
Amélioration de la précision des formules d'interaction pour les structures d'échafaudage sensibles aux effets du second ordre

C. MERCIER¹, A. KHELIL¹, F. AL MAHMOUD¹ et A. PAMIES²

¹ Université de Lorraine, IJL, UMR CNRS 7198, Nancy France

charlotte.mercier@univ-lorraine.fr, abdel.khelil@univ-lorraine.fr, firas.al-mahmoud@univ-lorraine.fr

² SFECE, Paris France

alain.pamies11@orange.fr

RÉSUMÉ. Les formules d'interaction proposées par l'Eurocode 3 Partie 1-1 permettent de vérifier la résistance des barres comprimées fléchies en prenant en compte les imperfections initiales de la structure sans toutefois les inclure dans le modèle de la structure. Cependant, à travers plusieurs exemples, nous avons mis en évidence que les résultats obtenus à partir de la vérification des barres comprimées fléchies avec ces formules d'interaction sont surestimés par rapport à une vérification en section, lorsque les imperfections initiales sont incluses dans le modèle. Cette différence est due au coefficient de réduction pour le flambement χ , qui est défini pour une structure chargée à son maximum. Afin de pallier ce problème, nous avons donc défini trois nouvelles formules d'interaction, selon la classe de la section transversale et le critère souhaité (élastique, plastique linéaire ou plastique non-linéaire). Ces formules d'interaction sont basées sur la définition d'un facteur de réduction au flambement χ^* , variable suivant le niveau de chargement. Une nouvelle procédure de calcul pour le dimensionnement des barres comprimées fléchies sans déversement est proposée.

ABSTRACT. The buckling resistance verification according Eurocode 3 Part 1-1 enables to take into account the initial imperfections in the criterion without include them in the model structure. However, through several examples, we can highlighted that the buckling resistance verification overestimates the results compared to the cross-section resistance verification when the initial imperfections are included in the model structure. This difference comes from the buckling reduction factor χ , which is defined to a structure loaded at its full potential. To overcome this problem, three new interaction formulae are defined according to the class of the cross-section and the type of resistance criterion used (elastic, linear plastic and non-linear plastic). These new interaction formulae are based on the definition of new buckling reduction factors χ^* , dependent on the charge level of the structure. A flow chart of the design procedure for beam-columns without lateral-torsional buckling is proposed.

MOTS-CLÉS : effets du second ordre, formule d'interaction, poteau/poutre.

KEY WORDS: sensitive structure, second order effects, interaction formulae, beam-columns.

1. Introduction

Pour le dimensionnement d'une structure, il est nécessaire de mettre en place un modèle et des hypothèses qui reflètent au mieux son comportement. Ainsi, les sollicitations d'une structure peuvent être déterminées à partir d'une analyse au 1^{er} ou au 2nd ordre selon l'influence de la déformation de la structure. En général, on peut noter sur les structures d'échafaudage, du fait de leur faible rigidité (vis-à-vis de la rigidité des bâtiments), les imperfections structurelles génèrent des effets du second ordre importants qui doivent donc être pris en compte dans le dimensionnement. La difficulté subsiste sur la façon la plus appropriée de définir et de prendre en compte ces imperfections initiales de la structure.

Les montants d'échafaudage sont des éléments soumis à de la compression et de la flexion combinées. Le dimensionnement de telles structures peut être effectué de deux manières :

- Dimensionnement en section : les imperfections initiales sont incluses dans le modèle
- Dimensionnement en instabilité : les imperfections initiales ne sont pas incluses dans le modèle

Cette deuxième méthode est celle proposée par l'Eurocode 3 [NF EN 1993-1-1]. Plusieurs études [TC8 06], [MAQ 01] ont été menées afin de mettre en évidence les fondements théoriques des formules d'interaction de l'Eurocode 3. Cependant, grâce à plusieurs exemples, il est possible de mettre en évidence que les résultats obtenus avec cette méthode sont surestimés par rapport aux résultats obtenus avec une vérification en section, lorsque les imperfections initiales sont incluses dans le modèle.

Afin d'améliorer la précision de ces formules, Boissonnade et al. [BOI 02] propose une nouvelle définition des formules d'interactions. Cependant, cette méthode ne permet pas de prendre en compte le niveau de critère souhaité (élastique, plastique linéaire ou plastique non-linéaire). Ainsi, le but de cet article est de proposer des formules d'interaction plus précises, plus transparentes et qui permettent d'avoir plusieurs niveaux de critère selon la classe de la section transversale.

2. Principes actuels de dimensionnement des barres comprimées fléchies

Le dimensionnement d'une barre comprimée fléchie peut être effectué à partir de deux critères :

- Critère de résistance en section en incluant les imperfections initiales dans le modèle :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Ed}^II}{M_{el,Rd}} \leq 1 \quad [1]$$

- Critère de résistance en instabilité sans inclure les imperfections initiales dans le modèle :

$$\frac{N_{Ed}}{\chi \cdot N_{Rd}} + k_{yy} \times \frac{M_{Ed}^I}{M_{el,Rd}} \leq 1 \quad [2]$$

Pour la modélisation des imperfections initiales, nous avons fait le choix d'utiliser la méthode alternative proposée par l'Eurocode 3 (§5.3.2(11)). En effet, cette méthode permet de prendre en compte les aspects géométriques, les conditions aux limites, les propriétés mécaniques intrinsèques et le niveau de chargement de la structure dans la définition de l'imperfection ; ce qui n'est pas possible avec les méthodes conventionnelles de l'Eurocode 3 (§5.3.2(3) et §5.3.2(7)).

Nous avons donc appliqué ces deux méthodes à différentes structures afin de pouvoir les comparer. Les structures étudiées sont présentées sur la figure 1.

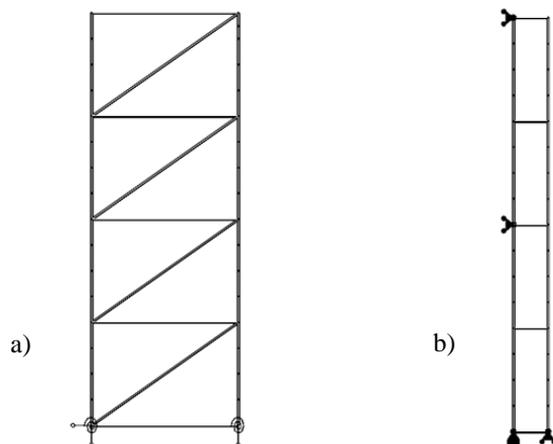


Figure 1. a) Tour autostable 8x3m : b) Echafaudage de façade 8x0,7m.

La tour autostable est sollicitée avec une charge verticale et une charge horizontale en tête de chaque montant. L'échafaudage de façade est sollicité avec une charge verticale en tête de chaque montant ainsi qu'une charge répartie sur le montant de à l'opposé des appuis de façade. L'intensité des charges varie afin de pouvoir faire varier le coefficient α_{cr} de chaque structure.

Les résultats présentés ci-dessous sont des résultats pour des critères élastiques. Cependant les mêmes calculs ont été effectués avec des critères plastiques. Les résultats obtenus avec les deux méthodes sont donnés en figure 2.

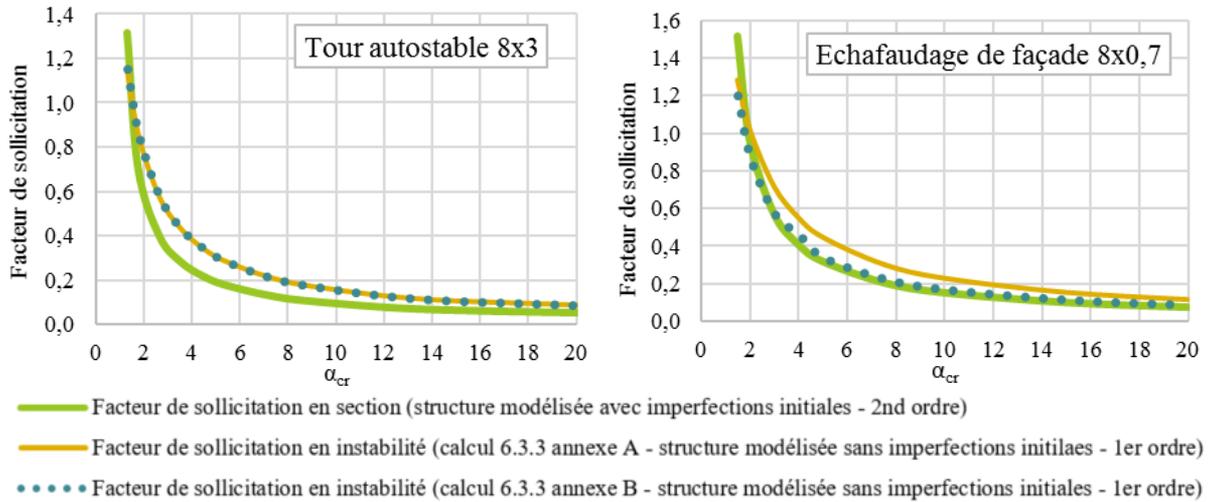


Figure 2. Résultats critères actuels de dimensionnement pour la tour autostable et l'échafaudage de façade.

D'après les résultats précédents, on peut voir que les formules d'interaction de l'Eurocode 3 (§6.3.3), surestiment le résultat par rapport à une vérification en section lorsque les imperfections initiales sont générées dans le modèle de la structure. De plus, la formulation actuelle des formules d'interaction ne permet pas d'apprécier correctement l'effet de chaque sollicitation. Cette différence est due au coefficient de réduction pour le flambement χ qui est défini pour une structure chargée à son maximum. Les mêmes écarts ont pu être observés avec un critère plastique. Afin de pallier ce problème, nous avons donc défini une nouvelle procédure de dimensionnement des barres comprimées fléchies, qui permet une évaluation plus juste du facteur de sollicitation sans générer les imperfections initiales dans le modèle de la structure.

3. Proposition d'une nouvelle procédure pour le dimensionnement des barres comprimées fléchies

Pour permettre une estimation plus juste du facteur de sollicitation, nous avons donc défini une nouvelle formule d'interaction pour les barres comprimées fléchies, qui permet de prendre en compte les imperfections initiales dans le calcul sans toutefois les générer dans le modèle de calcul. Pour cela, nous avons défini un coefficient de réduction au flambement χ^* , qui permet de tenir compte du niveau de chargement de la structure. Afin de tenir compte de la capacité de la section transversale, nous avons défini trois formules d'interaction pour les barres comprimées fléchies : une formule d'interaction élastique, une formule d'interaction plastique linéaire et une formule d'interaction plastique non-linéaire. Pour accompagner ces nouvelles formules d'interaction, nous avons réalisé une procédure de dimensionnement des barres comprimées fléchies (Figure 3) afin de connaître le critère à appliquer suivant la classe transversale, la modélisation ou non des imperfections dans le modèle de calcul et le type de calcul effectué (1^{er} ou 2nd ordre).

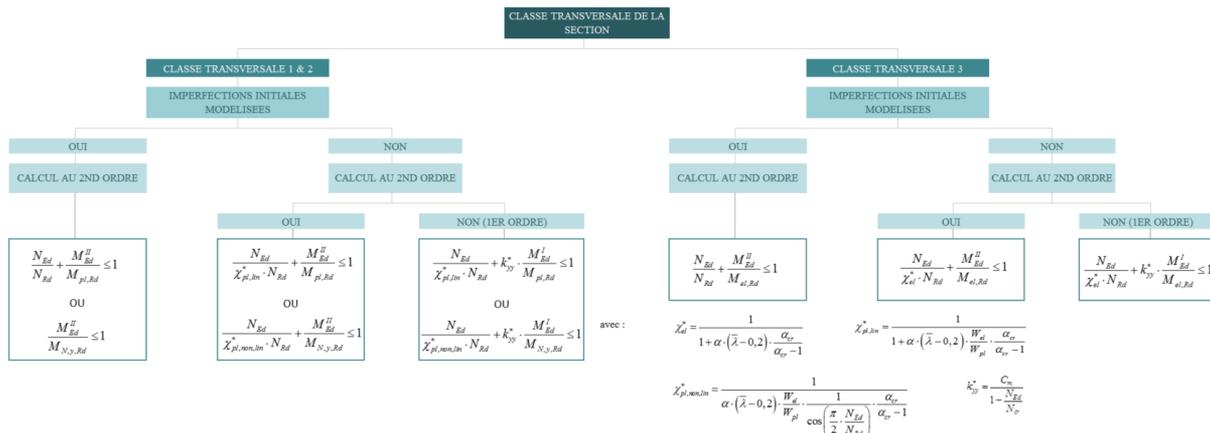


Figure 3. Procédure de dimensionnement des barres comprimées fléchies.

Nous avons donc appliqué ces nouvelles formules d'interaction aux structures précédentes. Comme auparavant les calculs présentés ci-dessous sont ceux pour des critères élastiques ; cependant les mêmes calculs ont été effectués avec des critères plastique linéaire et plastique non-linéaire.

Les résultats obtenus avec les deux méthodes sont donnés en figure 4.

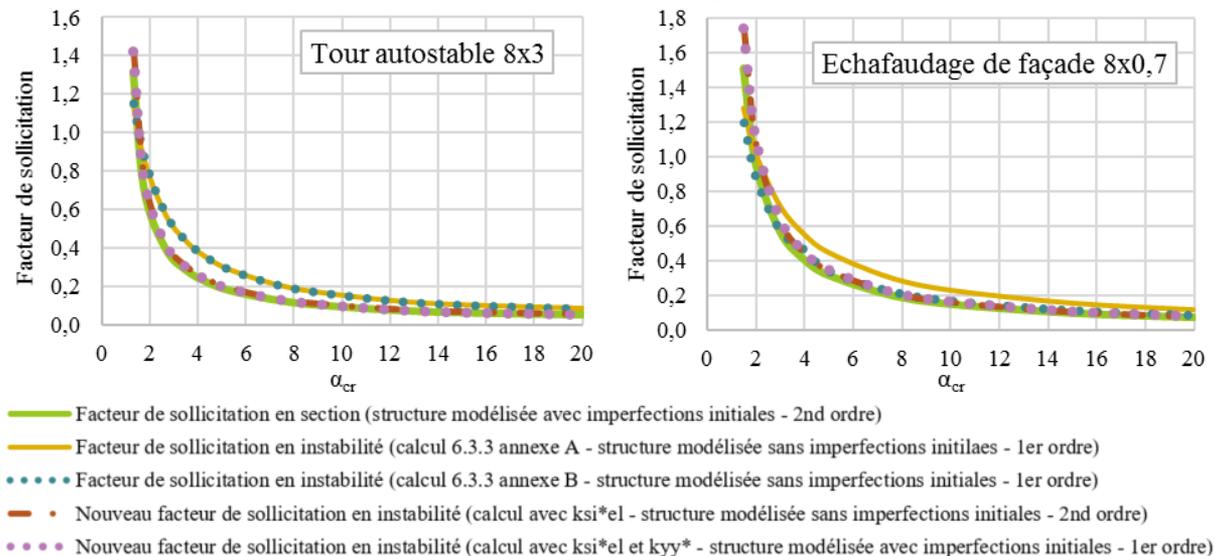


Figure 4. Résultats des nouvelles formulations d'interaction pour les barres comprimées fléchies.

On peut donc voir que les résultats obtenus avec la nouvelle formule d'interaction pour les barres comprimées fléchies sont identiques aux résultats obtenus avec la vérification en section lorsque les imperfections initiales sont générées dans le modèle de la structure. Les mêmes résultats peuvent être observés avec les critères plastique linéaire et plastique non-linéaire.

4. Conclusion

Dans cet article, nous avons donc pu mettre en évidence que les résultats obtenus à partir des formules d'interaction de l'Eurocode 3 sont surestimés vis-à-vis des résultats obtenus à partir d'une vérification en section lorsque les imperfections initiales sont générées dans le modèle de la structure.

Afin de pallier ce problème, nous avons donc défini de nouvelles formules d'interaction qui permettent d'estimer au mieux le facteur de sollicitation de la structure sans générer les imperfections initiales dans le modèle. Nous avons défini trois formules d'interaction (élastique, plastique linéaire et plastique non-linéaire) qui permettent de s'adapter à la capacité de la classe de la section transversale de la structure étudiée. Ainsi, une procédure pour expliquer le principe de dimensionnement des barres comprimées fléchies est présentée. Cela permet de connaître le critère à appliquer selon la classe transversale de la section, la modélisation ou non des imperfections initiales ou encore le type de calcul effectué (1^{er} ou 2nd ordre). Avec l'application de ces critères à différentes structures, nous avons pu mettre en évidence que ces nouvelles formules permettent d'obtenir des résultats équivalents à la vérification en section avec les imperfections initiales générées dans le modèle de calcul.

Bibliographie

[NF EN 1993-1-1] NF EN 1993-1-1, *Eurocode 3 : Calcul des structures en acier. Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments*, Afnor, 2005.

[TC8 06] TC8, *Physical background to beam-column formulae in EC3*, Afnor, 2006.

[MAQ 01] MAQUOI R., BOISSONNADE N., MUZEAU J.P., VILLETTE M., « The interaction formulae for beam-columns: a new step of a yet long story », *Proceedings of the 2001 SSRC Annual Technical Session & Meetings*, 2001, p. 63-88.

[BOI 02] BOISSONNADE N., JASPART J.P., VILLETTE M., « Improvement of the interaction formulae for beam-columns in Eurocode 3 », *Computers and Structures*, vol. 80, 2002, p. 2375-2385.