

DÉVERSEMENT ÉLASTIQUE D'UNE POUTRE À SECTION BI-SYMMÉTRIQUE SOUmise À DES MOMENTS D'EXTRÉMITÉ ET UNE CHARGE RÉPARTIE OU CONCENTRÉE

par Y. GALÉA

1

1. – INTRODUCTION

Que ce soit dans les Commentaires de l'article 5.22 de l'Additif 80 aux règles CM66 [1] ou dans l'Annexe F de l'EC3-DAN [2], tous deux consacrés au calcul du moment critique de déversement élastique M_{cr} (ou M_D) d'une poutre fléchie, le praticien ne peut trouver tout ce dont il a besoin pour appliquer la formulation énoncée au cas pourtant fréquent d'une poutre soumise à moments d'extrémité et chargement transversal. En effet, et en se limitant volontairement ici au cas des sections bi-symétriques pour écarter C_3 (voir EC3 DAN), les coefficients C_1 et C_2 imprimant dans M_{cr} l'influence de la forme de la distribution du moment fléchissant, des conditions de maintiens aux extrémités et du point d'application des charges ne sont pas donnés pour ce type de chargement.

L'auteur avait pour cela fourni il y a plus de vingt ans dans la référence [3] des abaques et une formulation de ces coefficients qui résultaient d'une approche analytique menée manuellement en adoptant comme hypothèse une déformée d'instabilité en une demi onde de sinusoïde à une onde. La nécessité d'envisager un développement en série de **Fourier** en sinus avec un plus grand nombre de termes se faisait cependant déjà sentir puisqu'il avait été précisé dans cette référence [3] que les résultats obtenus pouvaient s'avérer d'une précision insuffisante dans certaines parties du domaine investigué. Mais la pratique et la puissance de l'informatique n'étant pas à l'époque ce qu'elles sont devenues, l'auteur avait mis en suspens ces développements futurs et s'en était tenu là.

Depuis, des comparaisons faites avec des calculs plus précis ont pu confirmer qu'en effet l'erreur commise dans certains cas pouvait atteindre 40 % pour C_1 , bien que les résultats soient tout à fait acceptables dans une grande partie de l'étendue de l'étude, avec des erreurs du même ordre induites pour C_2 . Il était donc indispensable, pour l'auteur, de reprendre cette étude avec les moyens d'aujourd'hui et de fournir au praticien des résultats plus fiables.

Y. GALÉA – Chef du service Recherche et Développement au CTICM

STA-CAL 1-02

2. – ÉTENDUE DE L'ÉTUDE

Sont considérées ici les poutres rectilignes à section bi-symétrique constante, fléchies par rapport à leur axe de forte inertie selon l'un des schémas de la figure 1. Le second cas n'était pas traité dans l'étude initiale [3].

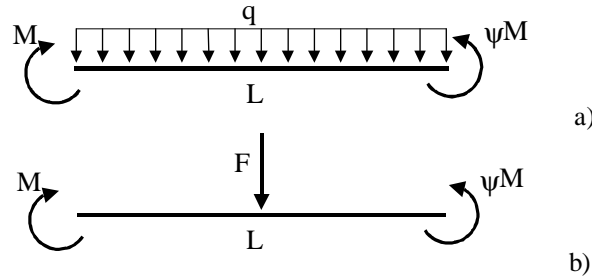


Fig. 1

Les extrémités de la poutre sont maintenues au déversement (translation latérale et rotation de torsion), en supposant une rotation en flexion latérale et un gauchissement libres (conditions classiques d'appuis dits «à fourche»). Il n'y a pas de maintiens entre les extrémités de la poutre.

Ainsi, la distribution du moment fléchissant peut être caractérisée par les deux paramètres suivants :

ψ rapport des moments aux extrémités. Par définition : $-1 \leq \psi \leq 1$
 $\psi = 1$ correspond au moment uniforme.

a) $\mu = \frac{qL^2}{8M}$ } rapport du moment isostatique au moment d'extrémité maximum M en valeur absolue
 b) $\mu = \frac{FL}{4M}$ }

$\mu > 0$ si q (ou F) et le moment maximum d'extrémité M fléchissent la poutre dans le même sens (cas de la figure 1).

Dans ces conditions, et en adoptant ici les notations de l'Annexe F de l'EC3-DAN [2], le moment critique de déversement M_{cr} **au point de moment maximum dans la poutre** est donné par :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right] \quad (1)$$

où :

E module d'Young

G module de cisaillement ($G = E/2,6$ pour l'acier)

I_z inertie de flexion de la section par rapport à l'axe faible

I_t inertie de torsion de la section

I_w inertie de gauchissement de la section ($I_w = I_z h^2/4$ pour profils en I, h = distance entre centres de gravité des semelles)

z_g distance du point d'application de la charge au centre de gravité de la section
 $z_g > 0$ si la charge transversale est dirigée vers le centre de gravité
 $z_g = 0$ si la charge est appliquée au centre de gravité
 $z_g < 0$ si la charge s'éloigne du centre de gravité de la section

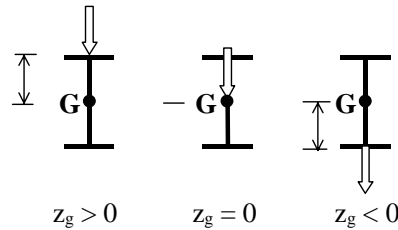


Fig. 2

C_1, C_2 coefficients dépendant de la distribution du moment fléchissant, donc ici des paramètres ψ et μ .

Note : Bien qu'en réalité le coefficient C_1 varie également notablement avec le rapport

$$\chi = \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t L^2}}$$

(voir par exemple [4] où la variation de C_1 pour les moments

d'extrémité peut atteindre 15 % dans certaines conditions), on ne considèrera ici que les valeurs minimales, obtenues pour $I_w = 0$. En écartant l'influence de ce paramètre χ sur le coefficient majeur C_1 , on se place ainsi en sécurité. La valeur de C_2 doit être logiquement calculée dans les mêmes conditions.

3. – MÉTHODE DE CALCUL EMPLOYÉE

3.1. – Présentation succincte du logiciel utilisé et de la méthodologie appliquée

Dans le cadre d'un projet de recherche européen sur le déversement [5], l'auteur a été amené à développer un logiciel (nommé **LTBEAM**) de calcul du moment critique de déversement élastique de poutres fléchies isostatiques ou continues. Ce logiciel permet de traiter un éventail très large de cas de supports en déversement (maintiens ponctuels ou répartis, au centre de gravité des sections ou en dehors, maintiens rigides ou élastiques,...) et de chargement (appliqué ou non au centre de gravité des sections). Ce logiciel a été validé avec succès par comparaison avec des résultats tirés de la littérature spécialisée ou obtenus par simulations numériques réalisées par divers partenaires européens sur différents codes par éléments finis (ANSYS, FINELG, ABAQUS, ...).

Il n'est pas dans l'objet de cette note technique de détailler les bases du logiciel **LTBEAM** auxquelles un article spécifique pourrait être consacré, mais on précise ici que la modélisation du comportement de la poutre y fait appel à la technique des *éléments finis de type « tronçon de poutre »* (donc à 2 nœuds), ce qui impose une *discrétisation* de la poutre en un certain nombre de petits éléments. Les composantes de déplacement – les *degrés de liberté* – prises en compte à chaque nœud ainsi créé sont essentiellement :

- le déplacement latéral,
- la rotation de torsion,

STA-CAL 1-02

- la rotation de flexion latérale,
- et le gauchissement.

La matrice de rigidité tangente K du système, ayant été établie à l'issue d'un bilan énergétique à l'instabilité exprimé dans le cadre d'une théorie linéaire de la stabilité (bifurcation d'équilibre à partir d'une configuration non déformée), est donc construite, ou plus exactement sa partie « linéaire » K_L et sa partie « géométrique » $K_G(M)$. Cette dernière est fonction des moments de flexion M dans les éléments de poutre. La détermination du multiplicateur critique ϕ_{cr} de la distribution de moment fléchissant M dans la poutre est réalisée par *résolution du problème aux valeurs propres associé*.

$$\text{Déterminant } |K_L + \phi_{cr} K_G(M)| = 0$$

Si M_{max} est le moment maximum dans la poutre sous les charges appliquées, le moment critique est alors obtenu par :

$$M_{cr} = \phi_{cr} \cdot M_{max}$$

Pour déterminer les coefficients C_1 et C_2 pour un cas donné caractérisé par un couple de valeurs (ψ , μ) des paramètres définis plus haut, la procédure générale suivante a été appliquée :

- on a choisi des valeurs de L , I_z et I_t , mais on a pris $I_w = 0$ pour les raisons expliquées dans la **Note** exposée plus haut au § 2. La poutre a été discrétisée en 50 éléments.
- en présence des moments d'extrémités M et ψM , la charge transversale q (ou F) a été appliquée tout d'abord au centre de gravité ($z_g = 0$), ce qui a permis d'écartier l'influence de C_2 dans ce premier temps, et une première valeur M_{cr1} a été calculée par le programme **LTBEAM**. C_1 a été alors déduit par la formule suivante résultant de la résolution de l'expression (1) en C_1 :

$$C_1 = \frac{M_{cr1} L}{\pi \sqrt{E I_z G I_t}}$$

- puis, toujours en présence des moments d'extrémité, la charge transversale q (ou F) a été appliquée à une distance donnée z_g du centre de gravité. Une deuxième valeur M_{cr2} du moment critique a été ainsi calculée avec **LTBEAM**.
- Adoptant la valeur de C_1 calculée auparavant en **b)**, le coefficient C_2 a été ensuite obtenu en tirant sa valeur de l'expression (1) avec $M_{cr} = M_{cr2}$.

3.2. – Discussion sur certains choix faits et hypothèses adoptées

En **a)** de la procédure ci-dessus, le logiciel impose de choisir des caractéristiques de section, donc, en pratique, un profil. En **c)**, une valeur de z_g doit aussi être fixée. La sensibilité de C_1 et C_2 à ces paramètres a par conséquent été regardée.

Il est apparu que C_1 affiche une très bonne constance, quelle que soit la série de profils (toujours avec $I_w = 0$), et est bien sûr indépendant de z_g par définition.

Il n'en est pas de même pour C_2 qui peut varier notablement selon le profil et la distance z_g retenus. Ainsi la figure 3 montre l'évolution de C_2 pour 3 profils de la série IPE, en fonction du rapport z_g/h où h est la hauteur du profil, et ceci pour le cas de la charge concentrée seule (à mi-portée) et de la charge répartie seule (sans moments d'extrémité). Ces 2 cas de charges sont bien sûr ceux pour lesquels une imprécision sur C_2 est transmise avec son effet maximal sur M_{cr} .

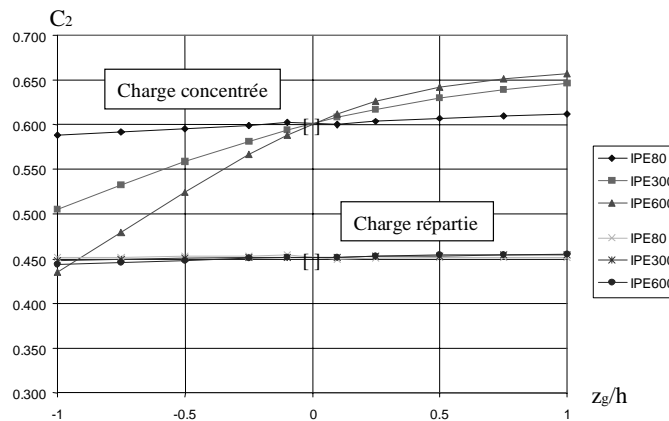


Fig. 3

La figure 3, relative à des profils IPE, montre que pour le cas de la charge répartie, la variation de C_2 est relativement faible, et que le choix du profil et de z_g/h n'a pratiquement pas d'influence (la conclusion est identique pour des profils HEA et HEB).

Par contre, la variation de C_2 est très notable pour la charge concentrée. Aussi, pour donner au praticien des valeurs « uniques » mais « acceptables » de C_2 dans ce cas, un profil « moyen » – le profil IPE 300 – a été retenu (en lui imposant $I_w = 0$) et, sachant que dans la pratique, la charge transversale est généralement gravitaire et appliquée au niveau de la semelle supérieure, une valeur $z_g = + h/2$ a été fixée. Il faut garder à l'idée que dans le cas présent de combinaison de la charge transversale avec des moments d'extrémité, l'influence d'une imprécision sur C_2 est d'autant plus diminuée que le paramètre μ est faible (en valeur absolue), c'est-à-dire que le moment « isostatique » dû à la charge transversale est faible.

Enfin, la méthode étant numérique, une formulation analytique n'est malheureusement pas disponible ici, contrairement à ce qui avait pu être fait dans l'étude [3].

4. – TABLEAUX ET ABAQUES DE COEFFICIENTS C_1 ET C_2 –

EXEMPLES D'UTILISATION

Les coefficients C_1 et C_2 sont donnés en annexes sous forme de tableaux et sous forme d'abaques. Il a été jugé utile de donner également ces coefficients sous forme de tableaux car la lecture des courbes n'est pas toujours très aisée à cause de leur entrelacement dans certains domaines. De plus, les valeurs peuvent être reprises dans un programme ou dans un tableur pour faciliter les interpolations car une formulation analytique n'est pas disponible ici.

Les tableaux sont donnés en Annexe A et les abaques en Annexe B :

- **Moments d'extrémité et charge répartie**

Tableau/Abaque 1 : Coefficient $C_1 - \mu > 0$

Tableau/Abaque 2 : Coefficient $C_1 - \mu < 0$

Tableau/Abaque 3 : Coefficient $C_2 - \mu > 0$

Tableau/Abaque 4 : Coefficient $C_2 - \mu < 0$

STA-CAL 1-02

• Moments d'extrémité et charge concentrée

Tableau/Abaque 5 : Coefficient $C_1 - \mu > 0$

Tableau/Abaque 6 : Coefficient $C_1 - \mu < 0$

Tableau/Abaque 7 : Coefficient $C_2 - \mu > 0$

Tableau/Abaque 8 : Coefficient $C_2 - Q < 0$

Dans les abaques, le domaine des valeurs de μ est $0 \leq |\mu| \leq 2$ pour cause de lisibilité, alors qu'il est étendu jusqu'à $|\mu| = 10$ dans les tableaux.

Une information succincte est donnée ci-après sur la comparaison avec les résultats de l'étude précédente [3]. Puis deux exemples d'utilisation des tableaux donnés en Annexe A sont exposés, en poussant le calcul jusqu'à la vérification de la résistance ultime au déversement avec l'EC3-DAN [2].

6

4.1. – Comparaison avec l'étude précédente [3]

Dans l'étude [3], les courbes avaient été tracées pour un coefficient C_1^0 relatif au moment maximum d'extrémité M ; le coefficient C_1 relatif au moment maximum M_{max} dans la barre était obtenu par $C_1 = C_1^0 |M_{max}/M|$. Pour $\mu > 0,2 - \psi$ et $\mu < -1,2$ (en valeur algébrique), l'écart entre les valeurs de C_1 (et non C_1^0) obtenues dans l'étude précédente et celles obtenues ici reste inférieur à 3 %, en diminuant rapidement dès qu'on s'éloigne de ces limites. Entre ces 2 limites, l'erreur peut atteindre 16 % dans le domaine $\mu > 0$ et 43 % dans le domaine $\mu < 0$.

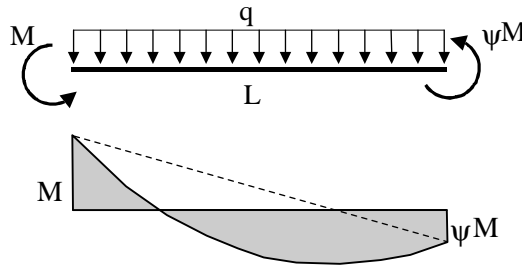
En ce qui concerne l'écart sur les valeurs de C_2 , les domaines d'erreur mineure sont par contre plus difficiles à préciser. Mais dans certains cas, l'écart atteint 50 %. L'imprécision sur ce coefficient a cependant, sur la valeur du moment critique M_{cr} , une incidence moins « directe » que celle sur C_1 qui est le coefficient majeur.

4.2 – Exemple d'application 1

4.2.1. – Données

Profil :	IPE 200	Longueur $L = 4$ m
	Extrémités maintenues en déversement	
Caractéristiques :	$I_z = 142,4$ cm ⁴	
	$I_t = 7,02$ cm ⁴	
	$I_w = 13052$ cm ⁶	
	$W_{pl,y} = 220,6$ cm ³	
Matériau :	$E = 210\,000$ MPa	
	$G = 80\,769$ MPa	
	$f_y = 235$ MPa	

Distribution du moment de flexion :



$M = 30 \text{ kN.m}$ $\psi = -0,45$
 $q = 10 \text{ kN/m}$ **gravitaire**
appliquée sur la semelle supérieure, $z_g = +h/2 = 10 \text{ cm} (> 0)$

7

4.22. – Moment critique de déversement

La charge q et le moment d'extrémité M pris séparément fléchissent la poutre en sens contraire. Le paramètre μ est donc affecté du signe négatif.

$$\mu = -\frac{qL^2}{8M} = -\frac{10 \times 4^2}{8 \times 30} = -0,667 < 0$$

Les tableaux concernés sont le tableau 2 pour C_1 et le tableau 4 pour C_2 .

Calcul de C_1

Extrait du tableau 2 :

$\mu \setminus \psi$	-0,5	-0,4
-0,6	2,385	2,722
-0,7	2,046	2,300

La double interpolation linéaire conduit à $C_1 = 2,30$.

Calcul de C_2

Extrait du tableau 4 :

$\mu \setminus \psi$	-0,5	-0,4
-0,6	0,540	0,625
-0,7	0,544	0,617

La double interpolation linéaire conduit à $C_2 = 0,581$.

STA-CAL 1-02**Calcul de M_{cr}**

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right]$$

$$M_{cr} = 2,3 \times \frac{\pi^2 \times 2\,100\,000 \times 142,4}{400^2} \times \left[\sqrt{\frac{13\,052}{142,4} + \frac{400^2 \times 807\,690 \times 7,02}{\pi^2 \times 2\,100\,000 \times 142,4} + (0,581 \times 10)^2} - 0,581 \times 10 \right]$$

$$M_{cr} = 636127 \text{ daN} \cdot \text{cm} = \mathbf{63,61 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Le moment de flexion maximum se situant ici à l'origine de la poutre ($M_{max} = 30 \text{ kN} \cdot \text{m}$), cette valeur de M_{cr} est donc aussi la valeur critique du moment à l'origine de la poutre.

Valeur de référence trouvée par le logiciel **LTBEAM** : $M_{cr} = 63,74 \text{ kN} \cdot \text{m}$

(La présente méthode donne donc un écart sécuritaire de : 0,2 %).

4.23. – Vérification de la résistance selon l'EC3-DAN [2]

On donne ci-après les principaux résultats intermédiaires sans les détailler. Les références entre parenthèses sont celles des clauses concernées de l'EC3-DAN [2].

Classe de la section : 1 $\rightarrow \beta_W = 1,0$ (§ 5.5.2 (1))

Courbe de déversement : a (Tableau 5.5.3)

Élancement réduit : $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\beta_W W_{pl,y} f_y / M_{cr}} = 0,903$ (§ 5.5.2 (5))

$> 0,4 \rightarrow$ Réduction due au déversement (§ 5.5.2 (7))

Facteur d'imperfection : $\alpha_{LT} = 0,21$ (§ 5.5.2 (3))

Paramètre ϕ_{LT} : $\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,981$ (§ 5.5.2 (2))

Coefficient de réduction : $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,732$ (§ 5.5.2 (2))

Coefficient de sécurité : $\gamma_{M1} = 1,1$ (§ 5.1.1 (2))

Moment résistant : $M_{b,Rd} = \chi_{LT} \beta_W W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} = 34,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (§ 5.5.2 (1))

Moment maximum : $M_{y,Sd} = 30 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Vérification : $M_{y,Sd} < M_{b,Rd} \rightarrow$ **Résistance au déversement vérifiée**

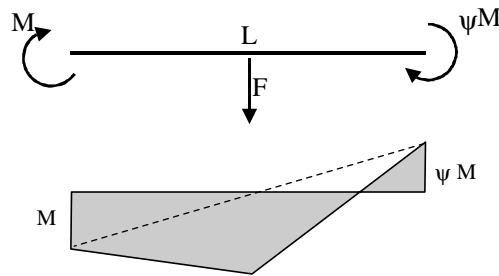
4.3. – Exemple d’application 2

4.31 – Données

Profil : HEA 500 Longueur $L = 12$ m
 Extrémités maintenues au déversement
 Caractéristiques : $I_z = 10367$ cm⁴
 $I_t = 310,3$ cm⁴
 $I_w = 5652400$ cm⁶
 $W_{pl,y} = 3949$ cm³

Matériau : $E = 210\,000$ MPa
 $G = 80\,769$ MPa
 $f_y = 235$ MPa

Distribution du moment de flexion :



$M = 300$ kN.m $\psi = -0,8$
 $F = 150$ kN **gravitaire**
 accrochée sous la semelle inférieure, $z_g = -h/2 = -24,5$ cm (< 0)
 → $M_{max} = 480$ kN.m à mi-portée

4.32 – Moment critique de déversement

La charge F et le moment d’extrémité M pris séparément fléchissent la poutre dans le même sens (moment isostatique et M de même signe). Le paramètre μ est donc affecté du signe positif.

$$\mu = \frac{FL}{4M} = \frac{150 \times 12}{4 \times 300} = 1,5 > 0$$

Les tableaux concernés sont le tableau 5 pour C_1 et le tableau 7 pour C_2 .

Calcul de C_1

Avec $\psi = -0,8$ et $\mu = 1,5$, la lecture dans le tableau 5 donne directement : $C_1 = 1,263$.

STA-CAL 1-02**Calcul de C_2**

Avec $\psi = -0,8$ et $\mu = 1,5$, la lecture dans le tableau 7 donne directement : $C_2 = 0,448$.

Calcul de M_{cr}

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1,263 \times \frac{\pi^2 \times 2\,100\,000 \times 10\,367}{1\,200^2}$$

$$\times \left[\sqrt{\frac{5\,652\,400}{10\,367} + \frac{1\,200^2 \times 807\,690 \times 310,3}{\pi^2 \times 2\,100\,000 \times 10\,367} + (0,448 \times (-24,5))^2 - 0,448 \times (-24,5)} \right]$$

$$M_{cr} = 11\,195\,300 \text{ daN} \cdot \text{cm} = \mathbf{1\,119,53 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Le moment de flexion maximum se situant ici à mi-portée de la poutre ($M_{\max} = 480 \text{ kN} \cdot \text{m}$), cette valeur de M_{cr} est donc aussi la valeur critique du moment à mi-portée de la poutre.

Valeur de référence trouvée par le logiciel **LTBEAM** : $M_{cr} = 1\,145,7 \text{ kN} \cdot \text{m}$

(La présente méthode donne donc un écart sécuritaire de : 2,3 %. L'aspect légèrement sécuritaire du choix fait au § 3 concernant la valeur de z_g utilisée pour établir les tableaux y contribue pour une bonne part).

4.33. – Vérification de la résistance selon l'EC3-DAN [2]

On donne ci-après les principaux résultats intermédiaires sans les détailler. Les références entre parenthèses sont celles des clauses concernées de l'EC3-DAN [2].

Classe de la section : 1 $\rightarrow \beta_W = 1,0$ (§ 5.5.2 (1))

Courbe de déversement : a (Tableau 5.5.3)

Élancement réduit : $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\beta_W W_{pl,y} f_y / M_{cr}} = 0,9105$ (§ 5.5.2 (5))

$> 0,4 \rightarrow$ Réduction due au déversement (§ 5.5.2 (7))

Facteur d'imperfection : $\alpha_{LT} = 0,21$ (§ 5.5.2 (3))

Paramètre ϕ_{LT} : $\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,989$ (§ 5.5.2 (2))

Coefficient de réduction : $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,727$ (§ 5.5.2 (2))

Coefficient de sécurité : $\gamma_{M1} = 1,1$ (§ 5.1.1 (2))

Moment résistant : $M_{b,Rd} = \chi_{LT} \beta_W W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1} = 613,4 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (§ 5.5.2 (1))

Moment maximum : $M_{y,Sd} = 480 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Vérification : $M_{y,Sd} < M_{b,Rd} \rightarrow$ **Résistance au déversement vérifiée.**

5. – CONCLUSION

Il faut avoir à l'esprit que la formule (1), et plus généralement la formulation complète donnée dans l'EC3-DAN Annexe F [2], est un modèle simplifié pour calculer le moment critique de déversement. Ce modèle ne devient analytiquement exact que dans certains cas élémentaires précis (où, au minimum, la déformée d'instabilité est une sinusoïde parfaite). L'applicabilité d'une telle formule à des cas s'en éloignant se fait en adaptant, avec plus ou moins de précision, les coefficients qui y interviennent, notamment C_1 , C_2 et C_3 . Dans des cas complexes, pourtant rencontrés souvent dans la pratique, proposer des valeurs fiables de ces coefficients devient problématique car la formulation de M_{cr} n'est plus très adaptée. Si l'on ne veut pas adopter des hypothèses simplificatrices, logiquement pénalisantes, et si l'on veut avoir une bonne estimation de M_{cr} , le recours à l'informatique, via des logiciels comme **LTBEAM** utilisé dans cette étude, devient alors difficilement contournable.

6. – RÉFÉRENCES

- [1] **DTU P22-701** – Règles CM66 – « Règles de calcul des constructions en acier » – Additif 80 (juin 1980) – 12^e édition – 1996.
- [2] **XP P22-311** – EC3-DAN – « Calcul des structures en acier » et Document d'Application Nationale – Partie 1.1 : « Règles générales et règles pour les bâtiments ».
- [3] **Y. Galéa** – « Abaques de déversement pour profils laminés » – Revue Construction Métallique n° 4-1981 – CTICM.
- [4] **M. Braham** – « Le déversement élastique des poutres en I à section monosymétrique soumises à un gradient de moment de flexion » – Revue Construction Métallique n° 1-2001 – CTICM.
- [5] Recherche européenne CECA « Déversement des poutres en acier et mixtes acier-béton » – Projet n° 7210 PR 183 – Septembre 1999-Août 2002.

STA-CAL 1-02

ANNEXE A

Tableaux de coefficients C_1 et C_2

- **Moments d'extrémité et charge répartie**

Tableau 1 : Coefficient $C_1 - \mu > 0$

Tableau 2 : Coefficient $C_1 - \mu < 0$

Tableau 3 : Coefficient $C_2 - \mu > 0$

Tableau 4 : Coefficient $C_2 - \mu < 0$

- **Moments d'extrémité et charge concentrée**

Tableau 5 : Coefficient $C_1 - \mu > 0$

Tableau 6 : Coefficient $C_1 - \mu < 0$

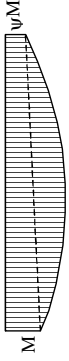
Tableau 7 : Coefficient $C_2 - \mu > 0$

Tableau 8 : Coefficient $C_2 - \mu < 0$

TABLEAU 1 - Coefficient C_1 - Moments d'extrémité et charge répartie - $\mu > 0$

C_1	ψ																				
	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
0,1	2,450	2,411	2,337	2,246	2,148	2,046	1,943	1,842	1,744	1,648	1,558	1,472	1,391	1,315	1,245	1,179	1,119	1,070	1,037	1,018	1,012
0,2	2,233	2,160	2,076	1,986	1,894	1,802	1,712	1,625	1,541	1,461	1,385	1,314	1,246	1,187	1,139	1,101	1,071	1,049	1,034	1,025	1,022
0,3	2,003	1,925	1,843	1,760	1,678	1,598	1,521	1,446	1,375	1,310	1,254	1,206	1,165	1,131	1,102	1,080	1,062	1,048	1,039	1,033	1,030
0,4	1,790	1,717	1,642	1,569	1,497	1,430	1,370	1,316	1,269	1,227	1,190	1,159	1,131	1,108	1,089	1,073	1,061	1,051	1,044	1,039	1,037
0,5	1,604	1,539	1,479	1,423	1,373	1,326	1,284	1,247	1,213	1,184	1,157	1,135	1,115	1,098	1,084	1,072	1,063	1,055	1,049	1,046	1,043
0,6	1,468	1,421	1,377	1,336	1,299	1,265	1,234	1,206	1,181	1,159	1,139	1,122	1,106	1,093	1,082	1,073	1,065	1,059	1,054	1,051	1,049
0,7	1,382	1,346	1,313	1,282	1,253	1,227	1,203	1,181	1,161	1,144	1,128	1,114	1,102	1,091	1,082	1,074	1,068	1,063	1,059	1,056	1,054
0,8	1,324	1,296	1,270	1,245	1,222	1,201	1,182	1,164	1,148	1,134	1,121	1,110	1,100	1,090	1,083	1,076	1,071	1,066	1,062	1,060	1,058
0,9	1,284	1,261	1,239	1,219	1,201	1,183	1,167	1,153	1,140	1,128	1,117	1,107	1,098	1,091	1,084	1,078	1,073	1,069	1,066	1,063	1,061
1	1,254	1,236	1,217	1,201	1,185	1,170	1,157	1,145	1,133	1,123	1,114	1,105	1,098	1,091	1,085	1,080	1,076	1,072	1,069	1,067	1,065
1,1	1,233	1,217	1,201	1,187	1,174	1,161	1,150	1,139	1,129	1,120	1,112	1,105	1,098	1,092	1,087	1,082	1,078	1,075	1,072	1,070	1,068
1,2	1,216	1,202	1,189	1,176	1,165	1,154	1,144	1,135	1,126	1,118	1,111	1,104	1,098	1,093	1,088	1,084	1,081	1,077	1,075	1,072	1,071
1,3	1,203	1,191	1,179	1,168	1,158	1,148	1,139	1,131	1,124	1,117	1,110	1,104	1,099	1,094	1,090	1,086	1,083	1,079	1,077	1,075	1,073
1,4	1,193	1,181	1,172	1,162	1,153	1,144	1,136	1,129	1,122	1,116	1,110	1,104	1,099	1,095	1,091	1,087	1,084	1,081	1,079	1,077	1,075
1,5	1,184	1,175	1,165	1,157	1,148	1,141	1,134	1,127	1,121	1,115	1,110	1,105	1,100	1,096	1,092	1,089	1,086	1,083	1,081	1,079	1,078
1,6	1,177	1,168	1,160	1,152	1,145	1,138	1,131	1,125	1,120	1,114	1,110	1,105	1,101	1,097	1,094	1,091	1,088	1,085	1,083	1,081	1,080
1,7	1,171	1,164	1,156	1,149	1,142	1,135	1,130	1,124	1,119	1,114	1,109	1,105	1,102	1,098	1,095	1,092	1,089	1,087	1,085	1,083	1,081
1,8	1,167	1,159	1,153	1,146	1,140	1,134	1,128	1,123	1,118	1,114	1,109	1,106	1,102	1,099	1,096	1,093	1,090	1,088	1,086	1,084	1,083
2	1,159	1,153	1,147	1,141	1,136	1,131	1,126	1,122	1,118	1,114	1,110	1,107	1,103	1,101	1,098	1,095	1,093	1,091	1,089	1,087	1,086
2,2	1,153	1,148	1,143	1,138	1,133	1,129	1,125	1,121	1,117	1,114	1,111	1,107	1,105	1,102	1,100	1,097	1,095	1,093	1,091	1,090	1,089
2,5	1,148	1,143	1,139	1,135	1,131	1,127	1,124	1,120	1,117	1,114	1,111	1,109	1,107	1,104	1,102	1,100	1,098	1,096	1,094	1,093	1,092
3	1,141	1,138	1,135	1,131	1,128	1,126	1,123	1,120	1,117	1,115	1,113	1,111	1,109	1,107	1,105	1,103	1,102	1,100	1,099	1,098	1,096
3,5	1,137	1,134	1,132	1,130	1,127	1,125	1,122	1,120	1,118	1,116	1,114	1,112	1,111	1,109	1,108	1,106	1,105	1,103	1,102	1,101	1,100
4	1,135	1,133	1,130	1,128	1,126	1,124	1,122	1,121	1,119	1,117	1,115	1,114	1,112	1,111	1,110	1,108	1,107	1,105	1,105	1,104	1,103
5	1,132	1,130	1,129	1,127	1,126	1,124	1,122	1,121	1,119	1,118	1,117	1,116	1,115	1,114	1,112	1,111	1,110	1,109	1,108	1,108	1,107
7	1,129	1,128	1,127	1,126	1,125	1,124	1,123	1,122	1,121	1,120	1,120	1,119	1,118	1,117	1,116	1,115	1,114	1,114	1,113	1,112	1,112
10	1,128	1,127	1,127	1,126	1,125	1,124	1,123	1,123	1,123	1,123	1,122	1,121	1,120	1,119	1,119	1,118	1,118	1,117	1,117	1,116	1,116
∞	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127

$$\mu = \frac{qL^2}{8M} > 0$$



STA-CAL 1-02

TABLEAU 2 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge répartie – $\mu < 0$

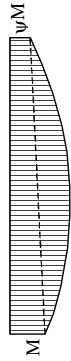
C_1	ψ																				
	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
-0,1	2,450	2,672	2,805	2,815	2,751	2,653	2,538	2,415	2,288	2,160	2,033	1,909	1,791	1,678	1,573	1,475	1,385	1,302	1,227	1,158	1,095
-0,2	2,233	2,490	2,763	2,972	3,034	2,987	2,890	2,770	2,637	2,497	2,354	2,210	2,069	1,932	1,802	1,680	1,567	1,464	1,371	1,286	1,209
-0,3	2,003	2,231	2,505	2,817	3,108	3,249	3,236	3,149	3,027	2,886	2,735	2,576	2,414	2,252	2,094	1,942	1,800	1,670	1,551	1,444	1,348
-0,4	1,790	1,980	2,210	2,491	2,828	3,190	3,440	3,489	3,423	3,306	3,162	3,001	2,829	2,648	2,463	2,279	2,101	1,934	1,781	1,644	1,522
-0,5	1,604	1,759	1,944	2,171	2,450	2,795	3,201	3,570	3,726	3,703	3,601	3,461	3,296	3,113	2,915	2,705	2,490	2,279	2,081	1,902	1,742
-0,6	1,468	1,570	1,719	1,897	2,115	2,385	2,722	3,140	3,598	3,908	3,971	3,902	3,775	3,614	3,426	3,214	2,979	2,728	2,477	2,240	2,027
-0,7	1,382	1,410	1,530	1,671	1,840	2,046	2,300	2,618	3,020	3,507	3,972	4,191	4,192	4,094	3,945	3,760	3,540	3,281	2,989	2,685	2,400
-0,8	1,324	1,316	1,372	1,486	1,618	1,776	1,967	2,201	2,493	2,862	3,326	3,863	4,290	4,433	4,397	4,276	4,104	3,882	3,600	3,253	2,884
-0,9	1,284	1,278	1,271	1,332	1,438	1,562	1,708	1,882	2,095	2,357	2,685	3,101	3,617	4,175	4,550	4,646	4,584	4,438	4,219	3,898	3,471
-1	1,254	1,250	1,245	1,242	1,291	1,389	1,503	1,637	1,796	1,986	2,218	2,505	2,865	3,317	3,865	4,419	4,754	4,820	4,724	4,498	4,089
-1,1	1,233	1,229	1,226	1,223	1,222	1,248	1,339	1,444	1,566	1,709	1,879	2,083	2,331	2,638	3,019	3,491	4,045	4,574	4,869	4,871	4,590
-1,2	1,216	1,213	1,211	1,209	1,208	1,208	1,208	1,290	1,386	1,496	1,625	1,775	1,954	2,168	2,428	2,746	3,136	3,607	4,133	4,583	4,712
-1,3	1,203	1,201	1,199	1,198	1,197	1,197	1,198	1,200	1,241	1,329	1,429	1,544	1,678	1,834	2,019	2,239	2,504	2,823	3,207	3,648	4,084
-1,4	1,193	1,191	1,190	1,189	1,189	1,189	1,190	1,192	1,195	1,199	1,274	1,364	1,467	1,586	1,723	1,883	2,070	2,292	2,555	2,865	3,221
-1,5	1,184	1,183	1,182	1,182	1,182	1,183	1,184	1,185	1,188	1,191	1,196	1,221	1,303	1,396	1,501	1,621	1,760	1,920	2,107	2,325	2,578
-1,6	1,177	1,176	1,176	1,176	1,176	1,177	1,178	1,180	1,183	1,186	1,190	1,194	1,200	1,245	1,328	1,422	1,528	1,649	1,788	1,946	2,128
-1,7	1,171	1,171	1,171	1,171	1,171	1,172	1,174	1,176	1,178	1,181	1,185	1,189	1,194	1,199	1,207	1,266	1,350	1,444	1,550	1,670	1,805
-1,8	1,167	1,166	1,166	1,167	1,167	1,168	1,170	1,171	1,174	1,177	1,180	1,184	1,189	1,194	1,200	1,207	1,214	1,283	1,366	1,460	1,564
-2	1,159	1,159	1,159	1,160	1,161	1,162	1,163	1,165	1,167	1,170	1,173	1,176	1,180	1,185	1,190	1,195	1,201	1,208	1,215	1,223	1,232
-2,2	1,153	1,154	1,154	1,155	1,156	1,157	1,159	1,160	1,162	1,165	1,167	1,170	1,174	1,178	1,182	1,186	1,192	1,197	1,203	1,209	1,217
-2,5	1,148	1,148	1,148	1,149	1,151	1,152	1,153	1,155	1,157	1,159	1,161	1,164	1,167	1,170	1,173	1,177	1,181	1,185	1,189	1,195	1,201
-3	1,141	1,142	1,143	1,143	1,144	1,146	1,147	1,148	1,150	1,152	1,154	1,156	1,158	1,160	1,163	1,166	1,169	1,172	1,175	1,179	1,183
-3,5	1,137	1,138	1,139	1,140	1,141	1,142	1,143	1,144	1,146	1,147	1,149	1,151	1,152	1,155	1,157	1,159	1,161	1,164	1,167	1,170	1,173
-4	1,135	1,136	1,136	1,137	1,138	1,139	1,140	1,142	1,143	1,144	1,145	1,147	1,149	1,151	1,152	1,154	1,156	1,158	1,160	1,163	1,165
-5	1,132	1,133	1,133	1,134	1,135	1,136	1,137	1,138	1,139	1,140	1,141	1,142	1,144	1,145	1,146	1,148	1,149	1,151	1,152	1,154	1,156
-7	1,129	1,130	1,130	1,131	1,132	1,133	1,133	1,134	1,135	1,136	1,137	1,137	1,138	1,139	1,140	1,141	1,142	1,143	1,144	1,145	1,146
-10	1,128	1,129	1,129	1,130	1,130	1,131	1,131	1,132	1,132	1,133	1,133	1,134	1,134	1,135	1,136	1,136	1,137	1,138	1,139	1,139	1,140
∞	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127	1,127

$0 > \mu = qL^2 / 8M$

TABLEAU 13 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge répartie – $\mu > 0$


C_2	ψ																				
	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,081	0,076	0,072	0,070	0,068	0,066	0,065	0,063	0,062	0,060	0,058	0,056	0,054	0,052	0,049	0,047	0,045	0,043	0,041	0,039	0,037
0,2	0,142	0,136	0,131	0,128	0,125	0,122	0,119	0,116	0,112	0,109	0,105	0,101	0,097	0,093	0,090	0,086	0,082	0,079	0,075	0,072	0,069
0,3	0,192	0,186	0,181	0,176	0,172	0,167	0,163	0,158	0,154	0,149	0,144	0,138	0,133	0,128	0,123	0,118	0,113	0,109	0,104	0,100	0,096
0,4	0,234	0,227	0,222	0,216	0,211	0,205	0,199	0,193	0,187	0,181	0,175	0,169	0,163	0,157	0,151	0,145	0,140	0,134	0,129	0,125	0,120
0,5	0,269	0,262	0,255	0,249	0,242	0,236	0,229	0,222	0,215	0,208	0,201	0,194	0,187	0,181	0,174	0,168	0,162	0,157	0,151	0,146	0,141
0,6	0,298	0,290	0,283	0,276	0,268	0,261	0,253	0,245	0,238	0,230	0,223	0,216	0,208	0,201	0,195	0,188	0,182	0,176	0,170	0,165	0,159
0,7	0,322	0,313	0,305	0,297	0,289	0,281	0,273	0,265	0,257	0,249	0,241	0,234	0,226	0,219	0,212	0,205	0,199	0,193	0,187	0,181	0,175
0,8	0,341	0,332	0,324	0,315	0,307	0,298	0,290	0,282	0,273	0,265	0,257	0,250	0,242	0,235	0,228	0,221	0,214	0,208	0,202	0,196	0,190
0,9	0,357	0,348	0,339	0,330	0,321	0,313	0,304	0,296	0,287	0,279	0,271	0,263	0,256	0,248	0,241	0,234	0,227	0,221	0,215	0,209	0,203
1	0,370	0,361	0,352	0,342	0,334	0,325	0,316	0,308	0,299	0,291	0,283	0,275	0,268	0,260	0,253	0,246	0,240	0,233	0,227	0,221	0,215
1,1	0,380	0,371	0,362	0,353	0,344	0,335	0,327	0,318	0,310	0,302	0,294	0,286	0,278	0,271	0,264	0,257	0,250	0,244	0,238	0,232	0,226
1,2	0,389	0,380	0,371	0,362	0,353	0,344	0,336	0,327	0,319	0,311	0,303	0,295	0,288	0,281	0,274	0,267	0,260	0,254	0,248	0,241	0,236
1,3	0,397	0,387	0,378	0,369	0,360	0,352	0,343	0,335	0,327	0,319	0,311	0,304	0,296	0,289	0,282	0,275	0,269	0,263	0,256	0,251	0,245
1,4	0,403	0,394	0,385	0,376	0,367	0,359	0,350	0,342	0,334	0,326	0,318	0,311	0,304	0,297	0,290	0,284	0,277	0,271	0,265	0,259	0,253
1,5	0,408	0,399	0,390	0,381	0,373	0,364	0,356	0,348	0,340	0,333	0,325	0,318	0,311	0,304	0,297	0,291	0,284	0,278	0,272	0,266	0,261
1,6	0,413	0,404	0,395	0,386	0,378	0,370	0,362	0,354	0,346	0,339	0,331	0,324	0,317	0,310	0,304	0,297	0,291	0,285	0,279	0,274	0,268
1,7	0,416	0,408	0,399	0,391	0,383	0,375	0,367	0,359	0,351	0,344	0,337	0,330	0,323	0,316	0,310	0,303	0,297	0,291	0,286	0,280	0,274
1,8	0,420	0,411	0,403	0,394	0,386	0,379	0,371	0,363	0,356	0,349	0,342	0,335	0,328	0,322	0,315	0,309	0,303	0,297	0,291	0,286	0,281
2	0,425	0,417	0,409	0,401	0,393	0,386	0,378	0,371	0,364	0,357	0,351	0,344	0,338	0,331	0,325	0,319	0,313	0,308	0,302	0,297	0,292
2,2	0,429	0,421	0,414	0,406	0,399	0,392	0,385	0,378	0,371	0,365	0,358	0,352	0,346	0,340	0,334	0,328	0,323	0,317	0,312	0,306	0,301
2,5	0,433	0,426	0,419	0,412	0,406	0,399	0,392	0,386	0,380	0,374	0,368	0,362	0,356	0,350	0,345	0,339	0,334	0,329	0,324	0,319	0,314
3	0,438	0,432	0,426	0,420	0,413	0,408	0,402	0,396	0,390	0,385	0,380	0,374	0,369	0,364	0,359	0,354	0,349	0,344	0,340	0,335	0,331
3,5	0,441	0,436	0,430	0,425	0,419	0,414	0,409	0,404	0,398	0,393	0,389	0,384	0,379	0,374	0,370	0,365	0,361	0,356	0,352	0,348	0,344
4	0,444	0,438	0,433	0,428	0,424	0,419	0,414	0,409	0,405	0,400	0,396	0,391	0,387	0,382	0,378	0,374	0,370	0,366	0,362	0,358	0,354
5	0,446	0,442	0,437	0,433	0,429	0,425	0,421	0,417	0,413	0,409	0,406	0,402	0,398	0,394	0,391	0,387	0,384	0,380	0,377	0,374	0,370
7	0,448	0,445	0,442	0,439	0,435	0,432	0,429	0,426	0,423	0,420	0,418	0,415	0,412	0,409	0,406	0,404	0,401	0,398	0,395	0,393	0,390
10	0,449	0,447	0,445	0,442	0,440	0,438	0,436	0,433	0,431	0,429	0,427	0,425	0,423	0,421	0,419	0,416	0,414	0,412	0,410	0,408	0,406
∞	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454

$$\mu = \frac{qL^2}{8M} > 0$$



STA-CAL 1-02

TABLEAU 4 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge répartie – $\mu < 0$

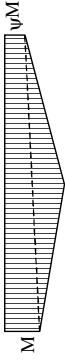


ψ

C_2	$\mu > 0$																				
	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,1	0,083	0,094	0,096	0,089	0,083	0,080	0,077	0,076	0,074	0,073	0,071	0,069	0,067	0,064	0,061	0,058	0,055	0,052	0,050	0,047	0,044
-0,2	0,150	0,172	0,197	0,209	0,197	0,181	0,171	0,165	0,161	0,159	0,156	0,153	0,149	0,144	0,138	0,132	0,124	0,118	0,111	0,104	0,098
-0,3	0,205	0,232	0,265	0,307	0,338	0,328	0,298	0,277	0,266	0,259	0,256	0,253	0,249	0,243	0,235	0,224	0,212	0,200	0,187	0,175	0,164
-0,4	0,250	0,279	0,315	0,360	0,418	0,477	0,487	0,445	0,406	0,384	0,372	0,367	0,364	0,360	0,353	0,341	0,325	0,306	0,285	0,265	0,246
-0,5	0,287	0,316	0,352	0,396	0,453	0,526	0,612	0,665	0,629	0,567	0,526	0,505	0,497	0,494	0,491	0,483	0,467	0,442	0,412	0,381	0,350
-0,6	0,317	0,345	0,380	0,421	0,474	0,540	0,625	0,731	0,834	0,849	0,777	0,708	0,669	0,652	0,648	0,646	0,638	0,616	0,578	0,532	0,485
-0,7	0,340	0,368	0,400	0,439	0,486	0,544	0,617	0,710	0,829	0,968	1,067	1,035	0,946	0,878	0,844	0,834	0,832	0,823	0,789	0,731	0,661
-0,8	0,358	0,385	0,415	0,451	0,493	0,544	0,606	0,683	0,780	0,904	1,058	1,223	1,300	1,241	1,151	1,091	1,065	1,058	1,039	0,982	0,888
-0,9	0,373	0,398	0,427	0,460	0,498	0,542	0,596	0,660	0,738	0,836	0,958	1,113	1,302	1,483	1,544	1,482	1,403	1,355	1,328	1,280	1,169
-1	0,385	0,409	0,435	0,465	0,500	0,540	0,586	0,640	0,705	0,783	0,878	0,996	1,145	1,330	1,548	1,743	1,807	1,760	1,696	1,628	1,498
-1,1	0,394	0,417	0,442	0,469	0,501	0,536	0,577	0,624	0,678	0,742	0,819	0,910	1,022	1,160	1,332	1,543	1,785	1,994	2,071	2,025	1,876
-1,2	0,402	0,423	0,446	0,472	0,500	0,532	0,569	0,609	0,656	0,710	0,773	0,847	0,934	1,039	1,166	1,322	1,513	1,742	1,993	2,190	2,204
-1,3	0,409	0,428	0,450	0,474	0,500	0,529	0,561	0,597	0,638	0,685	0,737	0,798	0,869	0,951	1,049	1,165	1,305	1,474	1,678	1,911	2,133
-1,4	0,414	0,433	0,453	0,475	0,499	0,525	0,555	0,587	0,623	0,664	0,709	0,760	0,819	0,886	0,964	1,054	1,161	1,286	1,436	1,613	1,817
-1,5	0,419	0,436	0,455	0,475	0,498	0,522	0,549	0,578	0,610	0,646	0,685	0,730	0,780	0,836	0,900	0,973	1,056	1,154	1,267	1,400	1,554
-1,6	0,422	0,439	0,457	0,476	0,497	0,519	0,543	0,570	0,599	0,631	0,666	0,705	0,748	0,796	0,850	0,910	0,978	1,056	1,146	1,248	1,366
-1,7	0,426	0,441	0,458	0,476	0,495	0,516	0,539	0,563	0,589	0,618	0,650	0,684	0,722	0,763	0,809	0,861	0,918	0,982	1,055	1,137	1,230
-1,8	0,428	0,443	0,459	0,476	0,494	0,513	0,534	0,557	0,581	0,607	0,635	0,666	0,700	0,737	0,777	0,821	0,870	0,924	0,985	1,052	1,128
-2	0,433	0,446	0,461	0,476	0,492	0,509	0,527	0,546	0,567	0,589	0,612	0,638	0,665	0,695	0,726	0,761	0,799	0,839	0,884	0,933	0,986
-2,2	0,436	0,448	0,461	0,475	0,489	0,504	0,520	0,537	0,555	0,574	0,594	0,616	0,639	0,663	0,690	0,718	0,748	0,780	0,815	0,853	0,893
-2,5	0,440	0,451	0,462	0,474	0,486	0,499	0,513	0,527	0,542	0,558	0,574	0,592	0,610	0,629	0,650	0,672	0,695	0,719	0,745	0,772	0,802
-3	0,444	0,453	0,462	0,472	0,482	0,492	0,503	0,514	0,526	0,538	0,551	0,564	0,578	0,592	0,607	0,623	0,639	0,656	0,674	0,692	0,712
-3,5	0,447	0,454	0,462	0,470	0,479	0,487	0,496	0,505	0,515	0,525	0,535	0,545	0,556	0,568	0,579	0,591	0,604	0,617	0,630	0,644	0,659
-4	0,448	0,455	0,462	0,469	0,476	0,483	0,491	0,499	0,507	0,515	0,524	0,532	0,541	0,550	0,560	0,570	0,580	0,591	0,601	0,612	0,624
-5	0,450	0,455	0,461	0,466	0,472	0,478	0,483	0,490	0,496	0,502	0,508	0,515	0,521	0,528	0,535	0,542	0,550	0,557	0,565	0,572	0,581
-7	0,452	0,456	0,459	0,463	0,467	0,471	0,475	0,479	0,483	0,487	0,492	0,496	0,500	0,505	0,509	0,514	0,518	0,523	0,528	0,533	0,538
-10	0,453	0,455	0,458	0,461	0,463	0,466	0,469	0,471	0,474	0,477	0,480	0,482	0,485	0,488	0,491	0,494	0,497	0,500	0,503	0,506	0,509
∞	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454	0,454

TABLEAU 5 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge concentrée – $\mu > 0$

C_1	ψ																				
	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
0,1	2,494	2,475	2,408	2,317	2,216	2,109	2,002	1,896	1,792	1,693	1,597	1,507	1,423	1,344	1,271	1,203	1,140	1,082	1,029	1,028	1,027
0,2	2,348	2,285	2,200	2,105	2,006	1,906	1,807	1,711	1,619	1,532	1,449	1,371	1,298	1,231	1,168	1,109	1,055	1,055	1,055	1,053	1,051
0,3	2,168	2,089	2,000	1,908	1,815	1,724	1,636	1,551	1,470	1,394	1,322	1,255	1,192	1,134	1,079	1,080	1,080	1,078	1,077	1,074	1,072
0,4	1,983	1,901	1,816	1,730	1,646	1,564	1,486	1,412	1,342	1,276	1,213	1,155	1,101	1,102	1,103	1,102	1,101	1,098	1,096	1,093	1,090
0,5	1,809	1,730	1,651	1,573	1,498	1,426	1,358	1,293	1,231	1,174	1,120	1,122	1,124	1,124	1,123	1,121	1,118	1,116	1,112	1,109	1,105
0,6	1,650	1,577	1,505	1,436	1,370	1,306	1,246	1,189	1,136	1,140	1,142	1,143	1,143	1,141	1,140	1,137	1,134	1,131	1,127	1,123	1,119
0,7	1,508	1,442	1,378	1,317	1,258	1,203	1,150	1,155	1,158	1,160	1,161	1,160	1,159	1,157	1,154	1,151	1,148	1,144	1,140	1,136	1,132
0,8	1,383	1,324	1,267	1,213	1,161	1,168	1,173	1,175	1,177	1,177	1,177	1,175	1,173	1,170	1,167	1,163	1,160	1,156	1,152	1,147	1,143
0,9	1,273	1,221	1,170	1,179	1,185	1,189	1,191	1,192	1,192	1,192	1,190	1,188	1,185	1,182	1,178	1,174	1,170	1,166	1,162	1,158	1,153
1	1,177	1,187	1,194	1,200	1,203	1,206	1,207	1,206	1,205	1,204	1,201	1,199	1,195	1,192	1,188	1,184	1,180	1,176	1,171	1,167	1,163
1,1	1,202	1,209	1,214	1,217	1,219	1,220	1,219	1,218	1,217	1,214	1,211	1,208	1,205	1,201	1,197	1,193	1,188	1,184	1,180	1,175	1,171
1,2	1,222	1,227	1,230	1,231	1,232	1,231	1,230	1,229	1,226	1,223	1,220	1,217	1,213	1,209	1,205	1,201	1,196	1,192	1,187	1,183	1,179
1,3	1,238	1,241	1,243	1,243	1,243	1,241	1,240	1,237	1,235	1,231	1,228	1,224	1,220	1,216	1,212	1,208	1,203	1,199	1,194	1,190	1,186
1,4	1,252	1,253	1,254	1,253	1,252	1,250	1,248	1,245	1,242	1,238	1,235	1,231	1,227	1,223	1,218	1,214	1,210	1,205	1,201	1,196	1,192
1,5	1,263	1,263	1,263	1,262	1,260	1,258	1,255	1,252	1,248	1,245	1,241	1,237	1,233	1,229	1,224	1,220	1,216	1,211	1,207	1,202	1,198
1,6	1,273	1,272	1,271	1,269	1,267	1,264	1,261	1,258	1,254	1,250	1,246	1,242	1,238	1,234	1,230	1,225	1,221	1,217	1,212	1,208	1,204
1,7	1,280	1,279	1,277	1,275	1,273	1,270	1,266	1,263	1,259	1,255	1,251	1,247	1,243	1,239	1,235	1,230	1,226	1,222	1,217	1,213	1,209
1,8	1,287	1,286	1,283	1,281	1,278	1,275	1,271	1,268	1,264	1,260	1,256	1,252	1,248	1,243	1,239	1,235	1,231	1,226	1,222	1,218	1,214
2	1,298	1,296	1,293	1,290	1,287	1,283	1,279	1,276	1,272	1,268	1,264	1,260	1,256	1,251	1,247	1,243	1,239	1,235	1,231	1,226	1,222
2,2	1,306	1,303	1,300	1,297	1,294	1,290	1,286	1,282	1,278	1,274	1,270	1,266	1,262	1,258	1,254	1,250	1,246	1,242	1,238	1,234	1,230
2,5	1,315	1,312	1,309	1,305	1,302	1,298	1,294	1,290	1,287	1,283	1,279	1,275	1,271	1,267	1,263	1,259	1,255	1,251	1,247	1,244	1,240
3	1,325	1,322	1,318	1,315	1,311	1,307	1,304	1,300	1,296	1,293	1,289	1,285	1,282	1,278	1,274	1,271	1,267	1,264	1,260	1,257	1,253
3,5	1,331	1,328	1,324	1,321	1,317	1,314	1,311	1,307	1,304	1,300	1,297	1,293	1,290	1,287	1,283	1,280	1,277	1,273	1,270	1,267	1,263
4	1,335	1,332	1,328	1,325	1,322	1,319	1,316	1,312	1,309	1,306	1,303	1,300	1,296	1,293	1,290	1,287	1,284	1,281	1,278	1,275	1,272
5	1,339	1,337	1,334	1,331	1,328	1,325	1,322	1,320	1,317	1,314	1,311	1,308	1,306	1,303	1,300	1,298	1,295	1,292	1,290	1,287	1,284
7	1,343	1,341	1,339	1,337	1,334	1,332	1,330	1,328	1,326	1,323	1,321	1,319	1,317	1,315	1,313	1,311	1,308	1,306	1,304	1,302	1,300
10	1,346	1,344	1,342	1,341	1,339	1,337	1,336	1,334	1,332	1,331	1,329	1,327	1,326	1,324	1,322	1,321	1,319	1,318	1,316	1,315	1,313
∞	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348



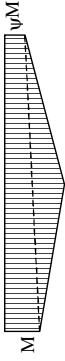
STA-CAL 1-02

TABLEAU 6 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge concentrée – $\mu < 0$

C_1	ψ																				
	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	2,554	2,627	2,606	2,534	2,438	2,331	2,219	2,104	1,990	1,878	1,770	1,667	1,569	1,477	1,391	1,312	1,238	1,171	1,109	1,052	1,000
-0,1	2,494	2,682	2,760	2,737	2,663	2,563	2,451	2,333	2,212	2,090	1,970	1,852	1,740	1,633	1,533	1,439	1,353	1,274	1,202	1,136	1,075
-0,2	2,348	2,597	2,804	2,889	2,868	2,792	2,690	2,575	2,451	2,324	2,195	2,066	1,939	1,817	1,700	1,590	1,489	1,395	1,310	1,232	1,161
-0,3	2,168	2,417	2,689	2,916	3,012	2,994	2,919	2,817	2,700	2,573	2,440	2,304	2,166	2,029	1,896	1,769	1,649	1,538	1,437	1,344	1,261
-0,4	1,983	2,207	2,472	2,763	3,012	3,124	3,114	3,044	2,943	2,826	2,697	2,560	2,417	2,270	2,123	1,978	1,838	1,707	1,586	1,476	1,377
-0,5	1,809	2,000	2,231	2,505	2,811	3,083	3,219	3,225	3,163	3,067	2,950	2,821	2,681	2,532	2,377	2,218	2,059	1,906	1,762	1,631	1,512
-0,6	1,650	1,811	2,004	2,236	2,514	2,828	3,122	3,291	3,322	3,274	3,185	3,072	2,943	2,801	2,647	2,483	2,311	2,138	1,970	1,813	1,671
-0,7	1,508	1,643	1,802	1,992	2,222	2,496	2,811	3,122	3,332	3,399	3,372	3,295	3,189	3,062	2,919	2,760	2,586	2,400	2,210	2,025	1,855
-0,8	1,383	1,496	1,627	1,783	1,968	2,189	2,453	2,760	3,080	3,332	3,449	3,453	3,394	3,297	3,175	3,032	2,868	2,681	2,477	2,267	2,066
-0,9	1,273	1,368	1,478	1,605	1,754	1,931	2,141	2,390	2,681	2,998	3,283	3,458	3,508	3,475	3,393	3,278	3,135	2,963	2,760	2,533	2,302
-1	1,177	1,258	1,349	1,454	1,576	1,718	1,884	2,080	2,312	2,583	2,885	3,185	3,414	3,523	3,529	3,469	3,363	3,220	3,035	2,807	2,554
-1,1	1,202	1,220	1,239	1,327	1,427	1,542	1,675	1,831	2,012	2,225	2,472	2,753	3,048	3,313	3,485	3,544	3,515	3,422	3,273	3,066	2,806
-1,2	1,222	1,239	1,258	1,279	1,301	1,396	1,505	1,629	1,773	1,940	2,133	2,357	2,612	2,889	3,163	3,382	3,500	3,512	3,434	3,273	3,031
-1,3	1,238	1,255	1,273	1,293	1,314	1,338	1,363	1,465	1,581	1,713	1,865	2,040	2,242	2,470	2,722	2,984	3,222	3,386	3,439	3,374	3,193
-1,4	1,252	1,268	1,285	1,304	1,324	1,346	1,369	1,395	1,424	1,531	1,652	1,791	1,949	2,129	2,333	2,559	2,798	3,029	3,210	3,291	3,233
-1,5	1,263	1,278	1,295	1,312	1,331	1,351	1,374	1,397	1,423	1,451	1,481	1,592	1,718	1,861	2,022	2,203	2,403	2,616	2,827	3,003	3,090
-1,6	1,273	1,287	1,302	1,319	1,337	1,356	1,376	1,398	1,422	1,447	1,474	1,503	1,534	1,648	1,777	1,921	2,082	2,258	2,446	2,633	2,792
-1,7	1,280	1,294	1,309	1,325	1,341	1,359	1,378	1,398	1,420	1,443	1,468	1,494	1,522	1,551	1,581	1,698	1,827	1,969	2,125	2,289	2,453
-1,8	1,287	1,300	1,314	1,329	1,345	1,361	1,379	1,398	1,418	1,439	1,461	1,485	1,511	1,537	1,565	1,594	1,623	1,739	1,866	2,003	2,147
-2	1,298	1,310	1,323	1,336	1,350	1,364	1,380	1,396	1,413	1,431	1,451	1,471	1,492	1,514	1,537	1,561	1,585	1,611	1,636	1,660	1,683
-2,2	1,306	1,317	1,329	1,341	1,353	1,366	1,380	1,394	1,409	1,425	1,441	1,458	1,476	1,495	1,515	1,535	1,556	1,577	1,599	1,621	1,642
-2,5	1,315	1,325	1,335	1,345	1,356	1,367	1,379	1,391	1,403	1,416	1,430	1,444	1,458	1,473	1,489	1,505	1,522	1,539	1,556	1,574	1,592
-3	1,325	1,333	1,341	1,349	1,358	1,367	1,376	1,386	1,395	1,405	1,416	1,426	1,437	1,448	1,460	1,472	1,484	1,497	1,509	1,522	1,535
-3,5	1,331	1,338	1,344	1,351	1,359	1,366	1,373	1,381	1,389	1,397	1,406	1,414	1,423	1,432	1,441	1,450	1,460	1,469	1,479	1,489	1,499
-4	1,335	1,341	1,346	1,352	1,359	1,365	1,371	1,378	1,384	1,391	1,398	1,405	1,412	1,420	1,427	1,435	1,442	1,450	1,458	1,466	1,475
-5	1,339	1,344	1,348	1,353	1,358	1,363	1,367	1,372	1,377	1,382	1,388	1,393	1,398	1,404	1,409	1,414	1,420	1,426	1,432	1,437	1,443
-7	1,343	1,347	1,350	1,353	1,356	1,359	1,363	1,366	1,369	1,372	1,376	1,379	1,383	1,386	1,390	1,393	1,397	1,401	1,404	1,408	1,411
-10	1,346	1,348	1,350	1,352	1,354	1,356	1,358	1,361	1,363	1,365	1,367	1,369	1,372	1,374	1,376	1,379	1,381	1,383	1,386	1,388	1,390
∞	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348	1,348

TABLEAU 7 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge concentrée – $\mu > 0$

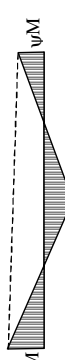
C_2	ψ																				
	-1	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,060	0,057	0,054	0,053	0,053	0,054	0,055	0,055	0,056	0,056	0,055	0,054	0,053	0,051	0,050	0,048	0,046	0,044	0,042	0,040	0,038
0,2	0,109	0,105	0,103	0,103	0,104	0,105	0,106	0,106	0,106	0,105	0,103	0,101	0,099	0,095	0,092	0,089	0,085	0,081	0,078	0,075	0,071
0,3	0,153	0,151	0,150	0,151	0,152	0,153	0,153	0,152	0,151	0,149	0,145	0,142	0,138	0,133	0,129	0,124	0,119	0,114	0,110	0,105	0,101
0,4	0,196	0,195	0,195	0,196	0,196	0,196	0,195	0,193	0,190	0,186	0,182	0,177	0,172	0,166	0,160	0,154	0,149	0,143	0,138	0,132	0,127
0,5	0,237	0,236	0,236	0,236	0,235	0,234	0,231	0,228	0,223	0,219	0,213	0,207	0,201	0,194	0,188	0,181	0,175	0,168	0,162	0,156	0,151
0,6	0,275	0,274	0,273	0,272	0,270	0,267	0,263	0,258	0,253	0,247	0,240	0,233	0,226	0,219	0,212	0,205	0,198	0,191	0,184	0,178	0,172
0,7	0,310	0,308	0,306	0,303	0,300	0,295	0,290	0,284	0,278	0,271	0,264	0,256	0,249	0,241	0,233	0,226	0,218	0,211	0,204	0,198	0,191
0,8	0,340	0,337	0,334	0,330	0,325	0,320	0,314	0,307	0,300	0,292	0,284	0,276	0,268	0,260	0,252	0,245	0,237	0,229	0,222	0,215	0,208
0,9	0,367	0,363	0,358	0,353	0,347	0,341	0,334	0,326	0,319	0,311	0,303	0,294	0,286	0,277	0,269	0,261	0,253	0,246	0,238	0,231	0,224
1	0,390	0,385	0,379	0,373	0,366	0,359	0,351	0,343	0,335	0,327	0,318	0,310	0,301	0,293	0,285	0,276	0,268	0,261	0,253	0,246	0,239
1,1	0,410	0,404	0,397	0,390	0,383	0,375	0,367	0,359	0,350	0,341	0,333	0,324	0,315	0,307	0,298	0,290	0,282	0,274	0,267	0,259	0,252
1,2	0,426	0,420	0,413	0,405	0,397	0,389	0,380	0,372	0,363	0,354	0,345	0,337	0,328	0,319	0,311	0,302	0,294	0,287	0,279	0,271	0,264
1,3	0,441	0,434	0,426	0,418	0,410	0,401	0,392	0,383	0,375	0,366	0,357	0,348	0,339	0,331	0,322	0,314	0,306	0,298	0,290	0,283	0,276
1,4	0,453	0,446	0,437	0,429	0,420	0,412	0,403	0,394	0,385	0,376	0,367	0,358	0,349	0,341	0,333	0,324	0,316	0,308	0,301	0,293	0,286
1,5	0,464	0,456	0,448	0,439	0,430	0,421	0,412	0,403	0,394	0,385	0,376	0,368	0,359	0,350	0,342	0,334	0,326	0,318	0,310	0,303	0,296
1,6	0,473	0,465	0,456	0,448	0,439	0,430	0,421	0,412	0,403	0,394	0,385	0,376	0,368	0,359	0,351	0,343	0,335	0,327	0,320	0,312	0,305
1,7	0,482	0,473	0,464	0,455	0,446	0,437	0,428	0,419	0,410	0,401	0,393	0,384	0,376	0,367	0,359	0,351	0,343	0,335	0,328	0,321	0,313
1,8	0,489	0,480	0,471	0,462	0,453	0,444	0,435	0,426	0,417	0,408	0,400	0,391	0,383	0,375	0,366	0,358	0,351	0,343	0,336	0,328	0,321
2	0,500	0,491	0,482	0,473	0,465	0,456	0,447	0,438	0,429	0,421	0,412	0,404	0,396	0,388	0,380	0,372	0,365	0,357	0,350	0,343	0,336
2,2	0,509	0,500	0,491	0,483	0,474	0,465	0,457	0,448	0,440	0,431	0,423	0,415	0,407	0,399	0,392	0,384	0,377	0,369	0,362	0,355	0,349
2,5	0,519	0,511	0,502	0,494	0,485	0,477	0,469	0,460	0,452	0,444	0,436	0,429	0,421	0,414	0,407	0,399	0,392	0,385	0,379	0,372	0,365
3	0,530	0,523	0,514	0,507	0,499	0,491	0,484	0,476	0,469	0,461	0,454	0,447	0,440	0,433	0,426	0,420	0,413	0,407	0,400	0,394	0,388
3,5	0,538	0,530	0,523	0,515	0,508	0,501	0,494	0,487	0,480	0,474	0,467	0,460	0,454	0,448	0,441	0,435	0,429	0,423	0,417	0,412	0,406
4	0,542	0,535	0,529	0,522	0,515	0,509	0,502	0,496	0,490	0,483	0,477	0,471	0,465	0,459	0,454	0,448	0,442	0,437	0,431	0,426	0,420
5	0,548	0,542	0,536	0,531	0,525	0,519	0,514	0,508	0,503	0,497	0,492	0,487	0,482	0,477	0,472	0,467	0,462	0,457	0,452	0,447	0,443
7	0,553	0,549	0,544	0,540	0,535	0,531	0,527	0,522	0,518	0,514	0,510	0,506	0,502	0,498	0,494	0,490	0,486	0,482	0,478	0,475	0,471
10	0,556	0,552	0,549	0,546	0,543	0,539	0,536	0,533	0,530	0,527	0,524	0,521	0,518	0,515	0,512	0,509	0,506	0,503	0,500	0,497	0,494
∞	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630



STA-CAL 1-02

TABLEAU 8 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge concentrée – $\mu < 0$

C_2	ψ																				
	-1	-0,9	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-0,1	0,067	0,073	0,069	0,063	0,059	0,057	0,057	0,058	0,059	0,061	0,061	0,061	0,061	0,060	0,058	0,056	0,053	0,051	0,048	0,046	0,044
-0,2	0,134	0,154	0,163	0,151	0,135	0,125	0,121	0,120	0,122	0,125	0,128	0,129	0,130	0,128	0,126	0,121	0,116	0,111	0,105	0,099	0,094
-0,3	0,202	0,231	0,263	0,277	0,253	0,222	0,202	0,193	0,191	0,194	0,198	0,203	0,206	0,206	0,204	0,198	0,191	0,181	0,172	0,161	0,152
-0,4	0,267	0,304	0,349	0,396	0,416	0,382	0,332	0,298	0,280	0,275	0,277	0,282	0,289	0,293	0,288	0,278	0,265	0,250	0,235	0,220	0,200
-0,5	0,326	0,368	0,419	0,482	0,548	0,581	0,543	0,475	0,421	0,391	0,378	0,376	0,381	0,388	0,392	0,390	0,381	0,365	0,345	0,322	0,300
-0,6	0,377	0,420	0,474	0,541	0,621	0,707	0,761	0,736	0,658	0,583	0,533	0,508	0,499	0,501	0,506	0,507	0,500	0,483	0,457	0,427	0,396
-0,7	0,419	0,463	0,516	0,582	0,662	0,757	0,862	0,943	0,947	0,875	0,787	0,717	0,674	0,652	0,646	0,645	0,639	0,623	0,592	0,552	0,509
-0,8	0,452	0,496	0,548	0,610	0,684	0,775	0,882	1,002	1,110	1,156	1,113	1,026	0,942	0,880	0,842	0,822	0,808	0,789	0,754	0,703	0,645
-0,9	0,480	0,522	0,571	0,629	0,697	0,779	0,876	0,991	1,122	1,252	1,341	1,346	1,282	1,197	1,121	1,065	1,026	0,993	0,949	0,886	0,808
-1	0,502	0,542	0,588	0,642	0,704	0,777	0,863	0,965	1,084	1,220	1,364	1,490	1,552	1,532	1,463	1,383	1,313	1,252	1,189	1,108	1,005
-1,1	0,520	0,558	0,601	0,651	0,707	0,773	0,849	0,938	1,041	1,161	1,299	1,449	1,598	1,710	1,748	1,716	1,647	1,567	1,481	1,376	1,243
-1,2	0,535	0,571	0,611	0,657	0,709	0,767	0,835	0,913	1,002	1,105	1,224	1,360	1,512	1,670	1,815	1,910	1,930	1,887	1,803	1,683	1,523
-1,3	0,547	0,581	0,619	0,661	0,708	0,762	0,822	0,890	0,968	1,057	1,159	1,276	1,408	1,556	1,716	1,875	2,008	2,079	2,070	1,983	1,824
-1,4	0,557	0,589	0,624	0,664	0,707	0,756	0,810	0,871	0,940	1,017	1,105	1,205	1,318	1,446	1,588	1,744	1,905	2,053	2,155	2,174	2,084
-1,5	0,565	0,596	0,629	0,665	0,706	0,750	0,799	0,854	0,915	0,984	1,060	1,146	1,243	1,352	1,474	1,610	1,759	1,915	2,064	2,177	2,209
-1,6	0,572	0,601	0,632	0,666	0,704	0,745	0,790	0,839	0,894	0,955	1,022	1,098	1,182	1,275	1,380	1,496	1,625	1,765	1,913	2,055	2,167
-1,7	0,578	0,606	0,635	0,667	0,702	0,740	0,781	0,826	0,876	0,930	0,991	1,057	1,131	1,212	1,302	1,402	1,513	1,635	1,766	1,904	2,036
-1,8	0,584	0,609	0,637	0,667	0,700	0,735	0,773	0,815	0,860	0,909	0,963	1,023	1,088	1,159	1,238	1,325	1,421	1,526	1,641	1,764	1,891
-2	0,592	0,615	0,640	0,667	0,696	0,726	0,760	0,795	0,833	0,875	0,920	0,968	1,021	1,078	1,140	1,207	1,281	1,361	1,449	1,543	1,645
-2,2	0,598	0,620	0,642	0,666	0,692	0,719	0,748	0,779	0,812	0,848	0,886	0,926	0,970	1,017	1,068	1,123	1,181	1,245	1,314	1,388	1,467
-2,5	0,605	0,624	0,644	0,665	0,686	0,710	0,734	0,760	0,788	0,817	0,847	0,880	0,915	0,952	0,991	1,033	1,077	1,125	1,176	1,230	1,287
-3	0,612	0,628	0,644	0,661	0,679	0,698	0,717	0,737	0,759	0,781	0,804	0,828	0,854	0,881	0,909	0,938	0,969	1,002	1,036	1,073	1,111
-3,5	0,617	0,630	0,644	0,658	0,673	0,689	0,705	0,721	0,739	0,756	0,775	0,794	0,814	0,835	0,857	0,880	0,903	0,928	0,953	0,980	1,008
-4	0,620	0,632	0,644	0,656	0,669	0,682	0,695	0,709	0,724	0,739	0,754	0,770	0,787	0,804	0,821	0,839	0,858	0,878	0,898	0,919	0,941
-5	0,624	0,633	0,642	0,652	0,662	0,672	0,682	0,693	0,704	0,715	0,727	0,738	0,750	0,763	0,775	0,788	0,802	0,815	0,830	0,844	0,859
-7	0,627	0,633	0,640	0,647	0,653	0,660	0,667	0,675	0,682	0,689	0,697	0,705	0,712	0,720	0,728	0,737	0,745	0,754	0,762	0,771	0,780
-10	0,628	0,633	0,637	0,642	0,647	0,651	0,656	0,661	0,666	0,671	0,676	0,681	0,686	0,691	0,696	0,701	0,707	0,712	0,718	0,723	0,729
∞	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630	0,630



$\mu = FL/4M > 0$

ANNEXE B

Abaques de coefficients C_1 et C_2

- **Moments d'extrémité et charge répartie**

Abaque 1 : Coefficient $C_1 - \mu > 0$

Abaque 2 : Coefficient $C_1 - \mu < 0$

Abaque 3 : Coefficient $C_2 - \mu > 0$

Abaque 4 : Coefficient $C_2 - \mu < 0$

- **Moments d'extrémité et charge concentrée**

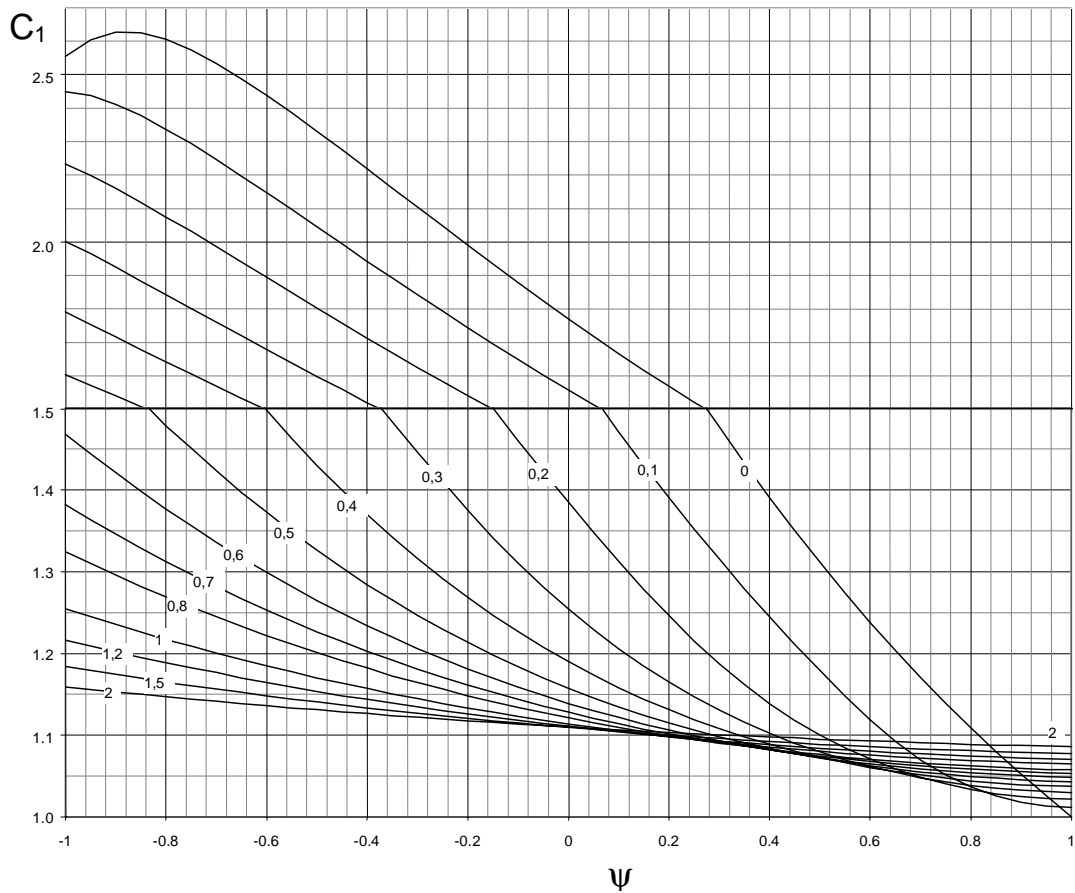
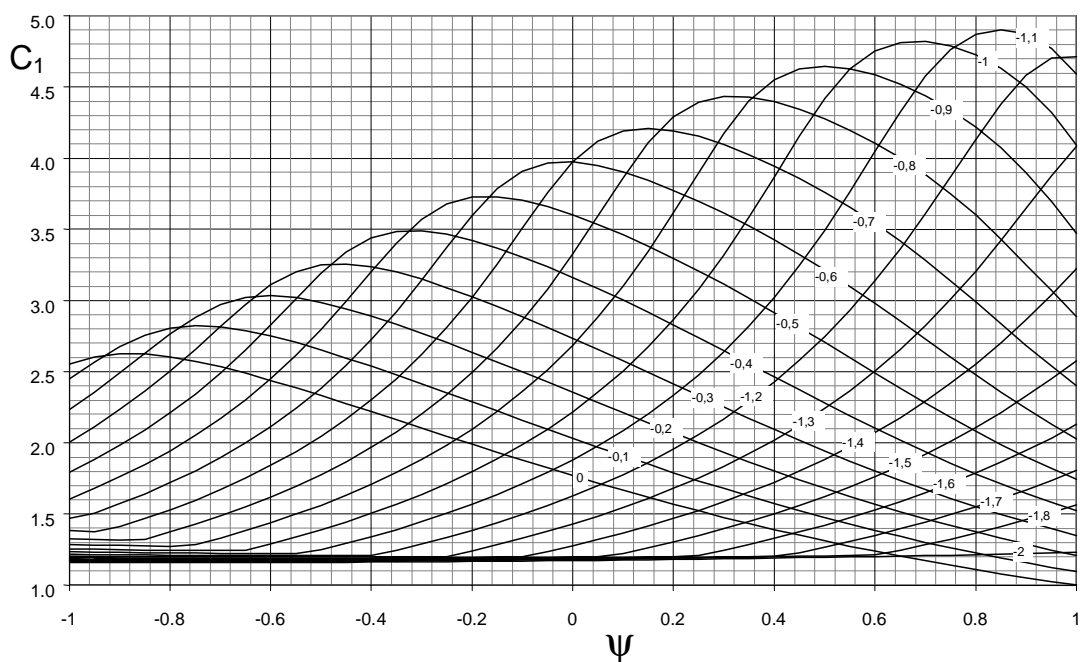
Abaque 5 : Coefficient $C_1 - \mu > 0$

Abaque 6 : Coefficient $C_1 - \mu < 0$

Abaque 7 : Coefficient $C_2 - \mu > 0$

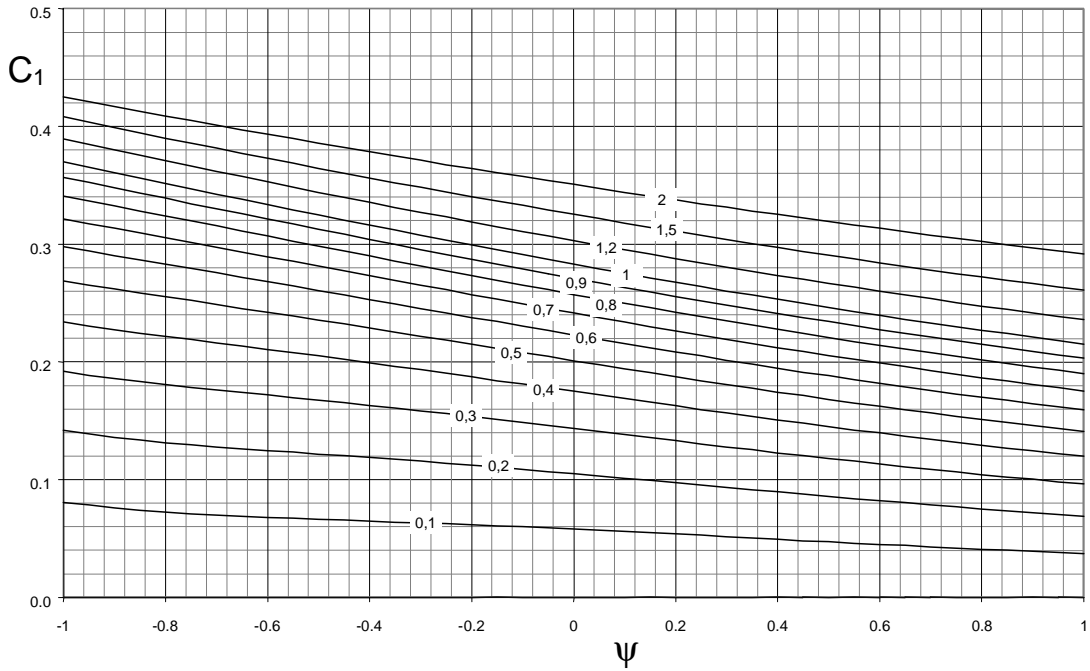
Abaque 8 : Coefficient $C_2 - \mu < 0$

STA-CAL 1-02

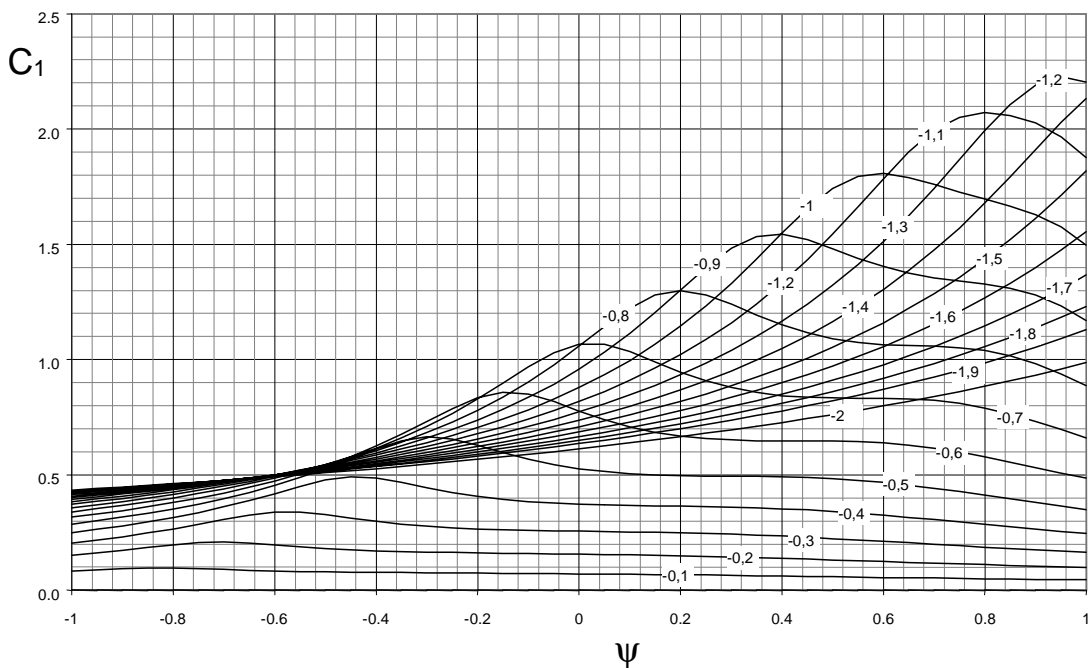
Abaque 1 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge répartie – μ positifAbaque 2 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge répartie – μ négatif

STA-CAL 1-02

Abaque 3 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge répartie – μ positif

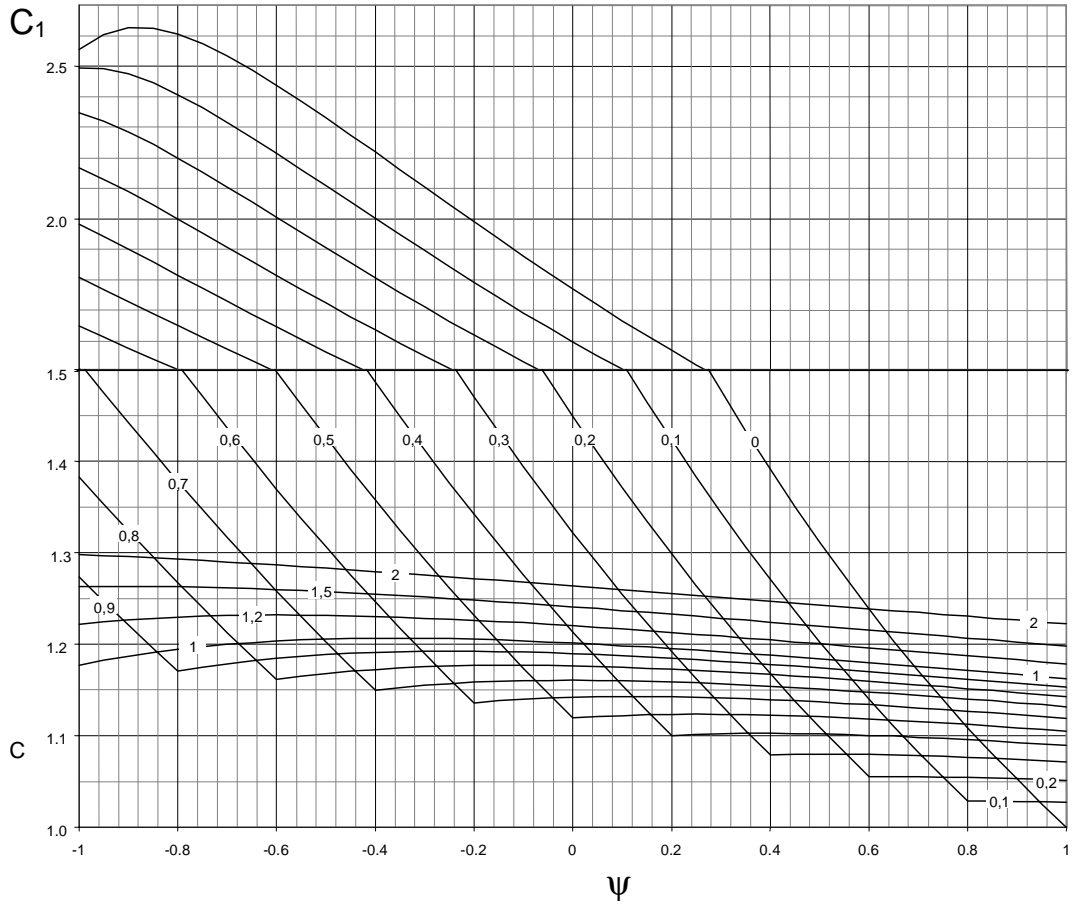


Abaque 4 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge répartie – μ négatif

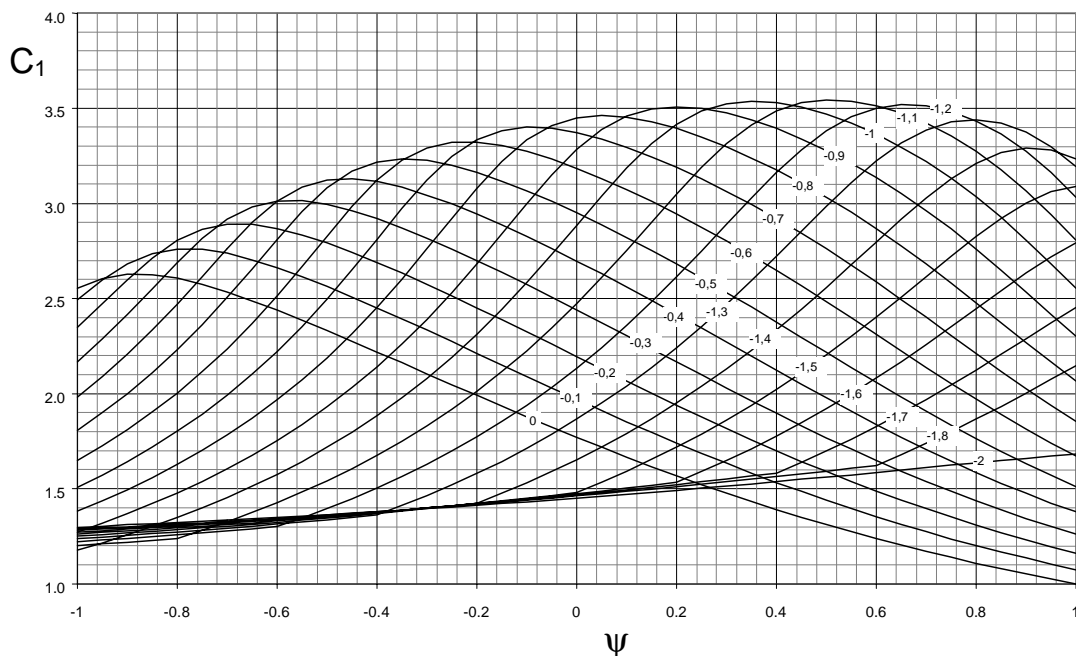


STA-CAL 1-02

Abaque 5 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge concentrée – μ positif

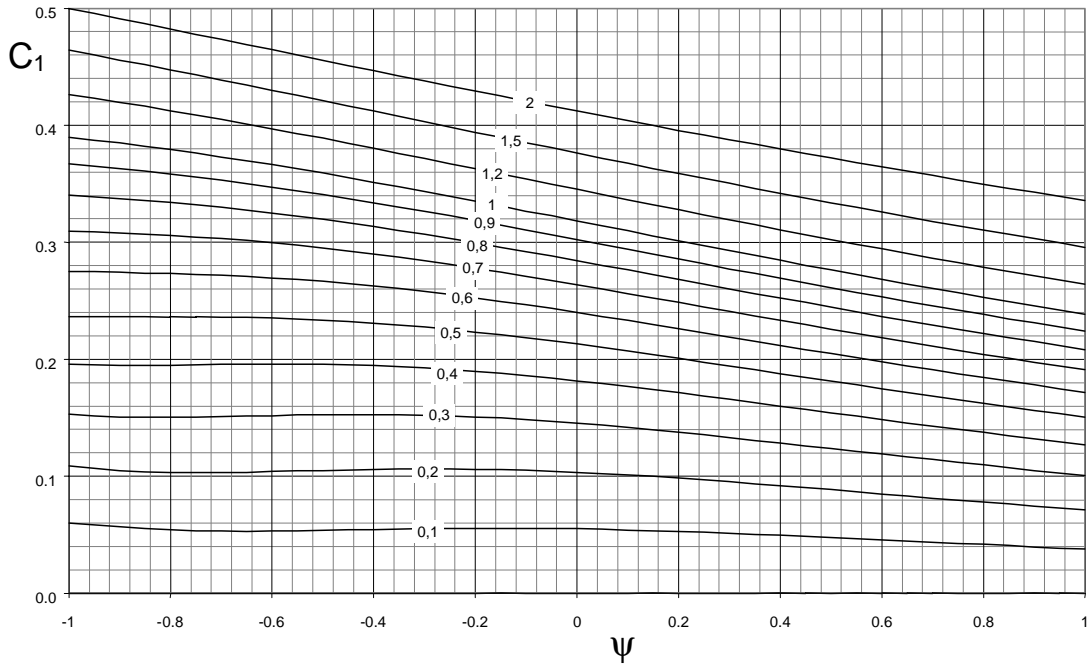


Abaque 6 – Coefficient C_1 – Moments d'extrémité et charge concentrée – μ négatif



24

Abaque 7 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémité et charge concentrée – μ positif



Abaque 8 – Coefficient C_2 – Moments d'extrémités et charge concentrée – μ négatif

