

## ANALYSE DE LA STABILITE ELASTIQUE DES POTEAUX COMPOSES FORMES A FROID PAR LA METHODE DSM

### BUILT UP COLUMNS ELASTIC ANALYSIS USING DSM METHOD

Réception : 02/05/2017

Acceptation: 13/08/2017

Publication : 31/01/2018

KHERBOUCHE Soumia<sup>1</sup>, MEGNOUNIF Abdellatif<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RISAM, Laboratoire Risk assessment and management, Département de Génie civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie, e-mail : [soumia\\_kher@yahoo.fr](mailto:soumia_kher@yahoo.fr).

<sup>2</sup>RISAM, Laboratoire Risk assessment and management, Département de Génie civil, Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie, e-mail : [Abdellatif\\_megnounif@yahoo.fr](mailto:Abdellatif_megnounif@yahoo.fr).

**Résumé-** L'utilisation des différentes formes de sections dans les poteaux composés formés à froid a permis aux concepteurs du domaine de l'acier léger d'élargir les applications de l'acier formé à froid à des structures qui peuvent s'étendre sur de grandes surfaces, en supportant des charges élevées et en maintenant une légèreté de poids très appréciée. La méthode de la résistance directe (DSM) basée essentiellement sur la détermination de la charge critique élastique semble être une alternative intéressante pour simplifier la procédure réglementaire de l'analyse de la stabilité par rapport à la complexité de la méthode de la largeur efficace. Dans ce travail, une étude de la stabilité élastique des poteaux composés formés à froid, de diverses formes, soumis à une compression uniforme est menée. En utilisant les différentes approches de calcul proposées par la DSM et en faisant varier certains paramètres, on peut évaluer la précision de la méthode de la résistance directe pour les sections innovantes étudiées ainsi qu'avec la méthode des éléments finis en utilisant ANSYS.

**Mots - clés :** Colonne composée, DSM, Elastique, Profilés, Formé à froid.

**Abstract-** The use of different shapes of cold formed composed columns sections allowed the designers of lightweight steel sector to expand the steel cold-formed applications to structures that may extend over large surfaces, supporting high loads and maintaining an appreciated lightness vis-à-vis the weight. The direct strength method (DSM) based primarily on the determination of elastic critical load, seems to be an interesting alternative to simplify the regulatory process of the stability analysis in relation to the complexity of the effective width method. In this paper a study of elastic stability of cold-formed built-up columns, of various shapes, under a uniform compression is conducted. Using different approaches to calculations proposed by the DSM, and varying certain parameters, we can evaluate the reliability of the direct resistance method for innovative sections studied as well as the finite element method using ANSYS software.

**Keywords:** Built-up column, DSM, Elastic, Section, Cold formed.

### 1-Introduction

Les aciers formés à froid sont largement utilisés dans le secteur de la construction métallique, à cause des avantages offerts par rapport aux autres matériaux de construction. L'un de ces principaux avantages réside dans la grande flexibilité de formes des sections transversales en raison de processus de fabrication qui permettent de produire une grande variété de formes qu'on peut optimiser en fonction des critères structuraux, économiques ou esthétiques. Mais les formes de sections

deviennent de plus en plus complexes, ce qui pose un grand problème pour les concepteurs, à cause de la difficulté de calcul avec les méthodes existantes qui sont très fastidieuses et parfois non fiables.

Les recherches récentes disponibles sur les poteaux composés CFS sont rares et principalement axées sur des sections composées simples en C ou en U. Des sections innovantes sont de plus en plus utilisées et également considérées comme une évolution des deux sections U et C. L'utilisation de ces sections conduit actuellement à des problèmes de

conception complexes à cause de la déformation caractéristique interactive des membres composés sous une charge et aussi leurs potentiels de développement d'instabilités importantes de formes différentes (locales, globales, ou distorsionnelles). Afin de tenir compte de ces types d'instabilité, une nouvelle méthode a été développée par Schafer et T. Peköz, Réf. [1] en 1998 appelée « méthode de la résistance directe » (DSM) et dans laquelle les capacités portantes nominales vis-à-vis des trois types d'instabilité sont estimées directement à partir des forces critiques élastiques correspondantes calculées pour la section entière. Cette méthode, vue sa simplicité, commence à être utilisée de plus en plus pour calculer la charge ultime des éléments en acier formés à froid car elle permet d'éviter les longs calculs des largeurs efficaces. Elle a été approuvée par le comité AISI (2001), Réf. [2] de la réglementation et a été introduite dans le code nord-américain AISI (2004-b) Réf. [3] pour la conception des éléments en acier formés à froid. Megnounif et al., Réf. [4] ont proposé une procédure de prédiction de la résistance des poteaux composés formés à froid au flambement élastique en utilisant la méthode de la largeur efficace et l'approche de la méthode de résistance directe. La comparaison faite a permis de confirmer la simplicité de la DSM tout en assurant des résultats très acceptables. T. Jessica Whittle et al., Réf. [5], ont réalisé plus de 150 essais expérimentaux de compression sur les poteaux composés de section C, leurs objectif principal étant de trouver la capacité portante des poteaux composés en faisant varier différents paramètres. Les résultats obtenus ont été comparés aux résultats théoriques basés sur le C4.5 élancement modifié de l'AISI 2007 (Description pour les poteaux composés) de la section. L'utilisation de l'élancement modifié est plus conservatrice pour les poteaux longs et épais.

Au vu de la revue bibliographique, nous constatons que les derniers travaux tendent vers l'utilisation et la vérification de la DSM dans l'étude des poteaux composés de sections de plus en plus complexes.

Georgieva et al., Réf. [6], en 2011 ont étudié expérimentalement et numériquement les poteaux composés. Jia et al., Réf. [7], dans leurs études, ont procédé à une série de tests sur les poteaux composés de section en  $\Sigma$ . Georgieva et al., Réf. [8] ont pu montrer dans leur étude que la DSM pourrait facilement être étendue vers les membres

composés si des dispositions pour les membres sensibles à l'interaction flambement global et distorsionnel sont incluses dans le procédé.

Dans la présente étude, l'objectif principal est d'utiliser la DSM pour déterminer la charge critique de poteaux composés de sections très diverses en faisant varier certains paramètres comme l'épaisseur du profilé, la géométrie, la longueur du poteau, l'épaisseur des sections en contact et le nombre d'étrésillons dans les poteaux composés. Ces études ont été menées pour prédire de manière plus simple le comportement des poteaux composés de différentes sections transversales en compression et de vérifier l'exactitude de la méthode résistance directe pour les sections innovantes étudiées avec différentes approches ainsi qu'avec la méthode des éléments finis en utilisant ANSYS.

## 2- Proposition d'approches pour le calcul de la charge critique d'un poteau composé

### 2.1- Méthode de la résistance directe (DSM)

En se basant sur le guide de conception par la DSM introduit dans le code américain (AISI 2007) Réf. [9, 10], on va essayer d'utiliser la procédure employée dans les codes de calcul pour proposer une approche d'analyse de stabilité de poteaux composés de profilés formés à froid. La procédure exige que l'instabilité élastique locale (voilement), distorsionnelle ou globale doit être obtenue analytiquement ou numériquement en utilisant une méthode appropriée telle que celle des éléments finis (ANSYS), Réf.[11] ou des splines bandes finies (CUFSM), Réf.[12].

La DSM, dans les spécifications nord-américaines [10] et le code Australie / Nouvelle-Zélande, Réf. [13], est présentée comme suit :

Pour  $\lambda_c \leq 1.5$

$$P_{ne} = (0.658^{\lambda_c^2}) P_y \quad (1)$$

Pour  $\lambda_c \geq 1.5$

$$P_{ne} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) P_y \quad (2)$$

$$\text{où } \lambda_c = \sqrt{P_y/P_{cre}} \quad (3)$$

$$\text{et } P_y = A f_y \quad (4)$$

$P_{cre}$  est la plus petite valeurs des trois charges critiques élastiques des modes globaux d'instabilité : flexionnel, torsionnel et flexionnel torsionnel.

$P_{ne}$  est la charge nominale élastique du mode d'instabilité global.

La charge nominale ( $P_{nl}$ ) pour l'instabilité locale est donnée par :

Pour  $\lambda_c \leq 0.776$

$$P_{nl} = P_{ne} \quad (5)$$

Pour  $\lambda_c \geq 0.776$

$$P_{nl} = \left(1 - 0.15 \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}}\right)^{0.4}\right) \left(\frac{P_{crl}}{P_{ne}}\right)^{0.4} P_{ne} \quad (6)$$

$$\text{où } \lambda_c = \sqrt{P_y/P_{crl}} \quad (7)$$

$P_{crl}$  est la charge critique élastique du mode local.  
 $P_{nl}$  est la charge nominale élastique du mode local.

Pour l'instabilité de type distorsionnelle, la charge nominal ( $P_{nd}$ ) est donnée par :

Pour  $\lambda_c \leq 0.561$

$$P_{nd} = P_y \quad (8)$$

Pour  $\lambda_c \geq 0.561$

$$P_{nd} = \left(1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6}\right) \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6} P_y \quad (9)$$

$$\text{où } \lambda_c = \sqrt{P_y/P_{crd}} \quad (10)$$

$P_{crd}$  est la charge critique élastique du mode distorsionnel.

$P_{nd}$  est la charge nominale élastique du mode distorsionnel.

De ces équations Eq. (1) et Eq. (2), Eq. (5) et Eq. (6), Eq. (8) et Eq. (9), la charge minimale  $P_n$  sera égale au minimum soit :

$$P_n = \min(P_{ne}, P_{nl}, P_{nd}) \quad (11)$$

## 2.2- Approches proposées

La procédure de la DSM définie dans le paragraphe 2.1 est utilisée pour déterminer les valeurs de résistance des poteaux composés. En fonction du mode de calcul des caractéristiques élastiques des trois modes d'instabilités, quatre approches sont proposées pour le calcul de la charge critique d'un poteau composé de profilés formés à froid.

### 2.2.1- Approches (DSM 1) et (DSM 2)

Dans ces deux approches la charge nominale est calculée en utilisant la méthode des spline bandes finies CUFSM pour obtenir la limite élastique locale  $f_{ol}$  et la limite élastique distorsionnelle  $f_{od}$  sauf que dans la première approche (DSM 1) on suppose, pour le calcul de la charge  $P_n$  d'un poteau composé, que sa section est égale à deux fois la section transversale ( $A_g$ ) d'un seul poteau.

### 2.2.2- Approches (DSM 3) et (DSM 4)

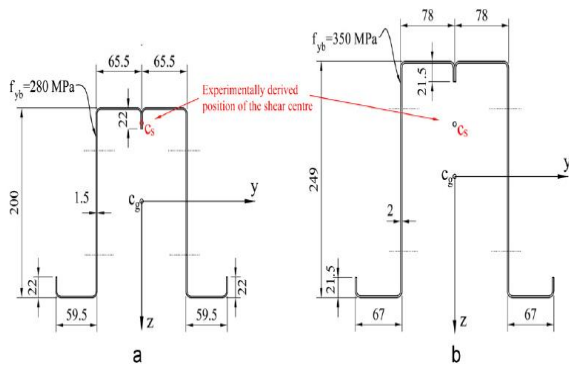
Dans cette approche, la charge critique élastique est calculée en utilisant la méthode des éléments finis, la charge obtenue est la limite élastique du mode d'instabilité correspondant ( $f_{ol}$ ,  $f_{od}$ ,  $P_{cre}$ ), la charge nominale  $P_n$  est la charge critique élastique  $P_{ne}$  des modes d'instabilité globaux : flexionnel, torsionnel et flexionnel torsionnel ( $P_{cre}$ ), local ( $P_{nl}$ ) et distorsionnel ( $P_{nd}$ ). Le logiciel ANSYS a été utilisé dans ce cas pour déterminer la charge critique élastique qui nous permet de calculer la charge nominale représentant la valeur minimale entre les trois modes d'instabilités.

## 3- Simulation numérique

Actuellement, la méthode la plus puissante et efficace pour l'analyse structurale est la méthode des éléments finis (FEM). Pour notre analyse, on a utilisé le logiciel ANSYS, Réf. [11] qui reste un outil très robuste pour l'étude de comportement de diverses structures. Afin de valider notre modèle numérique, nos résultats trouvés vont être comparés avec ceux des résultats expérimentaux disponibles dans la littérature et les résultats de différentes approches proposées. On a choisi deux programmes expérimentaux réalisés par Georgieva, Réf. [6] et Jia et al., Réf.[7].

### 3.1-Programme expérimental de Georgieva et al.

8 essais de compression ont été réalisés pour obtenir la capacité portante du mode d'instabilité globale des poteaux composés en Z (Fig.1) d'une longueur de 4.45 m. Trois paramètres ont été étudiés : la géométrie de la section, la contrainte limite nominale de l'acier et l'espacement entre les étrépillons. Les dimensions des profilés sont choisies de sorte que les trois modes d'instabilité seront représentés.

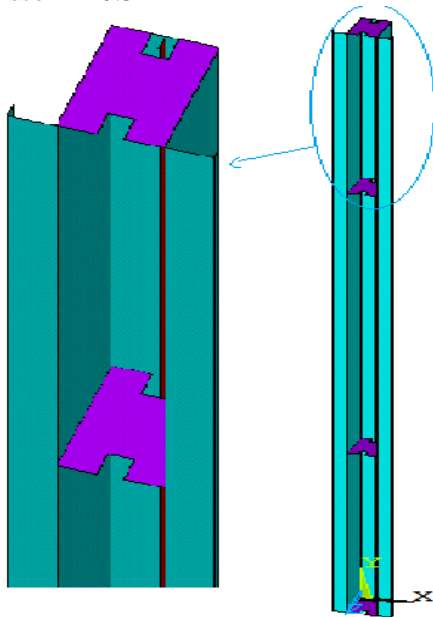


**Figure 1 :** Géométrie et dimension du poteau composé en Z, Réf. [6].

**Figure 1:** Geometry and dimensions of Z built up columns section Réf. [6].

Pour ce type de profilés, on utilisera la méthode des éléments finis pour la détermination de la charge critique de flambement global. L'élément choisi est SHELL63 élastique pour les profilés formés à froid et l'étrésillon (Fig.2). Le matériau utilisé est considéré linéaire isotrope avec :

Module d'Young = 210 GPa; Coefficient de Poisson = 0.3



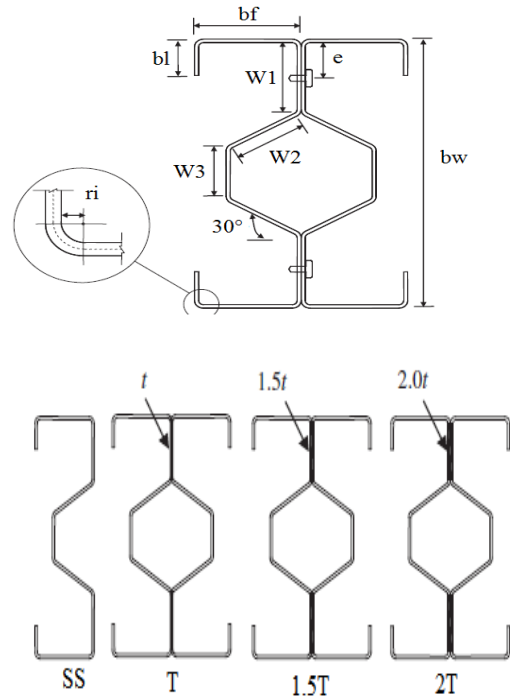
**Figure 2 :** Modèle numérique d'un poteau composé en Z.

**Figure 2:** Numerical model Z built up columns.

### 3.2- Programme expérimental de Jia et al

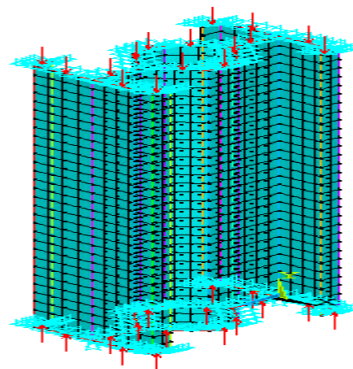
Jia Zhang-Hui et al., en 2012 Réf.[7], ont mené une série de tests sur les poteaux composés

de section en  $\Sigma$  ouverte de forme I (figure 3). Les poteaux ont été comprimés entre les extrémités fixes. Un total de 21 essais a été effectué, la limite élastique statique mesuré de 0.2 % de l'acier  $f_y$  est de 604 MPa. Les détails des caractéristiques géométriques des poteaux sont donnés en tableau 1, et dans le tableau 2, les propriétés géométriques et matérielles.



**Figure 3 :** Poteau composé  $\Sigma$  de forme I, Réf. [7].

**Figure 3:** Built up column of  $\Sigma$  section I, Réf. [7].



**Figure 4:** Modèle numérique d'un poteau composé en  $\Sigma$

**Figure 4:** Numerical model  $\Sigma$  built up columns

**Tableau 1:** Résultats d'analyse par CUFSM et propriétés géométriques de la section  $\Sigma$   
**Table 1:** Analysis results by CUFSM and geometry propriety of  $\Sigma$  section

	SS	T	1.5T	2T
Ag(mm <sup>2</sup> )	98,35	173	185	197
Iyy(mm <sup>4</sup> )	12162	51355	51357	51363
t=0.48 mm	Fy=697 Mpa		E=221 Gpa	
	SS	1T	1.5T	2T
Fol (Mpa)	211	212	235	251
Fod (Mpa)	275	345	435	507

### 3.3- Étude paramétrique

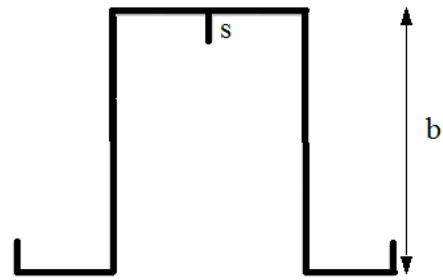
L'objectif principal est de trouver la charge critique et le mode d'instabilité pour une variété de nombre d'étrésillons afin de déterminer la fiabilité de la méthode des éléments finis. En outre, les effets des caractéristiques des poteaux composés, comme l'épaisseur du membre, la géométrie du membre, la section transversale, la longueur du poteau et l'épaisseur de la section de contact ont été explorés afin d'obtenir un large éventail de données qui pourraient représenter de manière plus approfondie le comportement des poteaux composés de section Z en compression.

#### 3.3.1-Influence du nombre et épaisseurs d'étrésillons

Dans cette partie du travail on a varié le nombre d'étrésillons sur une longueur de 4450 mm afin de voir son influence sur le mode d'instabilité des poteaux métalliques à étrésillons de différentes épaisseurs d'étrésillons. Pour les dimensions des profilés et le modèle numérique, on a pris l'exemple du programme expérimental de Georgieva, Réf.[6], paragraphe 3.1 (voir Fig.1 et Fig.2)

#### 3.3.2-Influence de la section de contact

Pour cette deuxième partie on a varié la longueur de la section de contact (s), entre les profilés en Z, en fonction de la largeur (b), voir Fig.5.



**Figure 5 :** Section transversale dans l'étude paramétrique

**Figure 5:** Geometry of cross-section in parametric study varying the contact section

#### 3.3.3-Section innovante (section transversale)

Dans cette partie, on va mener une étude paramétrique sur deux types de sections transversales innovantes (Fig.6) de poteaux composés en utilisant les différentes approches proposées et en faisant varier les paramètres tels que l'élancement du poteau, le mode de ruine, et l'épaisseur de la section de contact (s).

**Tableau 2:** Résultats d'analyse par CUFSM et propriétés géométriques de la section I

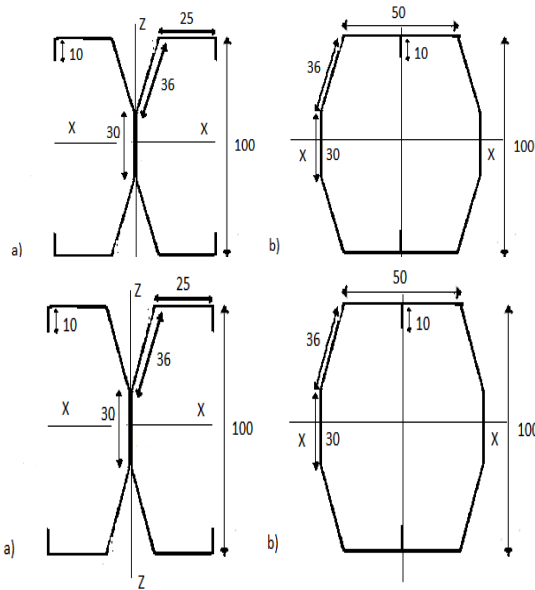
**Table 2:** Analysis results by CUFSM and geometry propriety of I section

	SS	T	1.5T	2T
Ag(mm <sup>2</sup> )	172.8	315.6	330.6	345.6022
Iyy(mm <sup>4</sup> )	27133.54	109686.74	109686.74	109686.74
t=1 mm	Fy=604 Mpa		E=203 Gpa	
	SS	1T	1.5T	2T
Fol (Mpa)	684.77	732.67	895.19	990.11
Fod (Mpa)	434.78	530.51	613.56	630.47

**Tableau 3:** Les résultats d'analyse par CUFSM et propriétés géométriques de la section octogonale

**Table 3:** Analysis results by CUFSM and geometry propriety of octagonal section

	SS	T	1.5T	2T
Ag(mm <sup>2</sup> )	172.8	315.6	330.6	345.6
Iyy(mm <sup>4</sup> )	205755.15	205755.15	205755.15	205755.15
t=1 mm	Fy=604 Mpa;		E=203 Gpa	
	SS	1T	1.5T	2T
Fol (Mpa)	754.15	753.44	762.07	767.43
Fod (Mpa)	421.14	865.83	845.47	825.76



**Figure 6** : Sections transversales de poteaux composés étudiés, a) section de forme I et b) section fermée (octogone)

**Figure 6** : Cross-section of built up columns, a) I section and b) close section (octogonal)

## 4- Résultats et discussions

### 4.1- Validation du modèle

Afin de valider le modèle numérique et les approches proposées, une étude comparative avec les résultats expérimentaux de deux programmes (paragraphes 3.1 et 3.2) est présentée dans les Tab.4 et Tab.5.

**Tableau 4:**Résultats d'analyse par CUFSM et propriétés géométriques de la section octogonale

**Table 4:** Analysis results by CUFSM and geometry propriety of octagonal section

	Number of stiches	Pexp (KN)	Faillure mode	Pexp/PDSM3	Pexp/PDSM4
	1	77.04	L+F	1	1.23
Z200-1.5	1.5	89.29	L+F	1.07	1.35
	2	94.41	L+F	1.03	1.35
	1	173.15	L+F	0.76	1.16
Z250-2	1.5	194	L+F	0.88	1.32
	2	169.14	L+F	0.79	1.18

Note:

P exp = Charge expérimentale du poteau composé.  
Pcr (Ansys) = charge critique élastique par ANSYS.  
PDSM 1= charge nominale du poteau composé par la DSM 1.  
PDSM 2= charge nominale du poteau composé par la DSM 2.  
PDSM 3= charge nominale du poteau composé par la DSM 3.  
PDSM 4= charge nominale du poteau composé par la DSM 4.

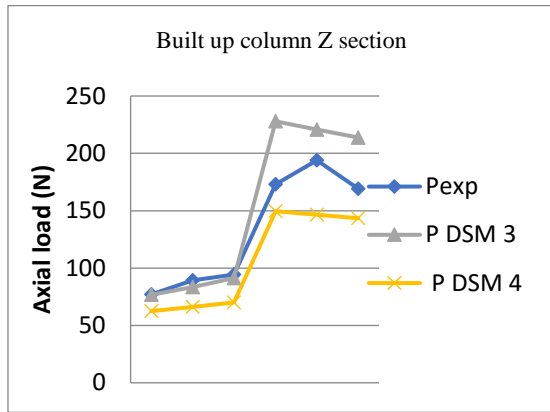
**Tableau 5:** Comparaison des résultats expérimentaux, Réf. [7] avec les approches DSM

**Table 5:** Comparison of experimental results Réf. [7] with the proposed approach by DSM

	Pep (KN)	Pexp/P DSM3 -2t	Pexp/P DSM2 -1t	Pexp/P DSM2 -1.5t	Pexp/P DSM2 -2t	PDS M 1 (KN)
IT0.48L300	68.8	1.11	1.02	0.92	0.84	1.02
IT0.48L800	67.1	1.16	1.03	0.94	0.86	1.00
IT0.48L1400	65.5	1.31	1.11	1.01	0.94	1.20
IT0.48L2000	52.9	1.5	1.04	0.96	0.90	1.39
IT0.48L2600	45.3	1.73	1.09	1.02	0.97	1.70
IT0.48L3200	42.1	3.9	1.31	1.24	1.19	2.32

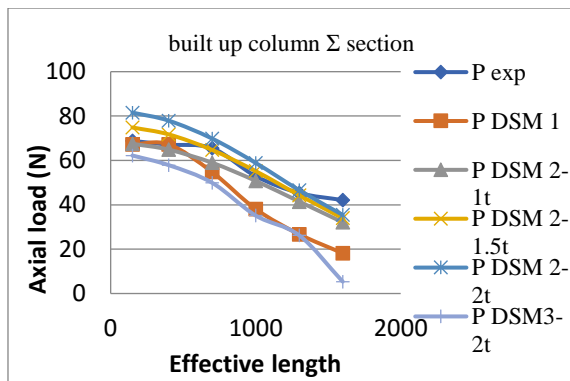
Note :

PDSM 1= charge nominale du poteau composé de la DSM 1.  
PDSM 2-1t = charge nominale de la DSM 2 avec une épaisseur de contact entre les deux sections égale à 1\*t calculé par CUFSM .  
PDSM 2-1.5t = charge nominale de la DSM 2 avec une épaisseur de contact entre les deux sections est de 1.5\*t calculé par CUFSM  
PDSM 2-2t= charge nominale de la DSM 2 avec une épaisseur de contact entre les deux sections est de 2\*t calculé par CUFSM  
PDSM 3-1t = charge nominale de la DSM 2 avec une épaisseur de contact entre les deux sections est de 1\*t calculé par ANSYS .  
PDSM 3-1.5t = charge nominale de la DSM 2 avec une épaisseur de contact entre les deux sections est de 1.5\*t calculé par ANSYS  
PDSM 3-2t = charge nominale de la DSM 2 avec une épaisseur de contact entre les deux sections est de 2\*t calculé par ANSYS



**Figure 7** : Comparaison des résultats trouvés avec les différentes approches et les résultats expérimentaux, section en Z

**Figure 7** : Comparison with experimental and proposed approach of Z section



**Figure 8** : Comparaison des résultats trouvés avec les différentes approches et les résultats expérimentaux, section en  $\Sigma$

**Figure 8** : Comparison with experimental and proposed approach of  $\Sigma$  section

On remarque dans le Tab.4 et Tab.5 que les valeurs de la charge nominale obtenues par les approches proposées basées sur la méthode des éléments finis sont très proches des valeurs expérimentales. Les valeurs moyennes des rapports  $P_{exp}/P_{DSM3}$  varient de 0.77 à 0.99 et  $P_{exp}/P_{DSM4}$  de 1.18 à 1.23 et ceci pour le programme expérimental, Réf.[6]. La Fig.7 relative à la section sigma montre la variation de la charge nominale en fonction de l'élancement. En général les résultats obtenus par DSM3 pour les longueurs de 800 mm jusqu'à 2000 mm (mode local et distortif), sont comparables aux résultats expérimentaux. Pour les longueurs 2600 mm et 3200 mm, on remarque une

déviations des charges pour le mode global (flexionnel, torsionnel, flexionnel-torsionnel).

#### 4.1- Etude paramétrique

Dans le Tab.6, on voit que la charge d'instabilité globale trouvée dépend du nombre d'étrésillons et l'épaisseur du poteau composé. Dans le premier cas où  $L=4450$ , le nombre d'étrésillons est égal à deux, placés aux extrémités du poteau composé, à cause de la symétrie et comme le montrent les résultats pour toutes les épaisseurs, l'étrésillon central n'a aucune influence sur la charge critique ( $L=2225$ ). (Voir Fig.8)

On remarque dans cette étude que le nombre d'étrésillons influe considérablement sur la charge critique. Leurs positions et espacements ont une importance dans l'analyse de la stabilité des poteaux composés.

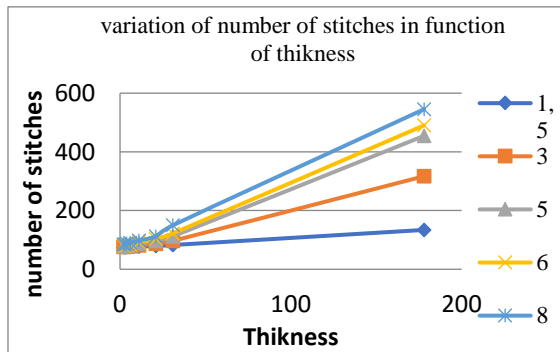
**Tableau 6**: La charge critique de la variation du nombre d'étrésillons en fonction de l'épaisseur  
**Table 6**: The critical load varying the number of stitches a function of the thickness

L(mm)	Nbr of stitches	t (thickness) (mm)				
		1,5	3	5	6	8
4450	2	75.33	76.54	78.57	80.21	85.14
2225	3	75.39	76.61	78.63	80.26	85.19
1475	4	75.62	77.28	79.86	81.86	87.83
900	6	76.06	78.58	82.21	84.86	90.47
425	11	77.15	81.73	87.83	92.05	97.68
225	21	79.18	87.24	97.16	103.53	112.41
150	31	82.64	96.91	112.41	122.28	150.05
25	178	134.06	316.95	454.58	490.14	545.21

**Tableau 7**: La charge critique de la variation de la section en contact

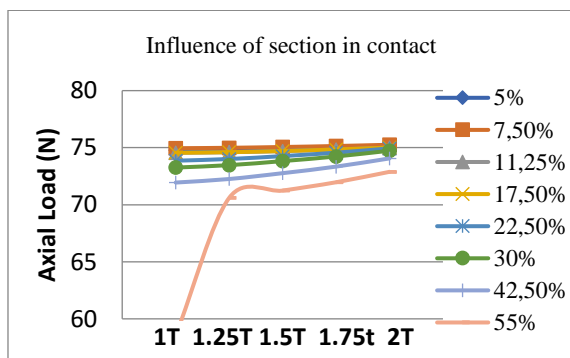
**Table 7**: The critical load varying the length and thickness of contact section

s	10	15	22.5	45	60	85	110
s/b	5%	7.50%	11.25%	22.50%	30%	42.50%	55%
1T	74.78	74.95	74.55	73.86	73.26	71.94	58.53
1.25T	74.80	74.99	74.60	74.01	73.47	72.25	70.59
1.5T	74.85	75.06	74.70	74.26	73.82	72.77	71.24
1.75T	74.90	75.15	74.84	74.56	74.23	73.34	71.97
2T	74.98	75.26	75.01	74.94	74.73	74.06	72.88



**Figure 9 :** Influence du nombre d’étrépillons en fonction de l’épaisseur

**Figure 9 :** The influence of number of stitches in function of thickness



**Figure 10 :** Influence de la section en contact

**Figure 10 :** The influence of section in contact

Dans le Tab.7, les résultats indiquent l’influence de l’épaisseur et de la largeur de la section de contact : on observe que la charge critique à partir du rapport s/b supérieur à 30% commence à diminuer, ce qui est le cas pour toutes les variations d’épaisseurs de contact. La modélisation de l’épaisseur de la section de contact influe de façon importante sur les résultats d’instabilité des poteaux composés.

**Tableau 8 :** Résultats de la charge critique pour la section I

**Table 8 :** The critical load for I section

I section			
L(mm)	Pcr(ANS)1T (N/mm <sup>2</sup> )	Pcr(ANS)1.5T (N/mm <sup>2</sup> )	Pcr(ANS)2T (N/mm <sup>2</sup> )
250	818.22	840.22	809.86
750	653.32	880.02	931.3
1200	396.42	413.47	432.75
2500	103.93	110.39	110.4
4000	43.36	43.37	43.47

**Tableau 9 :** Résultats de la charge critique pour la section octogonale

**Table 9 :** The critical load for octogonal section

Octogonal section			
L(mm)	Pcr(ANS)1T (N/mm <sup>2</sup> )	Pcr(ANS)1.5T (N/mm <sup>2</sup> )	Pcr(ANS)2T (N/mm <sup>2</sup> )
250	993.02	988.878	985.85
750	1692	1688	1688
1200	919.74	920.67	921.49
2500	220.69	220.67	220.66
4000	86.77	86.764	86.76

**Tableau 10:** Comparaison des résultats des approches proposées de la section en I calculée par la méthode spline bande finis

**Table 10:** Comparison results of proposed approach of I section calculated by B-spline method

I section					
L(mm)	P DSM 1(N)	P DSM 2t (N)	P DSM 2-1.5t (N/)	P DSM 2-2t (N)	Faillure Mode
250	136.2	135.56	150.7035	159.24	D
750	136.2	135.56	150.7035	159.24	D
1200	136.2	135.56	150.7035	159.24	D+F
2500	61.03	108.09	112.1579	112.16	D+F
4000	23.84	39.32	48.1825	48.18	F



**Tableau 11:** Comparaison des résultats des approches proposées de la section en I calculés par la méthode des éléments finis

**Table 11:** Comparison results of proposed approach of I section calculated by finite element method

I section				
L(mm)	DSM3-1t (N)	DSM3-1.5t (N)	DSM3-2t (N)	Failure Mode
250	160.11	169.24	174.71	D
750	127.76	149.82	159.12	D
1200	100.74	108.34	107.33	D+F
2500	28.76	32.01	33.46	D+F
4000	12.01	12.57	13.17	F

**Tableau 12:** Comparaison des résultats des approches proposées de la section octogonale calculés par la méthode spline bande finis

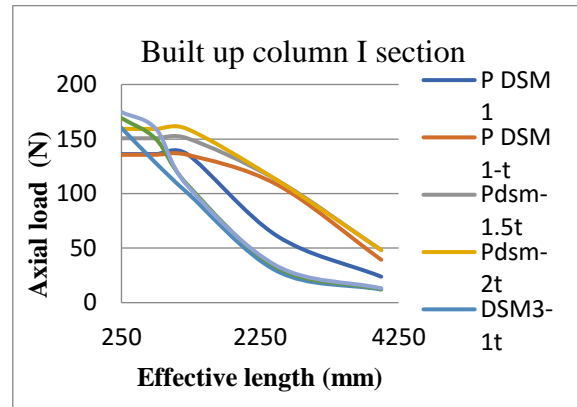
**Table 12:** Comparison results of proposed approach of octagonal section calculated by B-spline method

Octagonal section					
L(mm)	P DSM 1 (N)	P DSM 2-t (N)	P DSM 2-1.5t (N)	P DSM 2-2t (N)	Failure Mode
250	135.56	163.18	169.58	175.87	D+L
750	135.56	163.18	169.58	175.87	D+L+F
1200	135.56	163.18	169.58	175.87	F
2500	108.09	140.87	145.46	149.89	F
4000	39.31	87.89	88.74	89.42	F

**Tableau 13:** Comparaison des résultats des approches proposées de la section octogonale calculés par la méthode des éléments finis

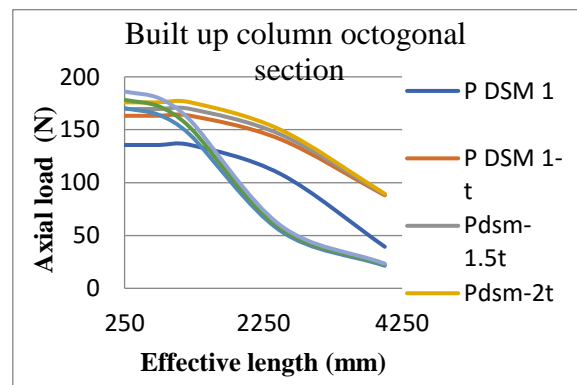
**Table 13:** Comparison results of proposed approach of octagonal section calculated by finite element method

Octagonal section				
L(mm)	DSM3-1t (N)	DSM3-1.5t (N)	DSM3-2t (N)	Failure Mode
250	170.33	178.21	186.12	D+L
750	163.9	171.9	179.7	D+L+F
1200	144.8	151.73	158.66	F
2500	54.2	56.76	59.343	F
4000	21.3	22.31	23.33	F



**Figure 11 :** Influence de la section en contact

**Figure 11 :** The influence of section in contact



**Figure 12 :** Influence de la section en contact

**Figure 12 :** The influence of section in contact

Dans la dernière partie de notre étude, on a étudié la stabilité de deux sections transversales innovantes formant des poteaux composés en utilisant les différentes approches proposées avec deux méthodes : la méthode des splines bandes finis en utilisant CUFSM et la méthode des éléments finis en utilisant ANSYS, en faisant varier l'épaisseur de la section de contact. On remarque dans les tableaux, de Tab.8 à Tab.13, que les valeurs de la charge nominale pour les deux sections sont très proches tandis que pour les longueurs  $L=250$  et  $L=750$ , elles commencent à dévier lorsque les modes d'instabilité deviennent globaux. La section de contact a une grande influence sur la charge critique calculée par le modèle numérique.

## 5- Conclusion

Le modèle numérique constitue un outil important dans la détermination de la charge critique élastique, paramètre important pour toutes les approches considérées. Les résultats prouvent que le modèle proposé permet de faire une analyse précise et efficace de la stabilité élastique des poteaux composés. Les modes d'instabilité observés des poteaux composés de profilés formés à froid sont de type local, distorsionnel, global de la membrure ou bien de type eulérien.

De nouvelles approches sont proposées dans ce travail pour calculer la charge critique des poteaux composés de profilés minces et de sections transversales différentes. Ces approches sont basées sur la procédure de la DSM utilisée dans le code nord-américain. On a utilisé deux méthodes d'analyse soit la méthode des éléments finis (ANSYS), soit la méthode des bandes finies spline (CUFSM) pour déterminer la charge critique élastique, paramètre de base dans la procédure DSM. Une étude paramétrique est menée pour montrer l'influence de certains paramètres tels que le nombre d'étrésillons, l'épaisseur, la section de contact et la section transversale. On peut dire que tous ces paramètres jouent un rôle important dans la stabilité et la résistance d'un poteau composé.

Les différentes comparaisons menées avec les charges expérimentales ont montré que ces méthodes donnent de bons résultats, ce qui nous amène à dire que ces procédures de conception très simples à utiliser, peuvent être adoptées pour différentes sections complexes de structures formées à froid. La DSM reste une méthode simple à utiliser et qui ne nécessite pas la détermination des propriétés géométriques de la section transversale (sauf la surface), opération fastidieuse dans les autres méthodes telles que la méthode de la largeur efficace.

## Références bibliographiques

[1] Schafer BW. Review., *The direct strength method of cold-formed steel member design.*, J Constr Steel Res, n°64, pp766–78, 2008.

[2] American Iron and Steel Institute, AISI ., *AISI Standard for Cold-Formed Steel Framing* 2001., Washington, DC, USA, 2001.

[3] American Iron and Steel Institute, (AISI),. *Commentary on Appendix 1 Design of Cold*

*formed Steel Structural Members with the Direct Strength Method.*, Washington, DC,(2004b).

[4] Megnounif, A., Djafour, M., Belarbi, A. and Kerdal, D., *Strength buckling predictions of cold-formed steel built-up columns.*, Int. J. Struct. Eng. Mech, Vol.28, n°4, pp 443-460, 2008.

[5] Whittle, , J. Ramseyer, C.,V., *Buckling capacities of axially loaded, cold-formed, built-up C-channels.*, Thin-Walled Structures, n°47, pp190-201,2009.

[6] Georgieva, I., Schueremansa, L.,Pyl, L., *Experimental investigation of built-up double-Z members in bending and compression.*, Thin-Walled Structures, Vol.53, n°4, pp48-57, 2012.

[7] Zhu, JH., Young, B., *Compression tests of cold-formed steel I-shaped open sections with edge and web stiffeners.*, Thin-Walled Structures, Vol. 52, pp 1–11, 2012.

[8] Georgieva I.B., Schueremans, L., Vandewalle L., Pyl L., *Design of built-up cold-formed steel columns according to the direct strength method.*, Steel Structures and Bridges, Vol.40, pp119-124, 2012.

[9] AISI., *AISI Standard for Cold-Formed Steel Framing*, American Iron and Steel Institute, Washington, DC, USA, 2007.

[10] North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, American Iron and Steel Institute, AISI S100-2007, 2007.

[11] ANSYS GUI Help Documentation, ANSYS Release 11, 2003.

[12] CUFSM, CUFSM Version 2.5, by Ben Schafer, Department of Civil Engineering, Johns Hopkins University.(2001) <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/cufsm/>

[13] Australian Standard, SAA loading code, part 1., Dead and live loads and load combinations., AS 1170.1-2002. Sydney, Australia, 2002.