STABILITE ELASTIQUE DES PROFILS EN "C" SOUMIS A LA COMPRESSION

Par
Djamel Eddine KERDAL
Professeur, Institut de Génie Civil, UST Oran
Mustapha DJAFOUR
Chargé de Cours, Institut de Génie Civil, Université de Tlemcen
Abdellatif MEGNOUNIF
Chargé de Cours, Institut de Génie Civil, Université de Tlemcen

Résumé

Dans ce travail, l'étude de la stabilité des profils en "C" à parois minces a été menée. La méthode numérique des bandes finies a été choisie pour la résolution de ce type de problème. Pour cela, le programme "ASCOP" basée sur cette méthode a été utilisé.

Un grande variété de profils en "C" a été analysée afin de tracer les courbes de voilement. Ces courbes représentent la variation du coefficient de voilement en fonction de la longueur de la demi-onde.

De plus, comme les profils en "C" présentent des raidisseurs de bord, les limites d'efficacité de ces raidisseurs sont déterminées puis comparées à celles préconisées par l'EUROCODE.

Mots clés : bande finie • charge critique • flambement • mode d'instabilité • largeur effective • profil en "C" • raidisseur • voilement.

1 INTRODUCTION

Les sections en "C" représentent une classe importante dans le domaine des profils formés à froid. Elles sont formées d'une âme reliant deux semelles dont les autres extrémités sont raidies (Figure 1). Leurs applications les plus courantes sont les rayons de stockage et les colonnes des constructions civiles et industrielles légères.

Sous l'effet des efforts de compression, ces profils peuvent périr soit par instabilité globale (flambement) soit par instabilité locale (voilement) [4], [6]. Pour l'étude de la stabilité de ces sections, les codes de calcul les plus récents supposent que les éléments plans constituant le profil sont indépendants les uns des autres et que leurs liaisons sont remplacées par des appuis simples. L'interaction entre les parois du profil n'est pas prise en compte. On distingue alors deux types d'éléments plans : raidis (4 bords appuyés) et non raidis (3 bords appuyés) [1], [3].

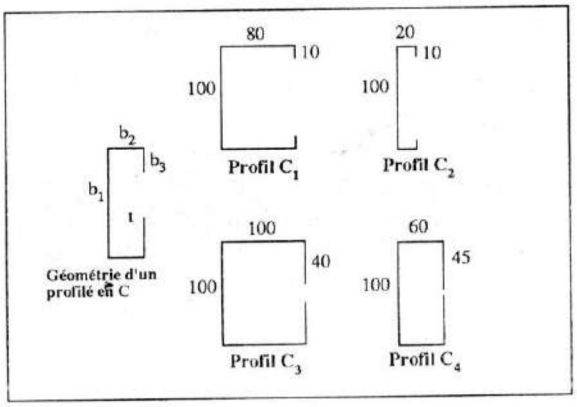


Figure 1 : Géométries des profils étudiés.

Dans ce travail, le programme "ASCOP", basé sur la méthode des bandes finies pour la détermination de la contrainte critique et des formes d'instabilité correspondantes, est utilisé [2]. Pour cela une analyse numérique de la stabilité des profils en "C" est effectuée. On considérera un nombre relativement important de profils ayant des formes géométriques distinctes pour élaborer des courbes de voilement. Et comme les profils en "C" présentent des raidisseurs, on présentera les limites d'efficacité de ces raidisseurs qui seront comparées à celles préconisées par L'EUROCODE [3].

2 ETUDE DES PROFILS EN "C"

Pour l'étude de la stabilité des profils en "C" plusieurs exemples ont été traités en faisant varier les rapports b_2 / b_1 (largeur du raidisseur / largeur de l'âme) [5]. Toutefois, on ne donnera les résultats que pour quatre profils dont les comportements sont représentatifs de l'ensemble. La description géométrique de ces profils est donnée en figure 1.

Les résultats de l'étude de la stabilité de ces profils en fonction de leurs longueurs sont décrits ci-après.

2.1 Etude du profil C_1

La figure 2 représente la variation de la contrainte critique en fonction de la longueur de la demi-onde pour le profil C_1.

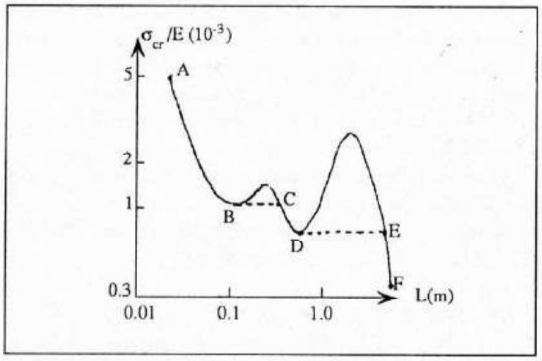


Figure 2 : Contraintes critiques en fonction de la longueur de la demi-onde du profil C_1.

On constate que cette courbe est composée de trois zones :

- La première zone délimitée par les points A, B et C caractérise un voilement local du profil. En effet, les modes d'instabilité correspondant aux points A et B (Figure 3) montrent que les éléments plans constituant le profil se déforment sans que les lignes qui les joignent ne bougent. Le raidisseur fixe donc le bout de la semelle, assurant ainsi sa fonction. On dit alors qu'il est efficace.
- La deuxième zone (CDE) correspond au voilement du raidisseur. Le mode d'instabilité des points C et D (Figure 3) indique un déplacement des raidisseurs, ce qui traduit leur inefficacité.

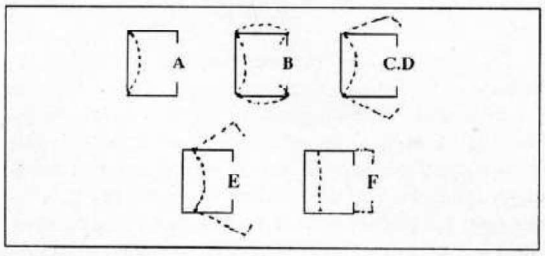


Figure 3 : Modes d'instabilité du profil C_1.

- Le tronçon EF correspond à un flambement général du profil qui se caractérise par le déplacement latéral d'ensemble sans déformation du profil (Point F de la figure 3).

2.2 Etude du profil C_2

La figure 4 représente la variation de la contrainte critique (σ_{cr} / E) en fonction de la longueur (L). On constate que cette courbe ne possède qu'un minimum et qu'un maximum locaux situés aux points (0.1 m, 1.18 10^{-3}) et (0.4 m, 1.71 10^{-3}) respectivement.

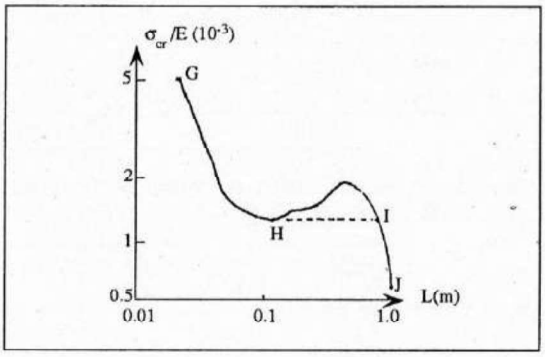


Figure 4 : Contraintes critiques en fonction de la longueur de la demi-onde du profil C_2.

Pour de faibles portées (point G), on observe un voilement pur de l'âme (Figure 5) qui est très élancée par rapport aux autres éléments plans. Au point minimum local (point H), on constate que le voilement de l'âme s'accompagne du voilement des semelles avec déplacement des raidisseurs (Figure 5). Par conséquent, le tronçon HI de la courbe 4 définit une zone de voilement local pour laquelle les raidisseurs sont inefficaces alors que IJ caractérise une zone de flambement de l'élément comme le montre le mode d'instabilité correspondant au point J (Figure 5).

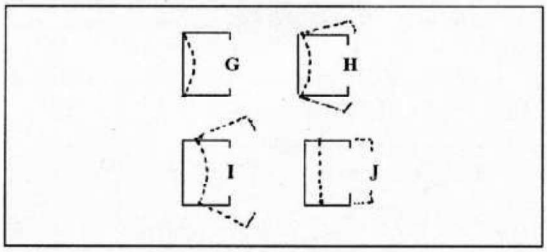


Figure 5 : Modes d'instabilité du profil C_2.

2.3 Etude du profil C_3

Les résultats obtenus pour le profil C_3 permettent de tracer la courbe de la figure 6. Elle possède deux minima locaux et deux maxima locaux. Grâce aux modes d'instabilité des différents points montrés par la figure 7, la règle de l'enveloppe inférieure permet de définir deux modes de comportement pour le profil C_3

délimités par :

- la partie KLM (Figure 6) caractérisant un voilement local de la section sans déplacement du raidisseur,
- et la zone MN correspondant à un flambement de la section.

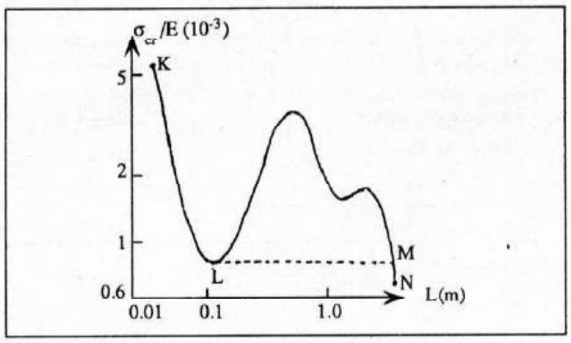


Figure 6 : Contraintes critiques en fonction de la longueur de la demi-onde du profil C_3.

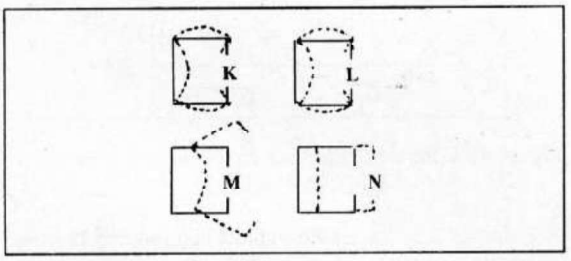


Figure 7 : Modes d'instabilité du profil C_3.

2.4 Etude du profil C_4

La courbe obtenue pour le profil C_4 est représentée par la figure 8. Elle ne possède qu'un minimum local et un maximum local. Les modes d'instabilité (Figure 9) des points O et P montrent un voilement local du profil sans déplacement des raidisseurs. Par contre celui du point R indique un flambement de l'élément. On a donc deux modes de comportement pour le profil C_4 :

1- un voilement local avec efficacité du raidisseur le long de l'enveloppe OPQ.

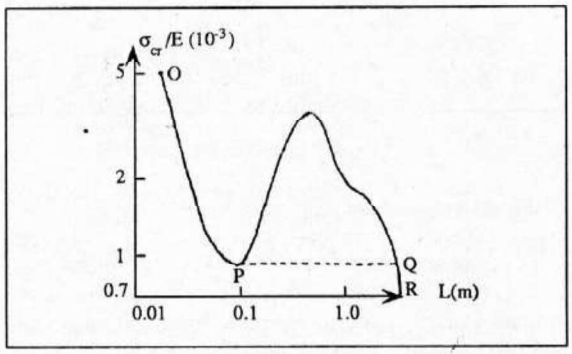


Figure 8 : Contraintes critiques en fonction de la longueur de la demi-onde du profil C_4.

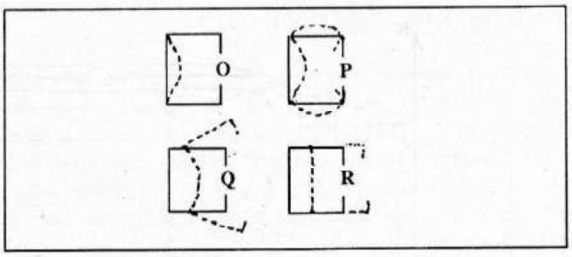


Figure 9 : Modes d'instabilité du profil C_4.

2- une instabilité globale flexionnelle le long du tronçon QR.

2.5 Remarques et conclusions

Les comportements exposés pour les profils C_1 à C_4 résument l'ensemble des résultats obtenus durant cette étude. On a constaté que dans tous les cas, on obtenait un flambement du profilé pour de grandes longueurs. Mais pour des portées plus petites, on a observé, selon le comportement du raidisseur, trois cas :

- Un voilement avec une totale efficacité du raidisseur (profilés C_3 et C_4).
- Un voilement avec une totale inefficacité du raidisseur (profilé C_2).
- Un voilement avec un raidisseur qui est efficace puis devient inefficace (profilé C_1).

En observant les deux courbes des profilés C_1 et C_4 (Figures 2 et 8), on constate que toutes les deux possèdent deux minima locaux ; seules leurs positions relatives changent. On peut alors imaginer un cas intermédiaire entre ces courbes : c'est celui pour lequel les deux minima locaux s'égalisent. Ce cas de figure donnerait alors la limite au delà de laquelle le raidisseur n'est plus efficace.

3 COURBES DE VOILEMENT DES PROFILES EN C

La variation du coefficient de voilement des profils en "C" en fonction du rapport b_3/b_1 pour différentes valeurs du rapport b_2/b_1 est donnée en figure 10. Connaissant la contrainte critique σ_{cr}, le coefficient de voilement K est déterminé par la formule classique.

$$K = \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2} \frac{\sigma_{cr}}{E} \left(\frac{t}{b_1}\right)^2$$

On note la présence d'une frontière en traits tirets traduisant la séparation du domaine où le raidisseur est totalement efficace de celui où son efficacité est partielle ou nulle. Les valeurs du cofficient de voilement correspondant à un rapport b_3 / b_1 nul sont celles des profilés en U. On remarque aussi de ces courbes que pour les profilés dont le rapport b_2 / b_1 est compris entre 0.2 et 1.0, le coefficient de voilement augmente avec la diminution de la largeur b_3 du raidisseur

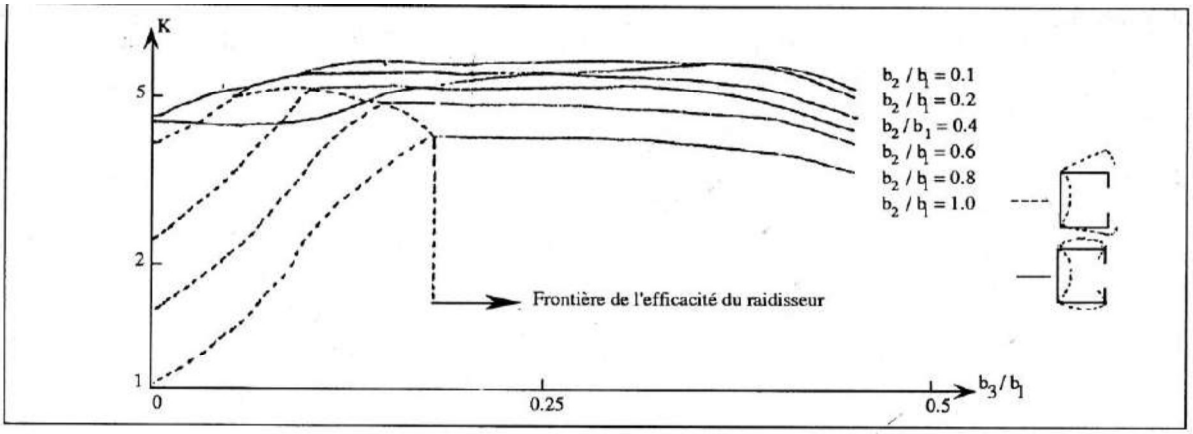


Figure 10 : Courbes du coefficient de voilement des profils en C.

jusqu'à atteindre la courbe frontière. Après cette limite, les valeurs du coefficient de voilement sont plus ou moins constantes avant d'atteindre un rapport b_3/b_1 égal environ à 0.4 au delà duquel elles commencent à diminuer.

La courbe correspondant à un rapport b_2/b_1 égal à 0.1 présente, cependant, une allure différente des cinq autres courbes. Pour pouvoir l'interpréter, on a tracé sur la figure 11 la variation de la contrainte (σ_{cr}/E) en fonction de la longueur L pour cinq profilés ayant une valeur du rapport b_2/b_1 égale à 0.1 et dont les rapports b_3/b_1 prennent successivement les valeurs 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 et 0.45. De cette figure, on remarque que toutes les courbes présentent un minimum et un maximum (locaux) et que les contraintes qui leur correspondent sont très proches. Le comportement de ce type de profilé peut être alors, par exemple, très sensible aux imperfections. Il peut également comprendre des modes d'interaction entre le voilement et le flambement.

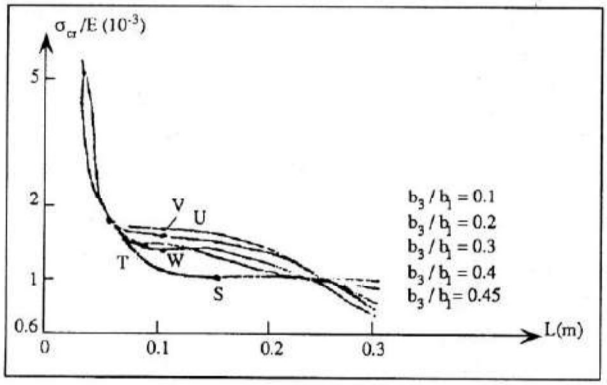


Figure 11 : Contraintes critiques en fonction de la longueur de la demi-onde du profil de rapport $b_2/b_1 = 0.1$.

En observant maintenant les modes d'instabilité correspondant aux minima locaux des courbes tracées (Figure 12), on constate que le raidisseur n'assure sa fonction qu'aux points U et W correspondant à des rapports b_3/b_1 égaux à 0.4 et 0.45 respectivement.

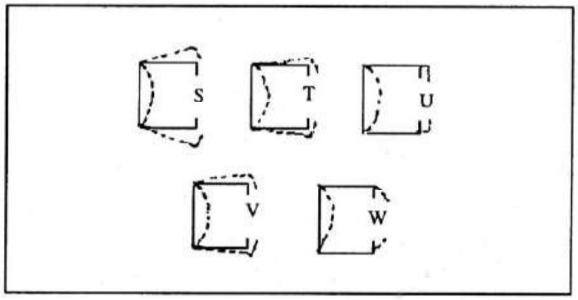


Figure 12 : Modes d'instabilité de la courbe 11.

Pour ces cas le raidisseur est alors inadéquat, et ces points sont donc situés au delà de la courbe frontière ; ce qui explique l'absence d'un palier constant sur la courbe b_2/b_1 égal à 0.1.

Ainsi, en conclusion, les courbes de la figure 11 peuvent être utilisées directement pour déterminer le coefficient de voilement, et par suite la contrainte critique, des profilés en "C" à partir de leurs données géométriques.

4 COMPARAISON DES LIMITES D'EFFICACITE DU RAIDISSEUR TROUVEES AVEC CELLES DONNEES PAR L'EUROCODE

Afin de comparer les résultats obtenus par le programme "ASCOP" avec ceux donnés par l'EUROCODE, on s'est limité uniquement aux sections en C vérifiant les conditions sur leurs dimensions imposées par l'EUROCODE.

Les semelles de ces prodilés sont des éléments plans ayant un raidisseur de bord. Les recommandations qui leur correspondent peuvent être trouvées dans la référence [3].

Généralement l'EUROCODE permet de calculer le moment d'inertie I_{sa} du raidisseur adéquat. En considérant sa section comme rectangulaire on pourra déduire sa hauteur.

Le tableau 1 résume les différentes valeurs minimales de la hauteur b_3 pour les six valeurs du rapport b_2/b_1 utilisées.

b_2/b_1	b_3 efficace (mm)	
	Eurocode	Numérique
1.0	21.68	18
0.8	20.16	15
0.6	18.36	10
0.4	16.12	5.7
0.2	2.34	/
0.1	0	/

Tableau 1 : Comparaison des valeurs de la hauteur du raidisseur adéquat.

On remarque que les valeurs obtenues par le programme sont nettement inférieures à celles données par le code pour des rapports b_2/b_1 supérieurs à 0.2. Ces valeurs restent néanmoins comparables, du moins, dans l'allure de leur variation.

Les faibles valeurs du raidisseur adéquat préconisées par le code pour les rapports b_2/b_1= 0.1 et 0.2, permettent de comprendre pourquoi il a été impossible de les trouver numériquement. En effet, dans ce cas le risque de voilement est plus grand pour l'âme (qui est élancée) et par conséquent, il n'est pas nécessaire de raidir la semelle.

5 CONCLUSION

L'objectif de ce travail a été l'élaboration des courbes de voilement des profilés en C uniformément comprimés, en tenant compte de l'interaction entre leurs parois pour améliorer le calcul de la largeur effective de leurs éléments. Les conclusions qui peuvent être tirées de cette étude seront :

- Les courbes élaborées donnent des valeurs du coefficient de voilement supérieures à celle proposées dans les codes car elles tiennent compte de l'interaction entre les parois du profilé. Du moment que l'EUROCODE le permet, elles peuvent alors être utilisées dans les calculs. Une confrontation avec des valeurs expérimentales serait néanmoins souhaitable, voire nécessaire.
- Les limites d'efficacité calculées par le programme "ASCOP" sont inférieures à celles proposées par le code de calcul. On pourrait justifier ceci par le fait que ce dernier fournit toujours des valeurs conservatives. Toutefois, là aussi, une comparaison avec des résultats expérimentaux est nécessaire pour donner une conclusion définitive ❸

BIBLIOGRAPHIE

[1] E.M Batista : "*Etude de la stabilité des profils à parois minces et sections ouvertes de types U et C*". Thèse de Doctorat, Université de Liège, Collection des publications N°119, 1989.

[2] M. Djafour : "*Utilisation de la méthode des bandes finies dans l'étude du comportement des tôles trapézoïdales soumises à la flexion*". Thèse de magister UST Oran, 1991.

[3] ECCS-Technical Commitée 7 : "*European recommandations for the design of light gauge steel members*". First edition, 1987.

[4] G.J Hancock : "*Distorsionnal buckling of steel storage ranck columns*". Journal of structural engineering, vol 111 N°12, pp 2770-2783, 1985.

[5] D. Kerdal, A. Megnounif & M. Djafour : "*Elaboration de courbes de voilement de profils en U soumis à la compression*". Rapport de recherche USTO, Algérie, 1992.

[6] T. Rhodes : "*Cold formed steel sections-state of the art in Great Britain*". Département of mechanics materials, University of Strathclyde, Glasgow, U.K, pp 406-418, 1983.

Dans un prochain numéro

ETUDE DU VOILEMENT DES PROFILS EN "U" SOUMIS A LA COMPRESSION .

Par :
D. Kerdal
M. Djafour
A. Megnounif