



## Interprétation des tableaux des charges pour le calcul aux états limites

### Introduction

Le présent feuillet a été conçu afin de servir de guide pour l'interprétation des tableaux des charges pour le calcul aux états limites (CEL) des tabliers de toits et de planchers en acier, des tabliers composite en acier et des revêtements muraux en acier, qui sont tous des produits mis au point par des ingénieurs, et pour lesquels les fabricants fournissent des tableaux des charges. Vous y trouverez une description des différences entre les divers tableaux des charges et des explications concernant leur utilisation.

Durant l'opération qui consiste à passer des calculs à l'aide des charges pratiques, aux calculs à l'aide des charges aux états limites, il est important de choisir le tablier ou le revêtement en utilisant les conditions de chargement appropriées, c'est-à-dire celles qui ont été employées dans la composition des tableaux des charges. Plusieurs fabricants publient à la fois les tableaux CEL et les tableaux des charges pratiques; l'utilisateur doit être conscient de leurs différences.

### Calcul des charges aux états limites

Le calcul des charges aux états limites est une méthode de calcul utilisée dans tous les codes du bâtiment au Canada et toutes les normes concernant les calculs. Le CEL a été adopté parce qu'il représente le mieux la variation des charges et des résistances qu'un élément de structure peut avoir à subir.

Des années d'études ont permis de mesurer les charges réelles, le mode d'action des charges, les propriétés des matériaux, les tolérances et la qualité de fabrication. Les charges agissant sur un élément de structure et la résistance réelle de cet éléments ne peuvent être décrits que de façon statistique. Dans le CEL, le "facteur de sécurité" est divisé en deux parties: le facteur de chargement et le facteur de résistance.

Le Code national du bâtiment du Canada impose un critère fondamental de sécurité qui doit être utilisé pour les calculs aux états limites:

$$\text{Résistance pondérée} \geq \text{Effet des charges pondérées}$$

$$\phi R \geq \alpha (\text{charges})$$

Le facteur de chargement ( $\alpha$ ) est appliqué aux *charges spécifiées* afin de tenir compte de la possibilité que surviennent des charges dépassant celles qui ont été prévues. Il tient également compte des approximations qui ont été utilisées dans l'analyse de l'effet de ces charges sur la structure. Par exemple, on sait que les charges dues au vent sont variables; elles possèdent donc un facteur de chargement de 1,5. Par contre, l'effet des charges

permanentes est plus prévisible; leur facteur de chargement n'est alors que de 1,25. Le but du facteur de chargement est d'augmenter la valeur des charges utilisée dans les calculs.

Un facteur de résistance ( $\phi$ ) est appliqué à la résistance théorique de l'élément (R) pour tenir compte du fait que la résistance réelle d'un élément ne peut être prédite avec exactitude étant donné les variations dans les propriétés des matériaux et leur dimension, ainsi que dans la fabrication. On l'utilise également pour tenir compte du mode de défaillance et pour exprimer l'incertitude de l'équation de prévision. En général, le facteur  $\phi$  sera plus élevé pour un élément en acier que pour le même type d'élément en béton. Cela est dû au fait que la résistance des éléments de structure en acier est moins soumise aux variations se produisant lors de la fabrication et est donc plus prévisible. Le but du facteur de résistance est de diminuer la valeur de la résistance d'un élément qui est utilisée dans les calculs.

En conséquence, un des avantages du calcul aux états limites est que les différents facteurs de chargement et de résistance représentent avec plus d'exactitude les valeurs réelles. On obtient ainsi une meilleure résistance contre les défaillances qu'avec les calculs utilisant les charges pratiques.

Dans les calculs pour les tabliers et les revêtements en acier, on vérifie la résistance d'un élément de structure par rapport à différents états limites (généralement les contraintes et la flexion). Pour les contraintes, le tablier doit posséder une capacité de résistance au moins égale au *chargement pondéré* prévu. Pour la flexion, le tablier ne doit pas dépasser une limite de flexion (c.-à-d., L/240, L/360, etc.) pour une *charge spécifiée*.

Le calcul des charges aux états limites a introduit les concepts de facteur de chargement, facteur de résistance, charge pondérée, charge spécifiée, résistance pondérée ainsi que quelques autres nouveaux termes. Le petit guide terminologique suivant est nécessaire pour une bonne compréhension des tableaux de calcul des charges aux états limites:

*Charge spécifiée:* charge prescrite par le Code national du bâtiment pour une application particulière. Il existe plusieurs différents types de charges spécifiées: surcharge, charge permanente, thermique, sismique, due au vent, à la neige, à la pluie. Ce sont l'équivalent des charges pratiques et peuvent aussi être appelées charges admises.

*Surcharge d'exploitation:* charges spécifiques agissant sur le tablier (surcharge plus charge permanente) excluant le poids du tablier ou de la dalle composite.

*Charge pondérée:* le produit de la charge spécifiée et du facteur de chargement approprié.

*Facteur de chargement:* facteur utilisé pour tenir compte de l'imprévisibilité des charges (par ex.: pour les surcharges,  $\alpha_L = 1,5$ ; pour les charges permanentes,  $\alpha_D = 1,25$ ; pour les charges dues au vent,  $\alpha_Q = 1,5$ ).

*Résistance:* la résistance d'un élément est sa capacité de résistance aux contraintes, calculée selon les normes de calcul en vigueur (par ex.: CSA-S136 pour l'acier formé à froid).

*Résistance pondérée:* le produit de la résistance nominale et du facteur de résistance approprié  $\leq 1,0$ . Cette opération réduit la résistance afin de tenir compte des propriétés du matériau, des dimensions et de la qualité de fabrication.

## Hypothèses considérées dans la composition des tableaux des charges

Les tableaux des charges des fabricants sont produits par des ingénieurs et reposent sur certaines hypothèses, dont:

- 1) Les résistances pondérées ont été calculées selon la norme S136 de l'ANCOR "Éléments de structure en acier formé à froid".
- 2) Les tableaux sont basés sur deux états limites: la contrainte et la flexion, et supposent que la charge est répartie uniformément sur toute la longueur.
- 3) Les épaisseurs d'acier utilisées représente l'épaisseur de l'acier de base, sans revêtement métallique. Ce sont les épaisseurs nominales.
- 4) Les états limites concernant le flambage de l'âme supposent une longueur d'appui égale à l'épaisseur de la section de tablier.
- 5) On suppose que tous les supports sont simples.
- 6) Les épaisseurs minimales sont calculées en appliquant à l'épaisseur nominale, les tolérances prescrites dans la norme S136 de l'ANCOR.

De plus, les tabliers et revêtements muraux en acier fabriqués par les membres de l'ICTAB sont conformes aux normes suivantes:

ICTAB 10M	"Norme pour les tabliers de toits en acier"
ICTAB 12M	"Norme pour les tabliers composite en acier"
ICTAB 20M	"Norme pour le revêtement en tôle d'acier dans ses applications en architecture et dans l'industrie"

*NOTE: Examinez soigneusement les tableaux des charges afin de déterminer s'il s'agit de CEL ou de calculs à l'aide des charges pratiques. En cas de doute, contactez le fabricant.*

## Tablier composite

Les tableaux de calcul des charges aux états limites indiquent la SURCHARGE D'EXPLOITATION admise (charge permanente plus surcharge). Les calculs comprennent le poids même de la dalle composite. Les surcharges d'exploitation (non pondérées) sont comparées aux valeurs des tableaux.

Les calculs ont été effectués en supposant que le facteur de chargement pour la charge permanente est égal au facteur de chargement pour la surcharge (c.-à-d. 1,5). Ce sont des hypothèses réservées qui peuvent s'appliquer pour la plupart des

dalles composites. La résistance de la dalle composite n'entre habituellement pas en ligne de compte lors de la sélection du produit; c'est pourquoi ce procédé d'élaboration des tableaux simplifie le travail.

*Note: Les surcharges d'exploitation admises sont basées sur la résistance au cisaillement testée entre le tablier et le béton. Les calculs tiennent compte des portées simples seulement. La résistance du tablier composite est aussi affectée par le type d'enduit métallique. Il faut donc s'assurer de consulter le tableau approprié.*

Si la résistance de la dalle composite correspond à l'état limite, la capacité de résistance de la dalle peut être déterminée avec précision en utilisant comme valeur de surcharge d'exploitation, la valeur de la surcharge plus 0,833 fois la valeur de la charge permanente. On utilise le facteur 0,833 afin de réduire la valeur calculée; en effet, le facteur de chargement pour la charge permanente n'est que de 1,25 et non de 1,5.

## Revêtements muraux

Les tableaux de calcul des charges aux états limites sont fondés sur la CHARGE DUE AU VENT SPÉCIFIÉE. Étant donné que les systèmes muraux ne sont soumis pratiquement à aucune charge permanente, la seule charge agissant sur le revêtement sera celle due au vent. Les calculs sont donc simplifiés en associant une résistance à une charge spécifiée.

Si un revêtement mural est posé sur une pente à plus de 20 degrés de la verticale, on considère que c'est une toiture et on applique alors les mêmes règles que pour les tabliers de toits en acier.

## Tabliers de toits et tabliers de planchers non-composite

Les tableaux des CEL pour les toitures en acier et les planchers non-composites indiquent la résistance à la CHARGE SPÉCIFIÉE. Cela signifie que le total de la surcharge spécifiée et de 0,833 fois la charge permanente spécifiée est comparé au tableau des charges afin de choisir le produit pour tablier approprié.

*Note: Parce qu'on y utilise des charges spécifiées, les résistances indiquées dans les tableaux CEL pour les tablier en acier sont comparables à celles indiquées dans les tableaux des charges pratiques. Cela est fait dans le but d'empêcher qu'un tableau de charges pondérées soit utilisé dans un calcul à l'aide des charges pratiques ce qui pourrait entraîner un chargement excessif du tablier.*

On verra plus loin deux exemples de sélection de tablier de toits à l'aide de calculs aux états limites et de calculs à l'aide des charges pratiques.

## Pour de plus amples renseignements

Pour obtenir de plus amples renseignements sur les produits en tôle d'acier ou pour commander une publication de l'ICTAB, communiquez avec l'ICTAB à l'adresse indiquée ci-dessous ou visitez son site Web au [www.cssbi.ca](http://www.cssbi.ca).

## EXEMPLE DE CALCUL AUX ÉTATS LIMITES POUR TABLIERS DE TOITS - SPÉCIFIÉ

L'exemple suivant illustre, pour un tablier de toit, les calculs effectués à l'aide d'un tableau CEL spécifié. On compare ensuite la surcharge spécifiée équivalente au tableau des charges afin de choisir une section appropriée de tablier.

### Supposons:

- 3 portées continues
- L = 2,2 m par portée
- Limite de flexion = L/240

### Charges spécifiées:

- 1) Charge permanente tablier = 0,10 kPa  
Surcharge d'exploitation = 0,50 kPa
- 2) Surcharge  
Surcharge d'exploitation = 2,2 kPa

### Solution:

- 1) Calculez la charge totale spécifiée (surcharge) + 0,833 (charge permanente)  
(2,2) + 0,833 (0,60) = 2,7 kPa

- 2) Choisissez l'épaisseur du tablier par rapport à la résistance à l'état limite:

D'après les tableaux donnant les valeurs pour 3 portées continues où L = 2200 mm, consultez la colonne "B".

Pour t = 0,76 mm la résistance au pliage = 2,7 kPa = 2,7 kPa (charge totale). ∴ O.K.

- 3) Vérifiez le critère de fléchissement L/240:

Pour t = 0,76 mm, la colonne "D" indique 2,3 kPa qui est plus élevé que la surcharge spécifiée de 2,2 kPa. ∴ O.K.

### Sommaire:

Dans le présent exemple, la seule valeur inconnue était celle de l'épaisseur de tablier. Une épaisseur de 0,76 mm est suffisante pour satisfaire la capacité de résistance requise concernant la contrainte et la flexion aux états limites.

### TABLEAU MÉTRIQUE DES CHARGES POUR TABLIER DE TOITS EN ACIER – Calculs aux états limites (CEL)

MATÉRIAU: Acier, grade A

EFFORT DE TENSION MIN.:  $F_y = 230$  MPa

FLÉCHISSEMENT: L/240 PAR MÈTRE  
DE LARGEUR DU TABLIER

TOUTES LES CHARGES SONT CALCULÉES CONFORMÉMENT  
AUX PROCÉDURES DÉCRITES DANS LA NORME 10M-86  
(Revue en 88) DE L'ICTAB ET LA NORME S136 DE L'ANCOR

PROPRIÉTÉS DES SECTIONS				RÉSISTANCES PONDÉRÉES			
Épaisseur de l'acier de base (mm)	Module de section mi-portée ( $10^3$ mm <sup>3</sup> )	Module de section - supports ( $10^3$ mm <sup>3</sup> )	Moment d'inertie ( $10^3$ mm <sup>4</sup> )	MOMENT		RÉACTIONS	
				Mi-portée ( $10^3$ N-mm)	Support ( $10^3$ N-mm)	Extrémité (kN)	Intermédiaire (kN)
0,76	9,61	10,35	201,1	1999,6	2059,6	6,2	12,8
0,91	11,76	12,33	262,4	2430,2	2542,0	9,1	18,3
1,22	16,30	16,37	366,5	3318,2	3372,0	16,6	32,8
1,52	20,2	20,20	455,9	4156,6	4156,6	26,1	50,9

### 3 Portées continues - Surcharge équivalente SPÉCIFIÉE, distribuée uniformément (kPa)

PORTÉE (mm)	Épaisseur nominale de l'acier de base (mm)							
	0,76		0,91		1,22		1,52	
	B	D	B	D	B	D	B	D
1200	8,9	s	11,1	s	14,6	s	18,1	s
1400	6,6	s	8,1	s	10,8	s	21,2	s
1600	5,0	s	6,2	s	8,3	s	10,1	s
1800	4,0	4,2	4,9	s	6,5	s	8,0	s
2000	3,2	3,1	4,0	4,0	5,3	5,6	6,5	7,0
2200	2,7	2,3	3,3	3,0	4,4	4,2	5,4	5,3
2400	2,3	1,8	2,8	2,3	3,7	3,3	4,5	4,0
2600			2,4	1,8	3,1	2,6	3,8	3,2
2800					2,7	2,0	3,3	2,5
3000					2,3	1,7	2,9	2,1
3200							2,6	1,7

NOTES CONCERNANT LES TABLEAUX:

- 1) La colonne "B" indique la charge totale spécifiée (kPa) à laquelle peut résister le tablier, en fonction des limites de résistance. (Surcharge spécifiée + 0.833 x charge permanente spécifiée)
- 2) La colonne "D" indique la surcharge totale spécifiée (kPa) à laquelle peut résister le tablier, en fonction d'un critère de flexion de L/240.
- 3) À la colonne "B", \* indique une charge réduite pour tenir compte du flambage de l'âme.

## EXEMPLE DE CALCUL AUX ÉTATS LIMITES POUR TABLIERS DE TOITS - PONDÉRÉ

L'exemple suivant illustre, pour un tablier de toit, les calculs effectués à l'aide d'un tableau CEL pondéré. On compare la charge totale pondérée à la résistance pondérée inscrite au tableau afin de choisir la section de tablier.

### Supposons:

- 3 portées continues
- L = 2,2 m par portée
- Limite de flexion = L/240

### Charges

- 1) Charge permanente  
tablier = 0,10 kPa  
surcharge d'exploitation = 0,50 kPa
- 2) Surcharge  
surcharge d'exploitation = 2,2 kPa

### Solution:

- 1) Calculez la charge totale pondérée  
1,5 (surcharge) + 1,25 (permanente)  
1,5 (2,2) + 1,25 (0,60) = 4,1 kPa

- 2) Choisissez l'épaisseur du tablier par rapport à la résistance:  
À partir du tableau donnant des valeurs pour 3 portées continues où L = 2200 mm. Consultez la colonne "B".  
Pour t = 0,76 mm la résistance pondérée au pliage = 4,3 kPa > 4,1 kPa (charge pondérée) ∴ O.K
- 3) Vérifiez le critère de fléchissement L/240:  
Pour t = 0,76 mm, la colonne "D" indique 2,3 kPa ce qui est plus élevé que la surcharge spécifiée de 2,2 kPa. ∴ O.K

### Sommaire:

Dans le présent exemple, la seule valeur inconnue était celle de l'épaisseur du tablier. Une épaisseur de 0,76 mm est suffisante pour satisfaire la capacité de résistance requise concernant les contraintes et la flexion aux états limites.

### TABLEAU MÉTRIQUE DES CHARGES POUR LES TABLIERS DE TOITS EN ACIER - Calculs aux états limites (CEL)

MATÉRIAU: Acier, grade A

EFFORT DE TENSION MIN.:  $F_y = 230$  MPa

FLÉCHISSEMENT: L/240 PAR MÈTRE DE LARGEUR DE TABLIER

TOUTES LES CHARGES SONT CALCULÉES CONFORMÉMENT  
AUX PROCÉDURES DÉCRITES À LA NORME 10M-86  
(Revue en 88) DE L'ICTAB ET À LA NORME s136 DE L'ANCOR

PROPRIÉTÉS DES SECTIONS				RÉSISTANCES PONDÉRÉES			
Épaisseur de l'acier de base (mm)	Module de section mi-portée ( $10^3$ mm <sup>3</sup> )	Module de section - supports ( $10^3$ mm <sup>3</sup> )	Moment d'inertie ( $10^3$ mm <sup>4</sup> )	MOMENT		RÉACTIONS	
				Mi-portée ( $10^3$ N-mm)	Support ( $10^3$ N-mm)	Extrémité (kN)	Intermédiaire (kN)
0,76	9,61	10,35	201,1	1999,6	2059,6	6,2	12,8
0,91	11,76	12,33	262,4	2430,2	2542,0	9,1	18,3
1,22	16,30	16,37	366,5	3318,2	3372,0	16,6	32,8
1,52	20,2	20,20	455,9	4156,6	4156,6	26,1	50,9

### 3 Portées continues - Charge PONDÉRÉE distribuée uniformément (kPa)

PORTÉE (mm)	ÉPAISSEUR DE L'ACIER DE BASE (mm)							
	0,76		0,91		1,22		1,52	
	B	D	B	D	B	D	B	D
1200	14,3	s	17,7	s	23,4	s	28,9	s
1400	10,5	s	13,0	s	17,2	s	21,2	s
1600	8,0	s	9,9	s	13,2	s	16,2	s
1800	6,4	4,2	7,8	s	10,4	s	12,8	s
2000	5,1	3,1	6,4	4,0	8,4	5,6	10,4	7,0
2200	4,3	2,3	5,3	3,0	7,0	4,2	8,6	5,3
2400	3,6	1,8	4,4	2,3	5,9	3,3	7,2	4,0
2600			3,0	1,8	5,0	2,6	6,1	3,2
2800					4,3	2,0	5,3	2,5
3000					3,7	1,7	4,6	2,1
3200							4,1	1,7

NOTES CONCERNANT LES TABLEAUX:

- 1) La colonne "B" indique la charge totale PONDÉRÉE (kPa) à laquelle peut résister le tablier en fonction des limites de résistance.
- 2) La colonne "D" indique la surcharge totale SPÉCIFIÉE (non pondérée) (kPa) à laquelle peut résister le tablier en fonction d'un critère de flexion de L/240.
- 3) À la colonne "B", \* indique une charge réduite pour tenir compte du flambage de l'âme.