, il convient cependant de prendre en compte l'entraxe réel des éléments.



Les efforts intérieurs (m_y , v_{yz}) le long de la liaison du balcon (articulation en bordure) permettent de dimensionner les éléments ARBO. Pour cela, la zone de liaison est divisée en trois parties. Les diagrammes figurant dans la documentation technique des éléments ARBO-400 permettent de déterminer alors le nombre d'éléments pour les différentes parties. Dans les parties situées en bordure seront disposés deux éléments avec un entraxe de 0,25 m et dans la partie centrale trois éléments avec un entraxe de 1,00 m. Il en résulte alors deux parties de 0,50 m en bordure et une partie centrale de 3,00 m. La répartition est alors celle indiquée sur la Figure 25.

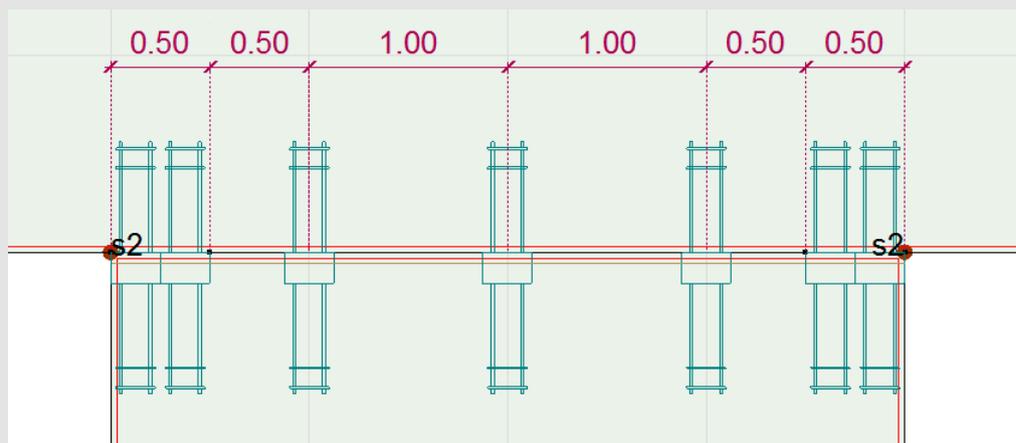


Figure 25 : Exemple 1 : Répartition des éléments ARBO

Flèches

Pour vérifier les flèches, on peut alors corriger la rigidité de l'articulation en bordure à l'aide des entraxes définis. On obtient ainsi selon la documentation technique avec une épaisseur d'isolation de 160 mm et un entraxe des éléments de 0,25 m et de 1,00 m une rigidité en flexion de

$$K_{xx} = \frac{1825}{0.160} \cdot \frac{1}{0.25} = 45625 \text{ kNm/m}$$

ou

$$K_{xx} = \frac{1825}{0.160} \cdot \frac{1}{1} = 11406 \text{ kNm/m}$$

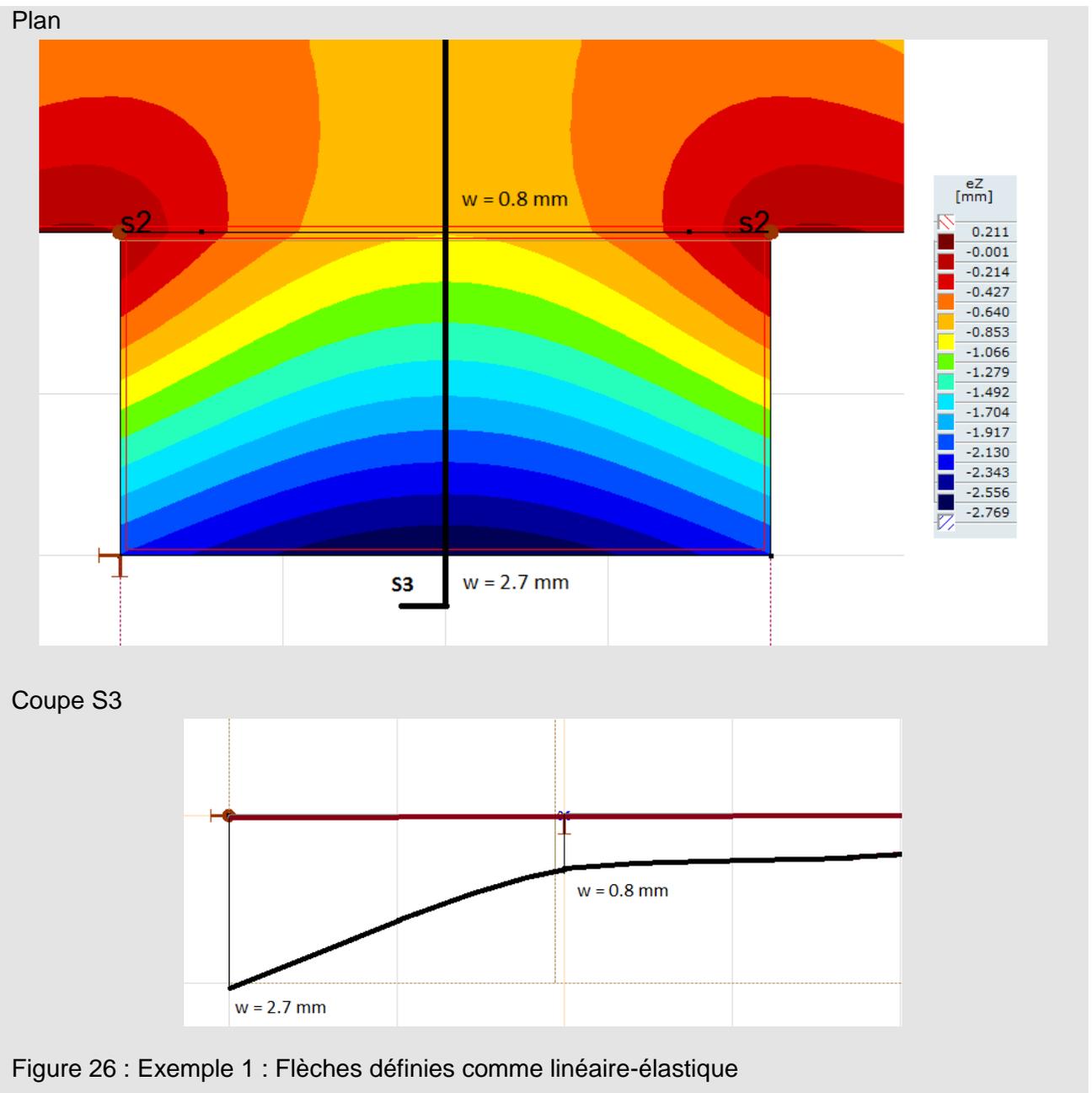


Figure 26 : Exemple 1 : Flèches définies comme linéaire-élastique

Cela entraîne une flèche déterminante de la dalle de balcon définie comme linéaire-élastique :

$$w_c = 2.7 - 0.8 = 1.9 \text{ mm}$$

L'équation (102) issue de la norme SIA 262:2013 permet de prendre en compte la section fissurée et les effets à long terme compris. Cela entraîne une flèche de :

$$w = \frac{1 - 20 \cdot 0.0025}{10 \cdot 0.005^{0.7}} \cdot (0.75 + 0.1 \cdot 2) \cdot \left(\frac{180}{155}\right)^3 \cdot 1.9$$

$$w = 5.77 \cdot 1.9 = 11 \text{ mm}$$

La flèche admissible selon les valeurs de référence de la norme SIA 260:2014 est :

$$w_{adm} = \frac{2 \cdot 2000}{300} = 13 \text{ mm}$$

Cela signifie que ce balcon peut être réalisé avec des éléments ARBO sans rehaussement du coffrage.

Comparativement au prédimensionnement, les déformations calculées sont nettement plus importantes. Ceci montre clairement que l'hypothèse d'un porte-à-faux solidement encastré dans de nombreux cas s'avère une hypothèse erronée en matière de modèle pour la vérification de l'aptitude au service. Par conséquent, il est recommandé d'effectuer la vérification de l'aptitude au service en se basant sur un calcul EF.

Calcul avec le logiciel ARBO/CRET ou AxisVM

Sécurité structurale

Pour un calcul efficace, il est conseillé de commencer par diviser la ligne de jonction du balcon en plusieurs tronçons, car l'entraxe des éléments ARBO doit rester le même au sein d'un même tronçon. Dans cet exemple, la ligne sera par conséquent divisée en tronçons de 0,50/3,00/0,50 m.

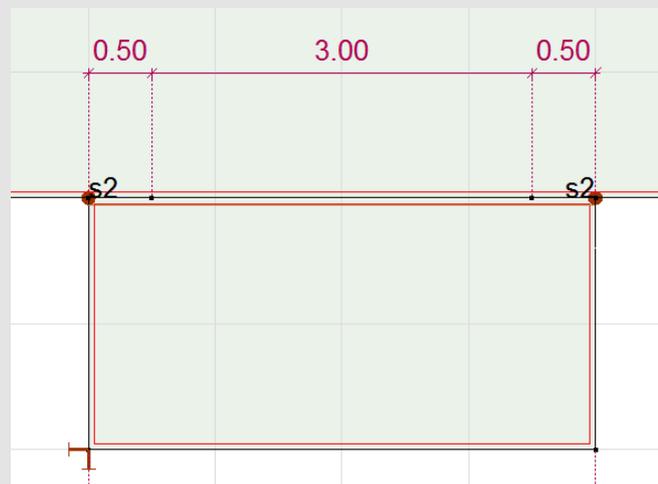


Figure 27 : Exemple 1 : Répartition

Dans le répertoire Éléments, il est enfin possible de définir les éléments ARBO. Pour cela, cliquer sur le symbole ARBO dans la barre de symboles, puis sélectionner la partie du balcon ainsi que le tronçon correspondant de la ligne de joint. Ensuite s'ouvre la fenêtre permettant de déterminer l'élément ARBO (Figure 28). L'élément ARBO-418 avec une épaisseur d'isolation de 160 mm peut alors être sélectionné.

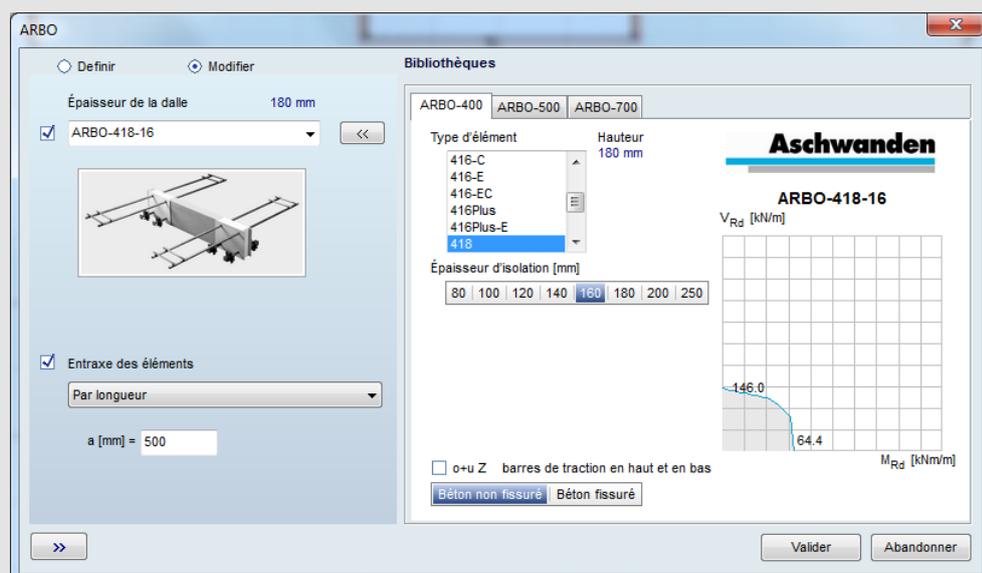


Figure 28 : Exemple 1 : Fenêtre de sélection des éléments ARBO

Sur le côté gauche de la fenêtre de saisie, il est possible d'indiquer l'entraxe (ou le nombre) des éléments ARBO. Dans l'exemple cité, $a = 500$ mm est paramétré dans toutes les parties pour un premier calcul. La Figure 29 montre la répartition des éléments ARBO retenue pour un premier calcul.

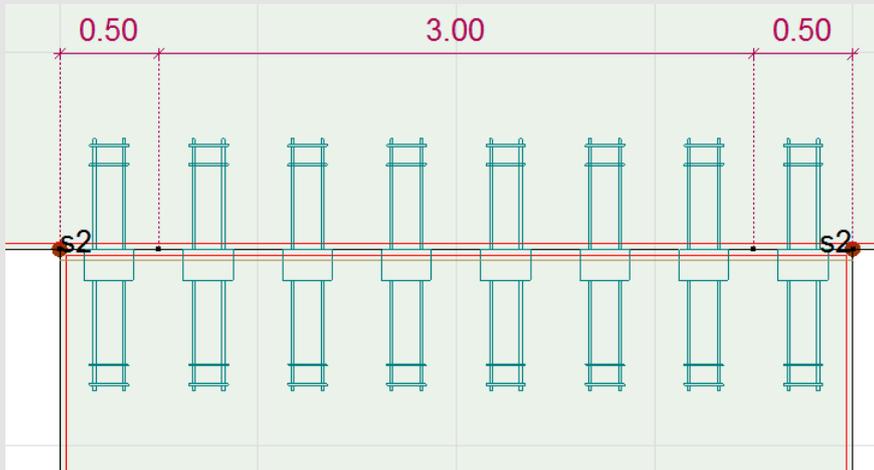


Figure 29 : Exemple 1 : Répartition des éléments ARBO pour un premier calcul

Après le calcul statique, on peut représenter la charge maximale des éléments ARBO. Le logiciel détermine la charge statique maximale pour la répartition des éléments retenue en tenant compte de la combinaison des situations de charge déterminante comme indiqué sur la Figure 30.

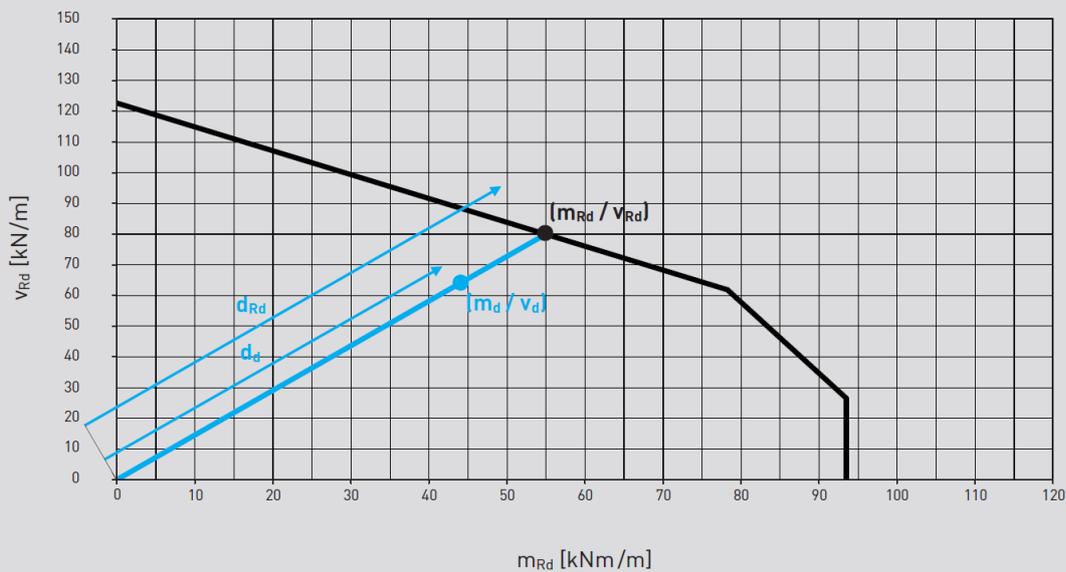
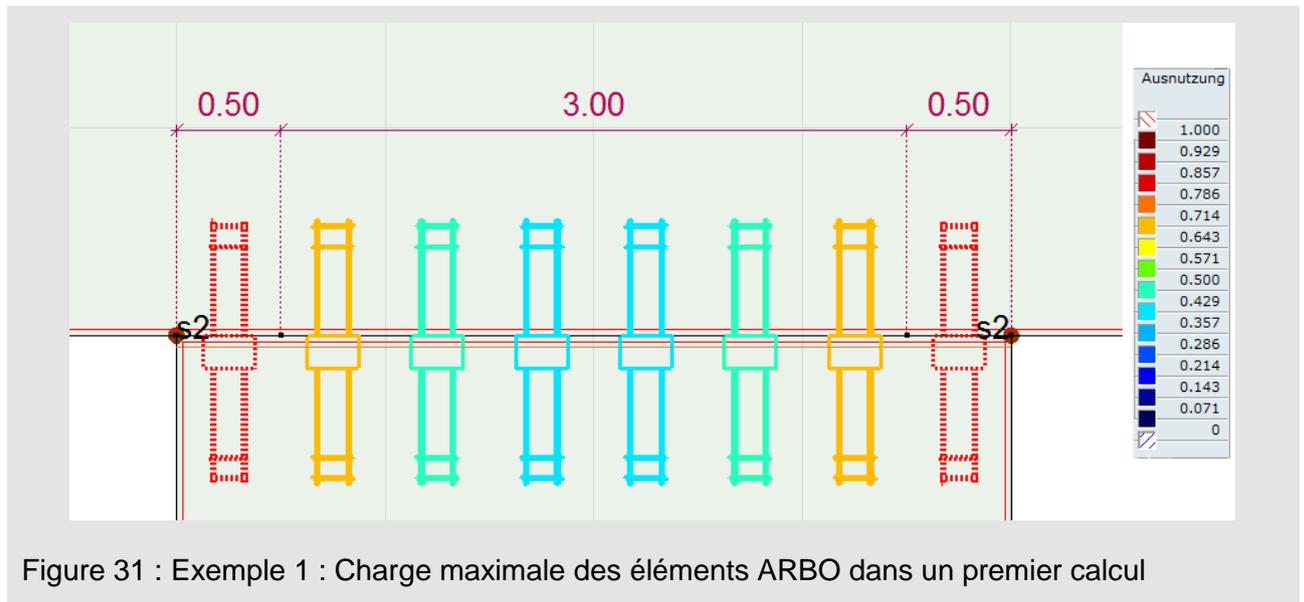
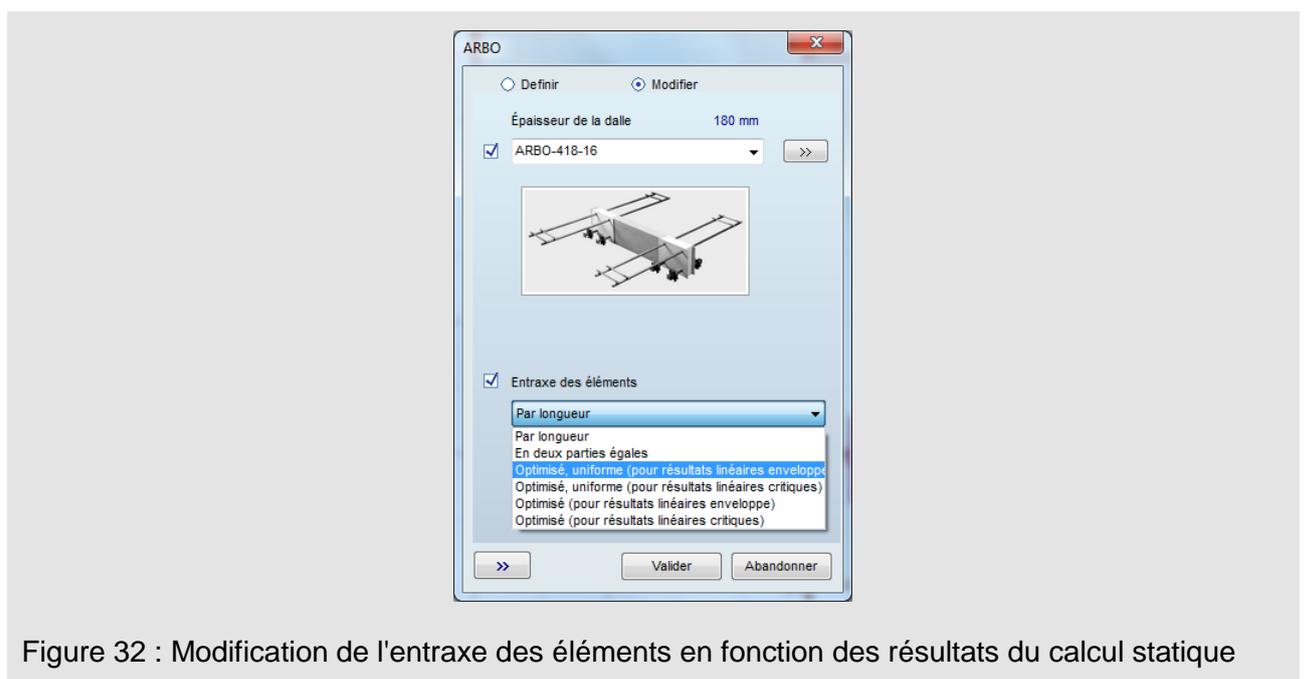


Figure 30 : Charge statique maximale des éléments ARBO

La charge statique maximale est déterminée par le logiciel à partir du rapport d_d/d_{Rd} . Si le point de sollicitation (m_d/v_d) se situe dans la figure d'interaction pour l'entraxe des éléments retenu, ($d_d/d_{Rd} \leq 1.0$) la vérification de la sécurité structurale est positive. La Figure 31 montre la charge statique maximale pour ce premier calcul avec un entraxe général des éléments de 0,50 m. Tandis que les éléments situés en bordure sont en surcharge (éléments en pointillés), les éléments situés dans la partie centrale ne sont quasiment pas sollicités.



L'utilisateur peut alors augmenter l'entraxe des éléments en déplaçant ou en supprimant certains éléments et accroître ainsi leur charge maximale. Le logiciel permet grâce à un second calcul une répartition optimisée des éléments au niveau du joint de manière que les éléments soient utilisés au mieux. Pour cela, il est possible dans la fenêtre de saisie ARBO de sélectionner une disposition optimisée automatiquement pour définir l'entraxe.



Comme l'exemple est relativement simple, la disposition des éléments s'effectue manuellement. L'ajustement de l'entraxe des éléments entraîne la répartition indiquée sur la Figure 33. Au niveau de la bordure deux éléments de chaque côté et au niveau central trois éléments. Par ailleurs la Figure 33 indique la charge maximale des différents éléments ARBO. Il s'avère que la vérification de la sécurité structurale est satisfaisante. De plus les éléments situés au centre sont aussi correctement chargés.

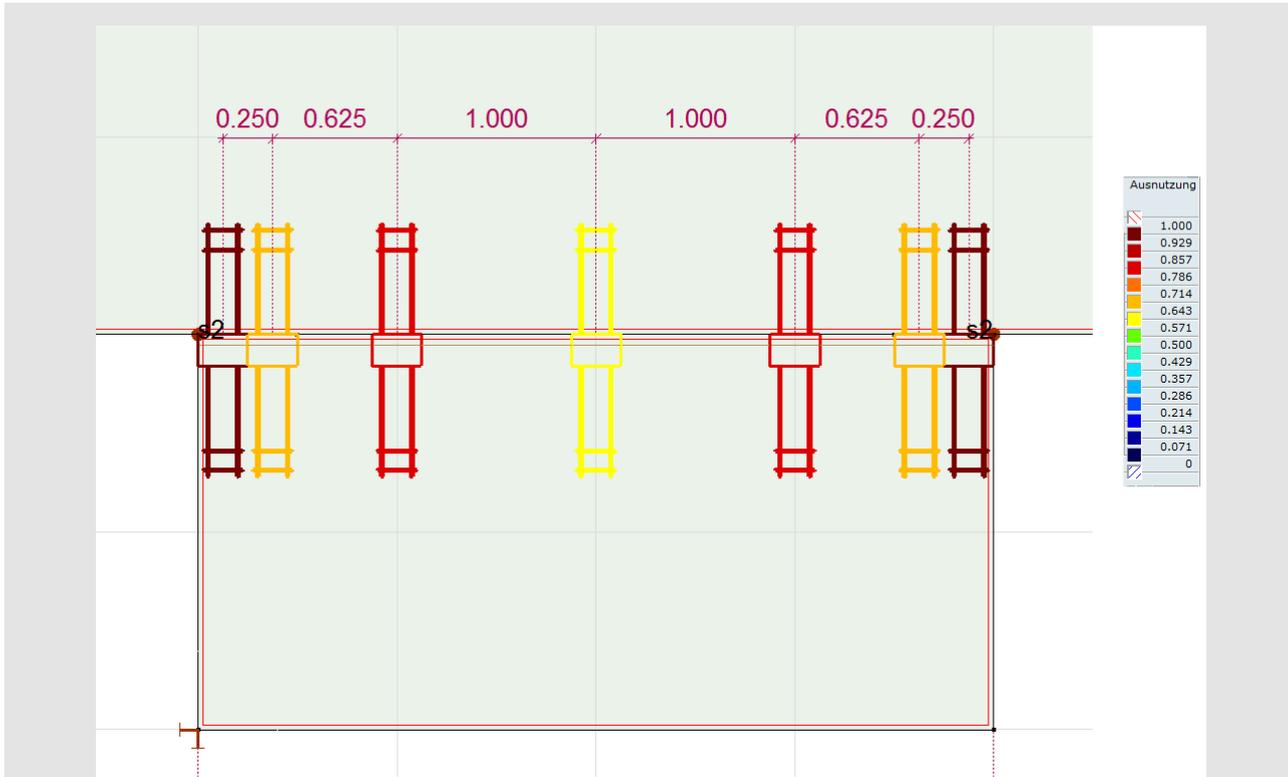
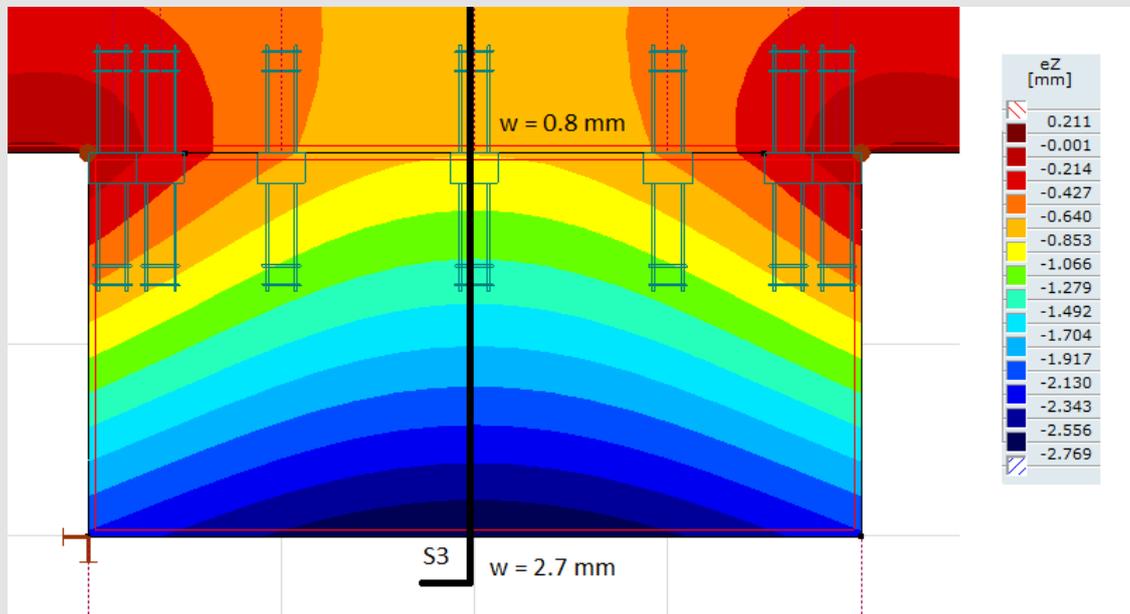


Figure 33 : Exemple 1 : Répartition et utilisation optimisées des éléments ARBO

Flèches

La vérification de la flèche de la dalle peut aussi s'effectuer directement. La rigidité des éléments ARBO figure déjà dans la modélisation. Il est ainsi possible de déterminer directement la flèche linéaire-élastique.

Plan



Coupe S3

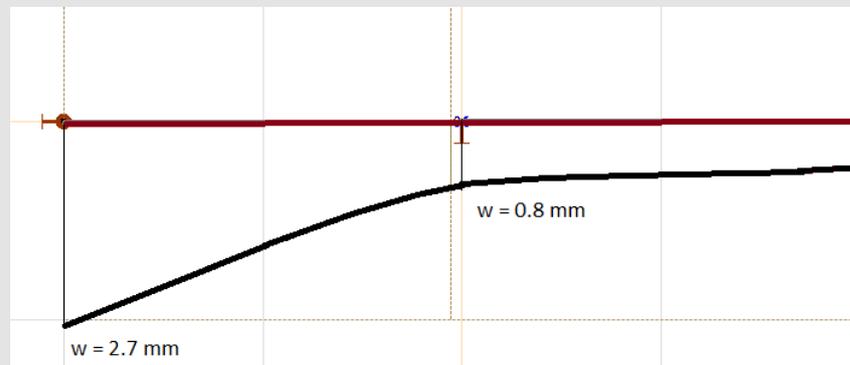


Figure 34 : Exemple 1 : Flèches définies comme linéaire-élastique

Cela entraîne une flèche déterminante de la dalle de balcon définie comme linéaire-élastique :

$$w_c = 2.7 - 0.8 = 1.9 \text{ mm}$$

Comme déjà pour le calcul avec un logiciel EF général, la flèche se détermine en fin de compte en tenant compte de la section fissurée et des effets à long terme.

L'équation (102) issue de la norme SIA 262:2013 permet de prendre en compte la section fissurée et les effets à long terme. Cela entraîne une flèche de :

$$w = \frac{1 - 20 \cdot 0.0025}{10 \cdot 0.005^{0.7}} \cdot (0.75 + 0.1 \cdot 2) \cdot \left(\frac{180}{155}\right)^3 \cdot 1.9$$

$$w = 5.77 \cdot 1.9 = 11 \text{ mm}$$

La flèche admissible selon les valeurs de référence de la norme SIA 260:2014 est :

$$w_{adm} = \frac{2 \cdot 2000}{300} = 13 \text{ mm}$$

Cela signifie que ce balcon peut être réalisé avec des éléments ARBO sans rehaussement du coffrage.

Comparativement au prédimensionnement, les déformations calculées sont nettement plus importantes. Ceci montre clairement que l'hypothèse d'un porte-à-faux solidement encastré dans de nombreux cas s'avère une hypothèse erronée en matière de modèle pour la vérification de l'aptitude au service. Par conséquent, il est recommandé d'effectuer la vérification de l'aptitude au service en se basant sur un calcul EF.

Analyse des vibrations

Il existe principalement deux procédures pour l'analyse des vibrations avec ARBO/CRET ou AxisVM. D'une part, un fichier enregistré peut être remanié par une analyse des vibrations paramétrée (voir Prédimensionnement). Il s'agit essentiellement d'adapter la géométrie et les conditions d'appui. Par ailleurs il est possible au niveau de la liaison de la dalle de balcon de supprimer la ligne d'articulation en bordure intégrée à la modélisation paramétrée et de la remplacer par les éléments ARBO réellement présents.

D'autre part, une modélisation ARBO/CRET ou AxisVM existante peut être intégrée à un calcul statique. On trouvera ci-dessous ce qu'il convient de respecter au cours de cette procédure.

Comme, contrairement à un calcul statique EF, il faut compter lors de l'analyse des vibrations avec la rigidité fissurée de la dalle en béton armé, il faut adapter la rigidité. Le plus simple est pour cela d'adapter l'E-module. Généralement la rigidité fissurée dépend de l'E-module du béton et du taux d'armature de flexion. On peut supposer que la valeur approximative de l'E-module est :

$$E_{modell} = \frac{E_{c0}}{3}$$

E_{c0} étant l' E-module statique du béton.

Lors de la saisie des éléments ARBO, veiller à choisir la rigidité pour une modélisation fissurée de la section (voir Figure 35).

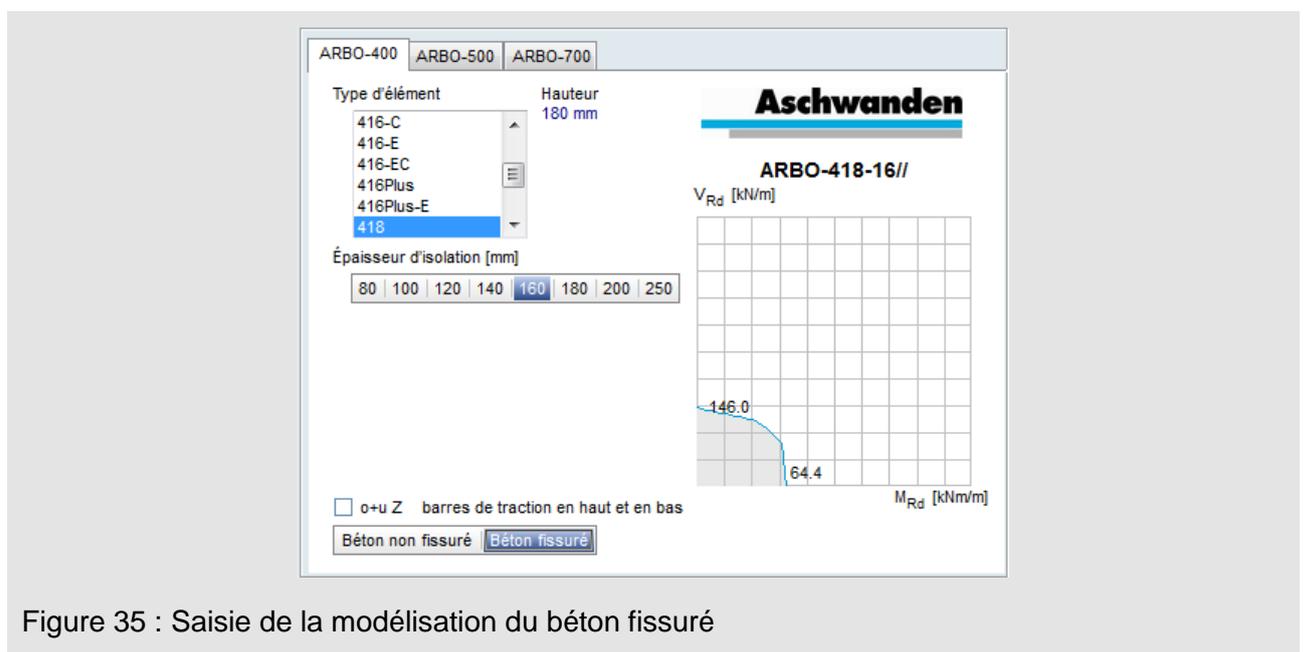


Figure 35 : Saisie de la modélisation du béton fissuré

Ensuite il est possible de démarrer l'analyse des vibrations dans le répertoire « Oscillation ». Veiller à ce que les charges quasi constantes soient converties en masses. Pour cela, sélectionner la combinaison de charges correspondante (établie manuellement) et « Convertir les charges en masse ».

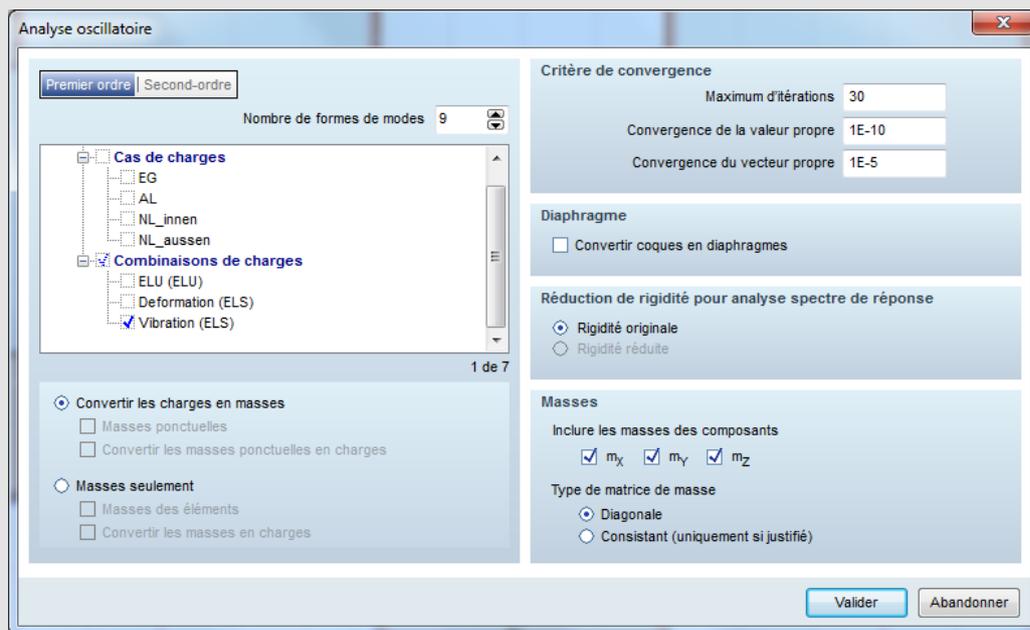


Figure 36 : Invite à la saisie pour l'analyse des vibrations

L'analyse des vibrations montre une 1^e fréquence de résonance de 5,5 Hz. Cette fréquence de résonance est systématiquement supérieure à 4,5 Hz, une fréquence à éviter par analogie avec les passerelles réservées aux piétons. Le nombre de fréquence plutôt bas s'obtient plutôt du fait de la finesse de la dalle en porte-à-faux avec 0,18 m d'épaisseur et 2,00 m de longueur que des éléments ARBO. Une dalle d'un seul tenant aurait une fréquence de résonance de 6,9 Hz.

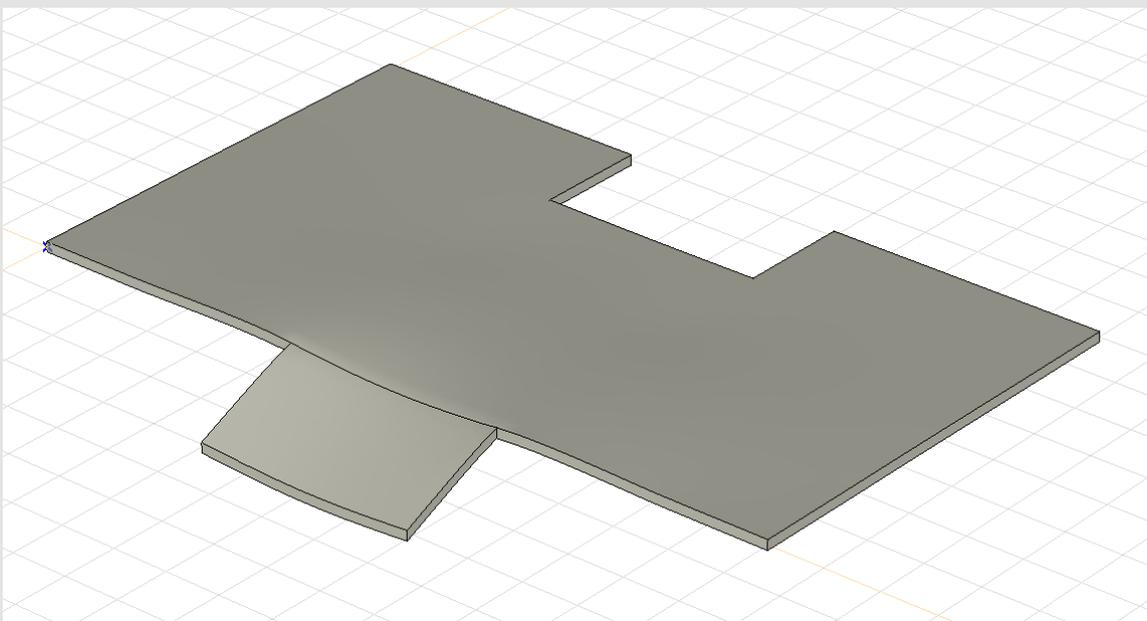


Figure 37 : Exemple 1 : Mode vibrations de la 1^e fréquence de résonance

Toutefois on constate également que l'utilisation d'éléments présentant une faible rigidité en flexion entraîne une baisse des fréquences de résonance. Par exemple, pour une réduction de la rigidité

en flexion de 450 kNm^2 à 268 kNm^2 , ce qui correspond à un diamètre de barre en compression et de barre de traction de 12 mm et sans plaque de cisaillement, on obtient une fréquence de résonance de 4,7 Hz. Ceci serait déjà très proche de la fréquence de résonance de 4,5 Hz à éviter. Tandis que la diminution de la rigidité pour la vérification de la déformation peut encore être compensée en rehaussant le coffrage avec une augmentation correspondante des coûts, il n'existe pour l'analyse des vibrations que la seule possibilité d'intégrer davantage d'éléments que ne le nécessite la sécurité structurale. Ceci entraîne cependant une dégradation substantielle de l'isolation thermique.

Étude thermique

Du point de vue thermique, le facteur fondamentalement déterminant est le coefficient de transmission thermique linéique. Cette valeur apparaît pour les différents types sur les diagrammes figurant dans la documentation technique correspondante. Il faut cependant noter que ces valeurs sont précisément adaptées pour le modèle étudié. Toutefois on peut escompter des valeurs semblables pour des structures de murs semblables.

En plus du type d'élément, l'épaisseur de l'isolation et l'entraxe des éléments sont les paramètres essentiels pour la transmission thermique. Dans l'exemple, l'épaisseur de l'isolation est de 160 mm. Concernant l'entraxe des éléments, la vérification de la sécurité structurale a donné comme résultat un entraxe de 0,25 m au niveau des bordures et un entraxe moyen de 0,75 m dans la partie centrale.

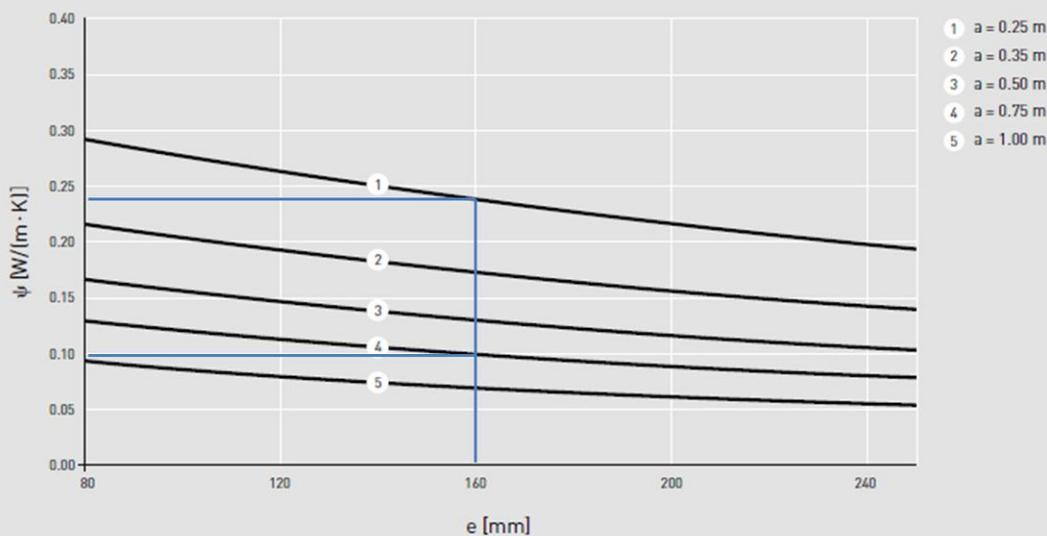


Figure 38 : Diagramme du coefficient de transmission thermique

Pour déterminer la transmission thermique au niveau de la liaison du balcon, la valeur obtenue à partir du diagramme est multipliée par les longueurs correspondantes. On obtient ainsi pour l'exemple considéré une transmission thermique de

$$Q = 2 \cdot 0.5 \cdot 0.24 + 3 \cdot 0.10 = 0.54 \text{ W/K}$$

Ceci entraîne un coefficient de transmission thermique linéique moyen le long du balcon de

$$\bar{\psi} = \frac{0.54}{4} = 0.135 \text{ W/(m·K)}$$

Il s'avère ainsi que pour ce balcon, grâce aux éléments ARBO, même la valeur cible de la norme SIA 380/1:2009 ($\psi = 0,15 \text{ W/(m·K)}$) est respectée.

9. Désignations

a	Entraxe des éléments
d	Hauteur statique
Δm_i	Masse supplémentaire par suite de surcharge et charge utile quasi constante à l'intérieur du bâtiment
Δm_a	Masse supplémentaire par suite de surcharge et charge utile quasi constante sur le balcon
Δw	Part de déformation due à l'élément ARBO
e	Épaisseur de l'isolation
E_{c0}	E-module statique du béton
EI_{EL}	Rigidité en flexion de l'élément ARBO
EI_0^I	Valeur de la rigidité en flexion de la dalle en béton armé non fissurée à court terme
EI_∞^{II}	Valeur de la rigidité en flexion de la dalle en béton armé fissurée à long terme
f_{Rsi}	Facteur de température superficielle
φ	Coefficient de fluage
g_d	Valeur calculée des effets du poids à vide et de la surcharge
h	Épaisseur de la dalle ou hauteur de l'élément
K	Rigidité en rotation
L'_{tot}	Niveau des bruits de choc standard pondéré
L'	Valeur exigée pour les bruits de choc
l	Longueur
l_k	Longueur du porte-à-faux
λ	Conductivité thermique
m_d	Effet de flexion
$m_{d,ser}$	Effet de flexion sur le niveau d'usage
m_{Rd}	Résistance à la flexion
Q	Flux thermique
q_d	Valeur calculée des effets de la charge utile
R	Rigidité de l'appui (calcul EF)
R_{si}	Coefficient de transmission thermique intérieur
R_{se}	Coefficient de transmission thermique extérieur
ρ	Taux d'armature de flexion de la zone de traction
ρ'	Taux d'armature de flexion de la zone de compression
θ_i	Température de l'air à l'intérieur du bâtiment
θ_e	Température de l'air à l'extérieur
$\theta_{si,min}$	Température superficielle minimale de l'élément structural à l'intérieur du bâtiment
U	Coefficient de transmission thermique
v_d	Action de l'effort tranchant
v_{Rd}	Résistance à l'effort tranchant
w	Flèche
w_{adm}	Flèche admissible
w_c	Flèche définie comme linéaire-élastique
ψ	Coefficient de transmission thermique linéique

Remarques concernant le présent document

Les documentations connaissent des modifications permanentes en raison de la mise à jour des normes et de l'évolution.

La version en vigueur du présent exposé technique se trouve sur notre site Internet.

Nous renvoyons par ailleurs à nos CG.

02.2017 Copyright © by

F.J. Aschwanden AG CH-3250 Lyss Tél. 032 387 95 95 Fax 032 387 95 99

www.aschwanden.com info@aschwanden.com

Aschwanden

