Remerciements

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE SAAD DAHLAB DE BLIDA 1
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du Diplôme de Master en
Construction mécanique

Thème :
CALCUL DU SUPPORT D'UNE ENSACHEUSE PESEUSE AVEC SAP2000

Proposé et encadré par :
Pr.M.FERDJANI Hicheme

Réalisé par :
MIDOUNE Chouaib
BELDJOUHER Hocine

Année universitaire 2018/2019

Remerciements

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'études de Master en Génie Mécanique à l'université saad dahleb de Blida.

A son terme, et en premier lieu, nous remercions DIEU le tout puissant de nous avoir bien guidés dans notre travail.

Sincèrement, nous remercions notre promoteur Mr H. FERDJANI pour son grand soutien tout au long de ce projet, et qui nous a aidé, dirigé et conseillé et aussi orienté avec son expérience dans le domaine.

Enfin, nous tenons à remercier nos chères familles qui nous ont encouragés et aidés tout au long des années d'études.

Sommaire

CHAPITRE IV : Vérification de flambement

Liste des figures :

Liste des figures

Liste des figures

Liste des tableaux :

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans le mémoire intitulé **Influence du choix du profilé sur la résistance du support d'une ensacheuse peseuse** [1], le logiciel AUTODESK simulation a été utilisé pour vérifier la résistance du support en charpente métallique.

Pour ce type de structure, le logiciel SAP2000 est très bien adapté. En effet, il utilise des éléments unidimensionnels (barre et poutre) avec des bibliothèques intégrées de sections normalisées. La modélisation est donc considérablement simplifiée, puisqu'elle consiste à tracer un ensemble de lignes droites. Par conséquent, le maillage est beaucoup plus léger et le calcul plus rapide. En plus de la vérification de la résistance, SAP2000 permet la détermination de la charge critique de flambement de la structure.

Ce travail consiste donc en la reprise des calculs de [1] avec SAP2000 à des fins de comparaison et de vérification, ainsi qu'en la détermination de la charge critique de flambement. Le mémoire est organisé comme suit :

- Dans le premier chapitre, nous présentons un résumé du travail déjà effectué dans [1].
- Dans le deuxième chapitre, nous détaillons la procédure de modélisation du support avec SAP2000.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons la méthode de calcul de la contrainte équivalente de Von Mises pour chaque barre. Nous vérifions également la résistance de la structure.
- Dans le dernier chapitre nous, nous exposons la procédure de la détermination de la charge critique avec SAP200, et nous vérifions la stabilité de la structure.
- Nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Résumé de l’ancien travail [1]

I.1 : Introduction

Nous présentons dans ce premier chapitre une synthèse du travail déjà réalisé par **[1]**. Son étude a consisté en la conception d'un support pour ENSACHEUSE PESEUSE dont la définition et les caractéristiques sont détaillées dans son mémoire. Le support est constitué en charpente métallique. La géométrie et les dimensions sont présentées sur les Figures I.1, I.2, I.3 et I.4.

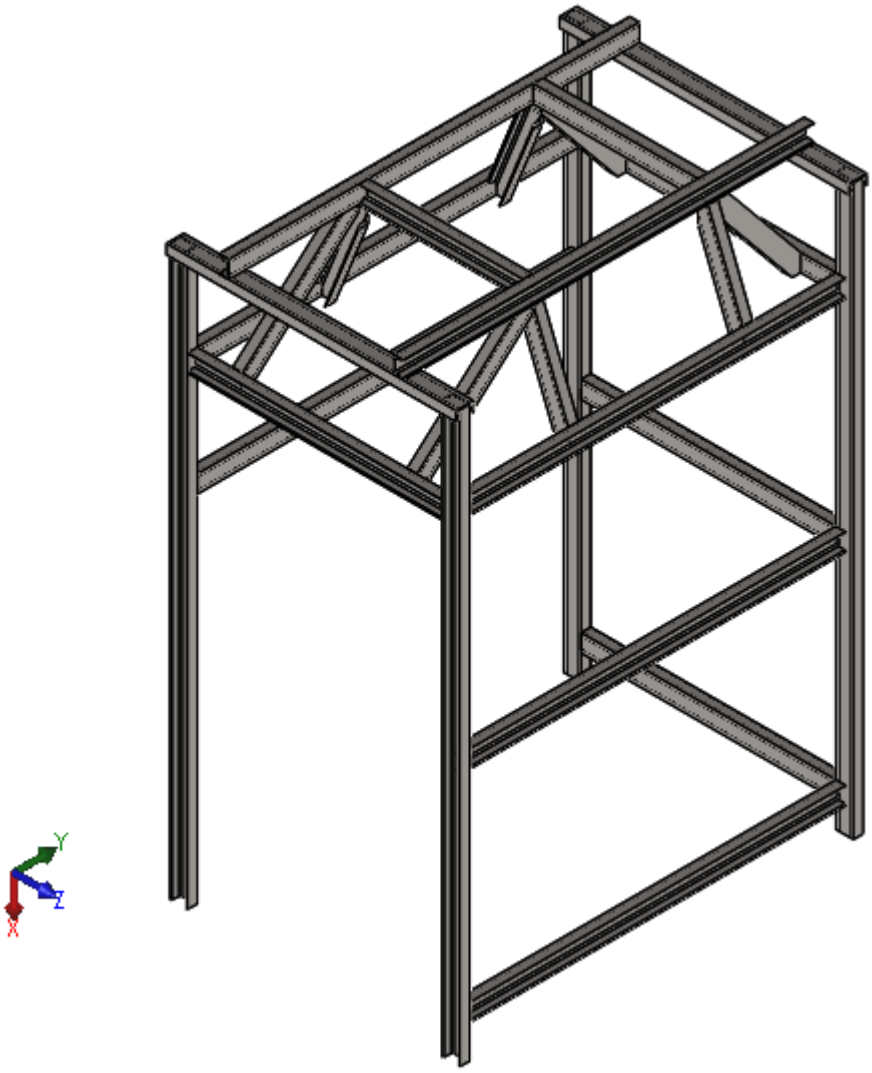


Figure I.3 : Vue générale du support [1].

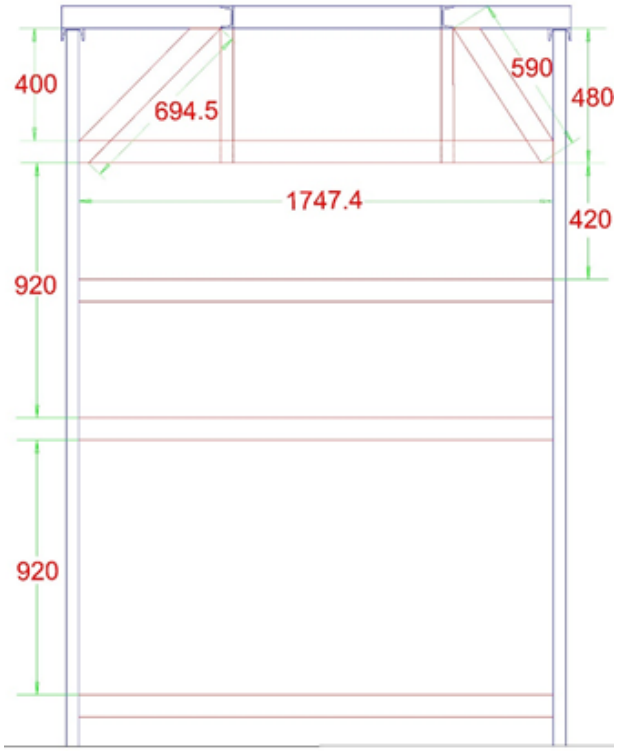


Figure I.4 : Vue de face du support.

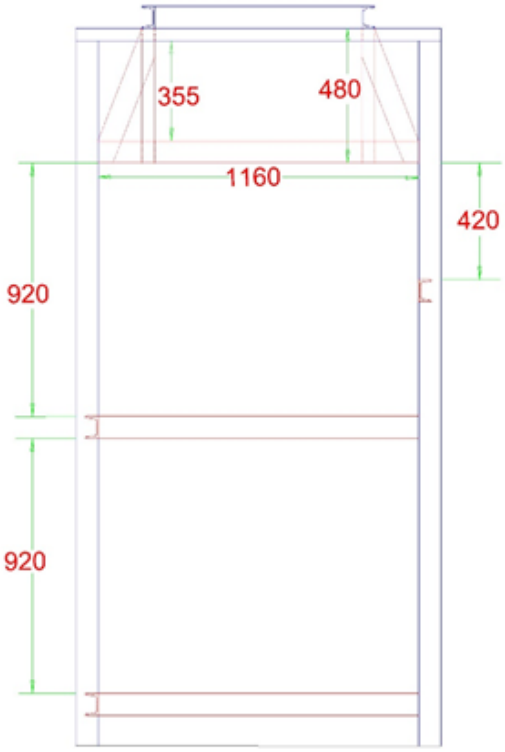


Figure I.3 : Vue de droite du support

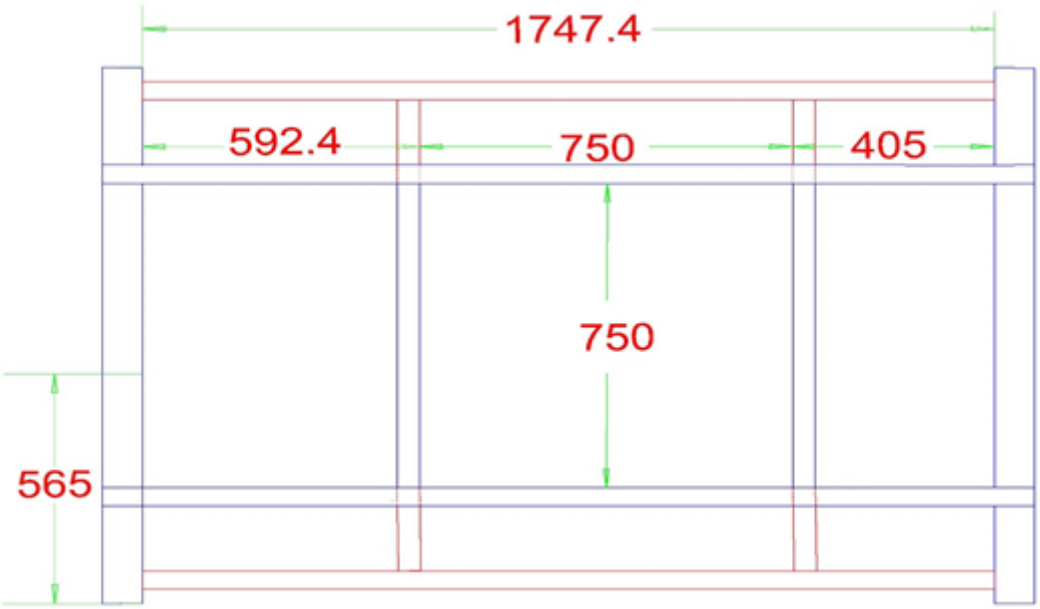


Figure I.4 : Vue de dessus du support.

I.2 : Propriétés de profilé utilisé

Toutes les pièces du support étant constitués en UPN80, nous présentons dans le Tableau I.1 ci-dessous les dimensions de la section droite de ce profilé.

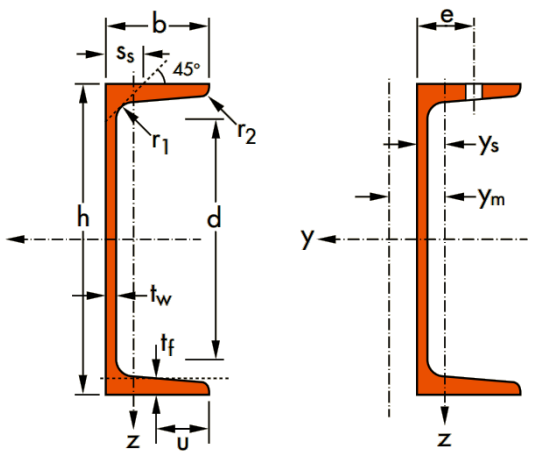
Désignation	Dimensions						
	h mm	B mm	t_w mm	t_f mm	r_1 mm	r_2 mm	
UPN 80	80	45	6.0	8.0	8.0	4	

Tableau I.1 : Dimensions de la section droite du profilé utilisé.

Le matériau choisi pour toutes les pièces de notre structure est l'acier **A36**, dont les propriétés sont présentées dans le Tableau I.2 ci-dessous.

Propriétés mécaniques	Densité **Kg/m³**	Limite d'élasticité **MPa**	Module de YOUNG **MPa**	Coefficient de poisson
A36	7854.86	250	199947.9614	0.29

Tableau I.2 : Propriétés de l'acier utilisé.

I.3 : Calcul par éléments finis

La structure a été modélisée par la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel AUTODESK simulation.

A. Le maillage :

Le maillage est constitué de 237419 éléments et de 123132 nœuds (Figure I.5).

B. Condition aux limites :

Les quatre pieds du support sont fixés au sol. Le chargement appliqué consiste en une charge verticale de 410 kg répartie sur une partie du support (Figure I.5) et qui correspond à une charge surfacique de 0.028 MPa. Le poids propre de la structure est également pris en compte.

Le coefficient de sécurité choisi et de 1.8. Par conséquent, l'amplitude du chargement extérieur a été multipliée par 1.8 dans les calculs.

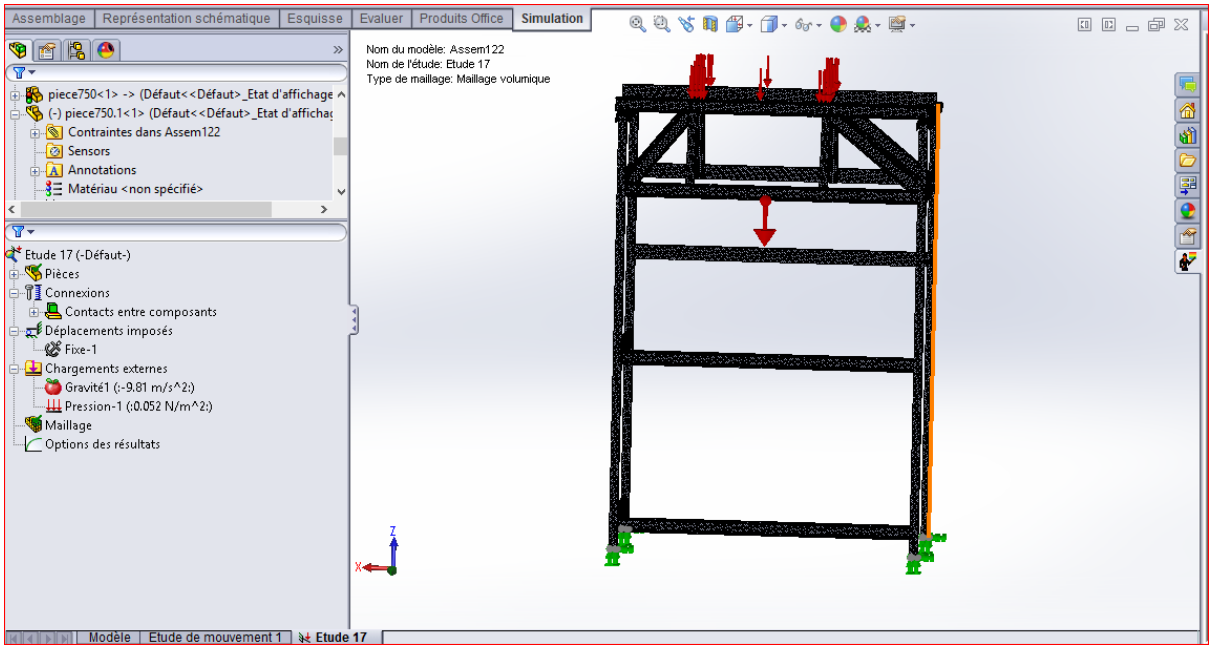


Figure I.5 : Maillage de la structure avec le chargement appliqué.

Résultats :

Nous présentons sur la Figure I.6 les iso-valeurs de la contrainte équivalente de Von Mises dans la structure. Nous constatons que la valeur maximale est de **22,21 MPa.** En divisant par 1.8, nous obtenons la valeur de **12.34 MPa**. Cette dernière valeur est largement inférieure à la limite élastique de l'acier A36 (250 MPa).

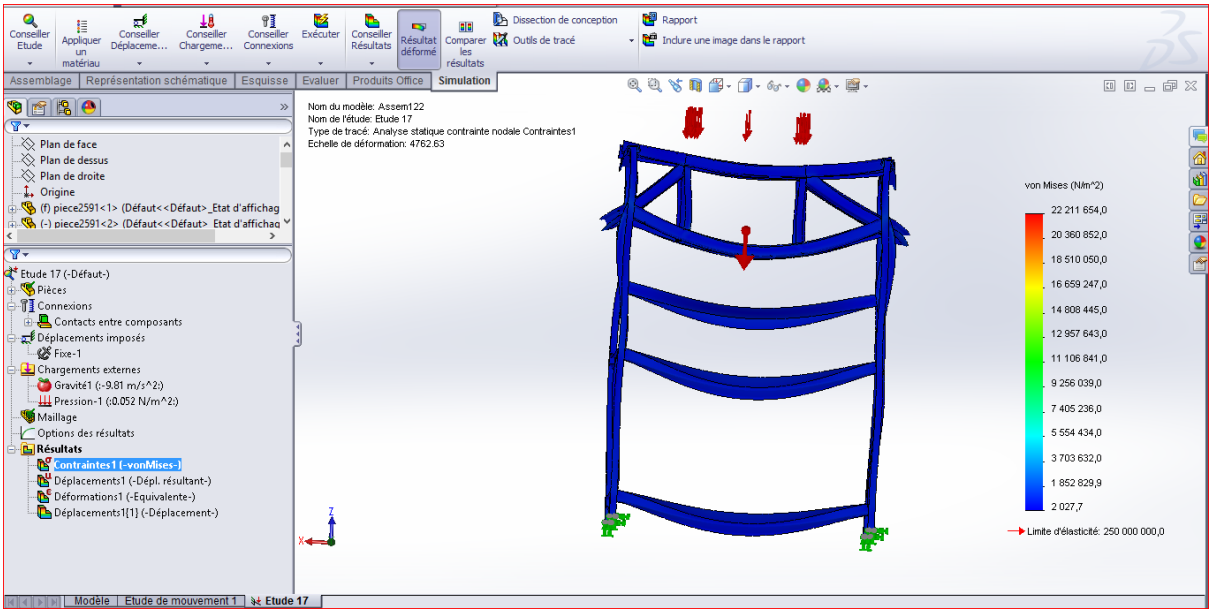


Figure I.6 : Contraintes de Von mises dans la structure.

Nous présentons sur la Figure I.7 le champ des déplacement globaux dans la structure. On observe que la valeur maximale est **0.03668 mm**.

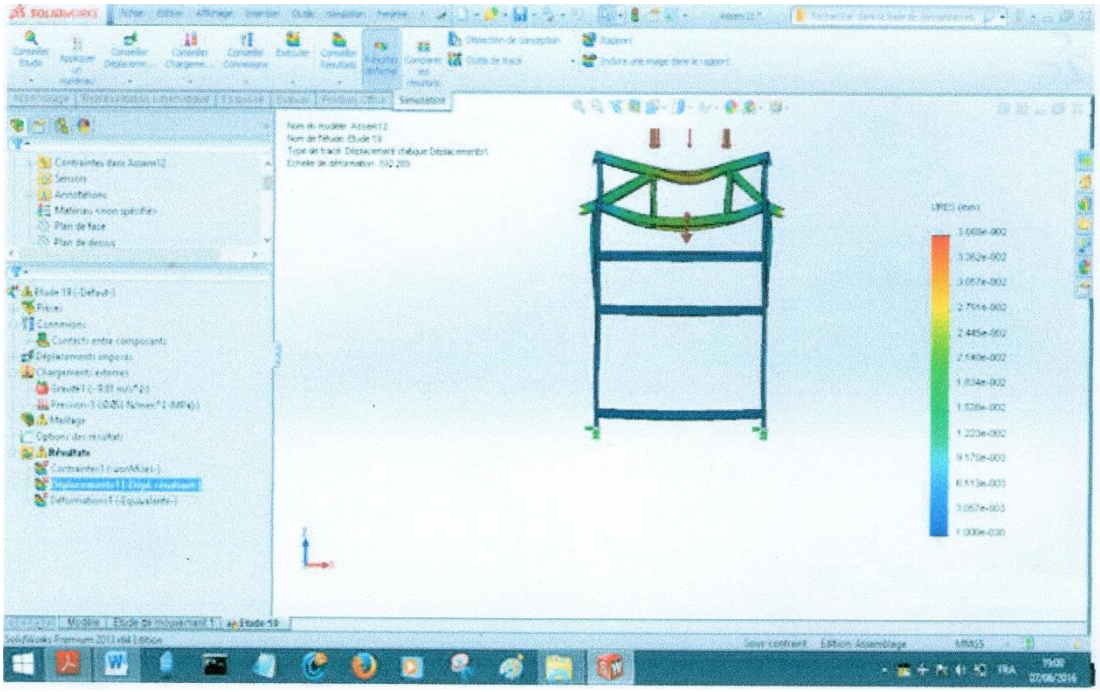


Figure I.7 : Déplacement global maximal.

CHAPITRE II

Modélisation de support par SAP2000

II.1 : Introduction

Dans ce chapitre nous détaillons la procédure de la modélisation du support par la méthode des éléments finis avec le logiciel SAP2000.

II.2 : Modélisation de la structure par SAP2000

Nous utilisons la version 14.2.2 de SAP2000. Nous présentons ci-dessous les différentes étapes de la modélisation.

A. Créer un nouveau model :

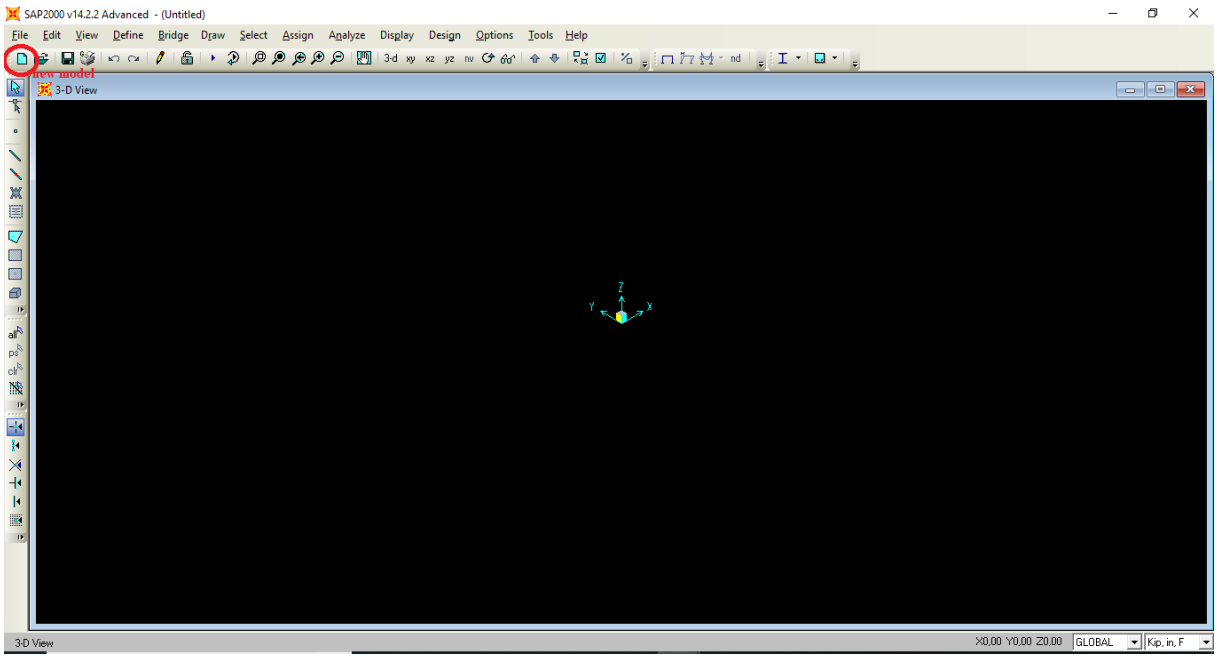


Figure II.5 : Création d'un nouveau modèle.

Dans la boîte de dialogue « New model », on choisit les unités 'N.mm.C ' et on clique sur 'Grid Only' (Figure II.2).

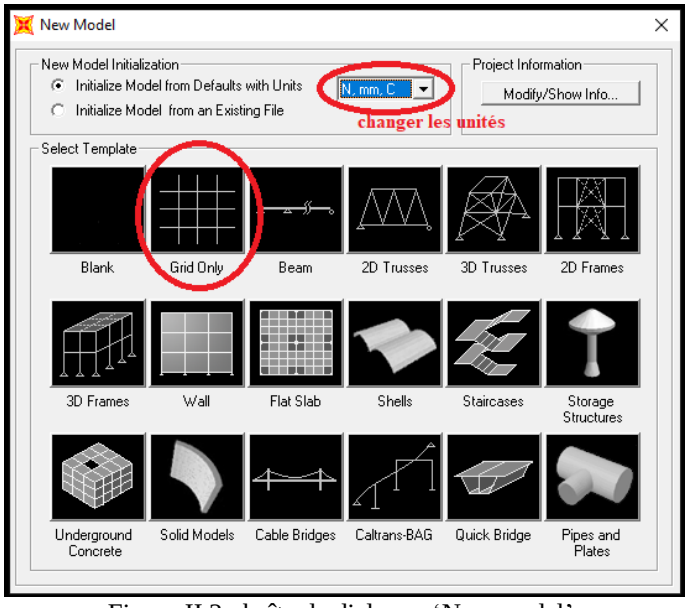


Figure II.2 : boîte de dialogue 'New model'.

On définit le nombre de lignes de grilles ainsi que l'espacement (Figure II.3).

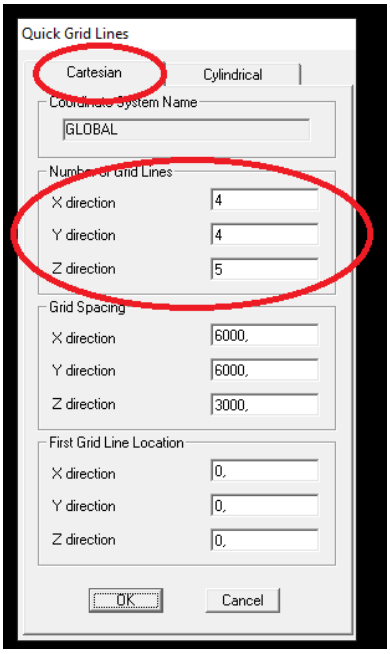


Figure II.3 : La boîte de dialogue 'Quick Grid Lines'.

On prend le sommet 'Gride point'. On double-clique, et on change les informations dans le tableau affiché (Figure II.4).

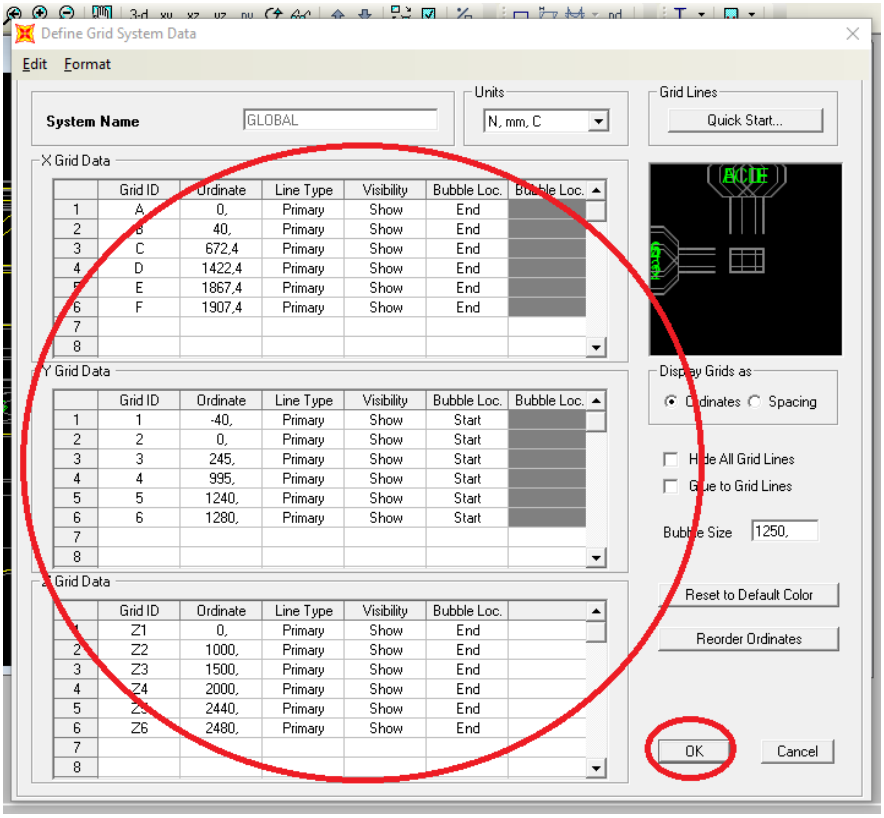


Figure II.4 : Définition des données du système de grille.

B. Définir le matériau :

Pour définir les matériaux de construction, on choisit **define** -> **materials** (Figure II.5).

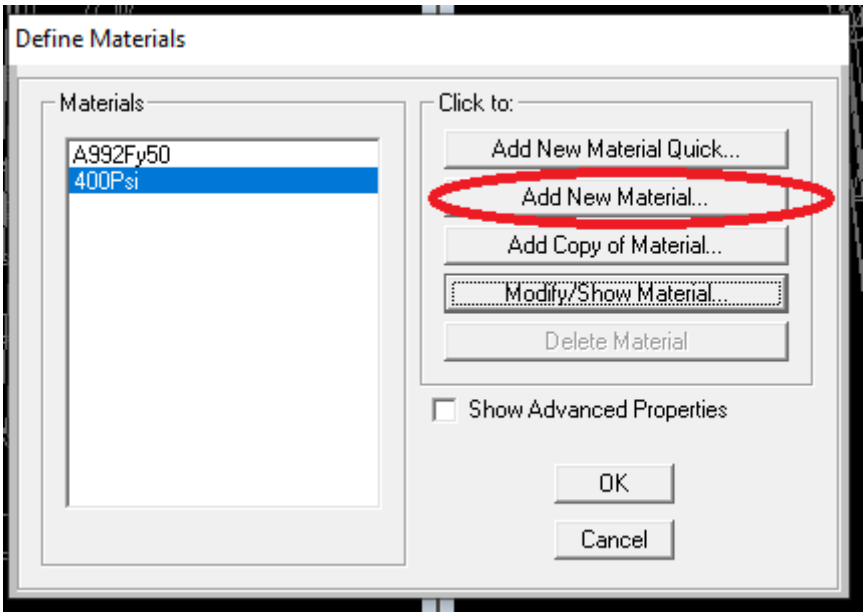


Figure II.5 : Définition du matériau.

Dans ‘material type’ on choisit ‘steel’, puis on introduit les caractéristiques du matériau (Steel) correspondant à celles du Tableau I.2 (Figure II.6, II.7).

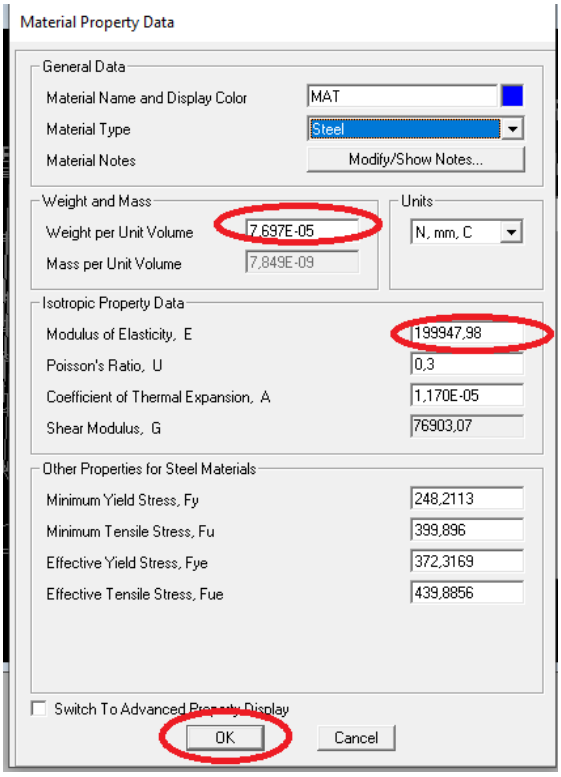


Figure II.6 : Caractéristiques du matériau.

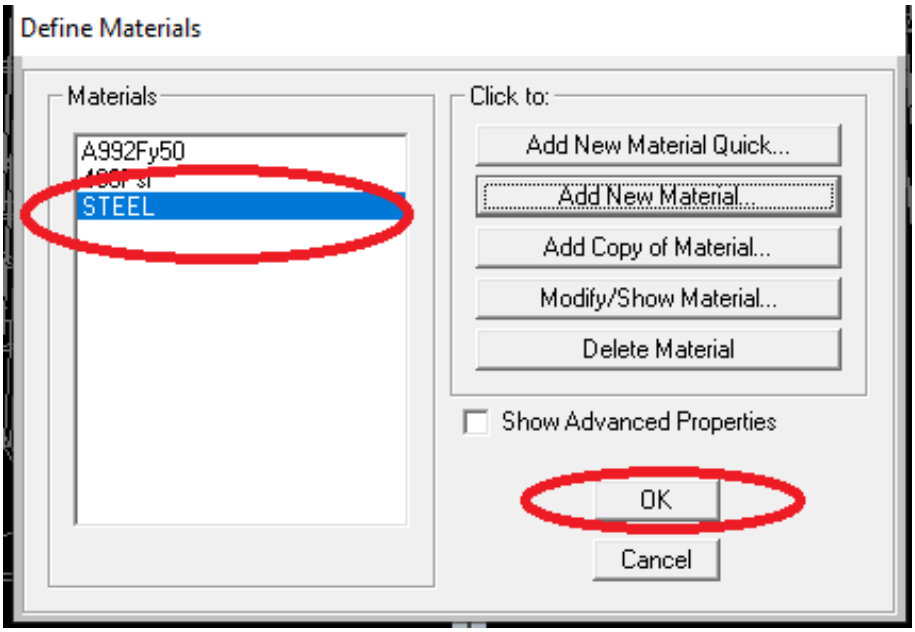


Figure II.7 : choix de matériau.

C. Définir la section des poutres :

On choisit **define** -> **section propreties -> Frame sections -> add new proprety.** On choisit 'steel', puis 'Channel (Figure II.8).

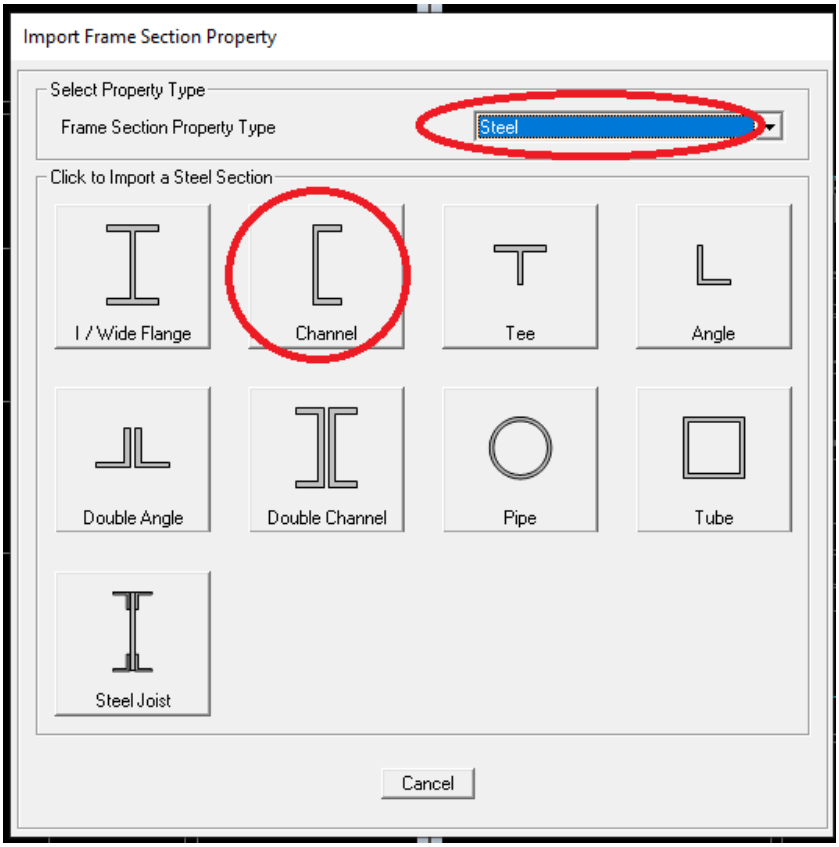


Figure II.8 : Définition de la section des poutres.

Dans la boite de dialogue on sélectionne ‘EURO.PRO’ (Figure II.9).

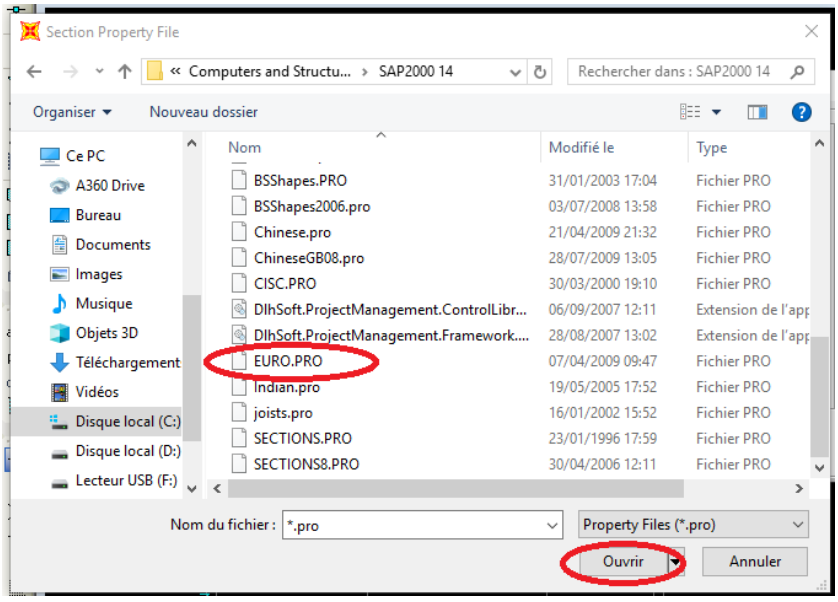


Figure II.9 : La boite de dialogue ‘Section Proprty File’.

Dans la boite de dialogue à la zone ‘**select section to import’**, on choisit **UPN80** (Figure II.10, II.11).

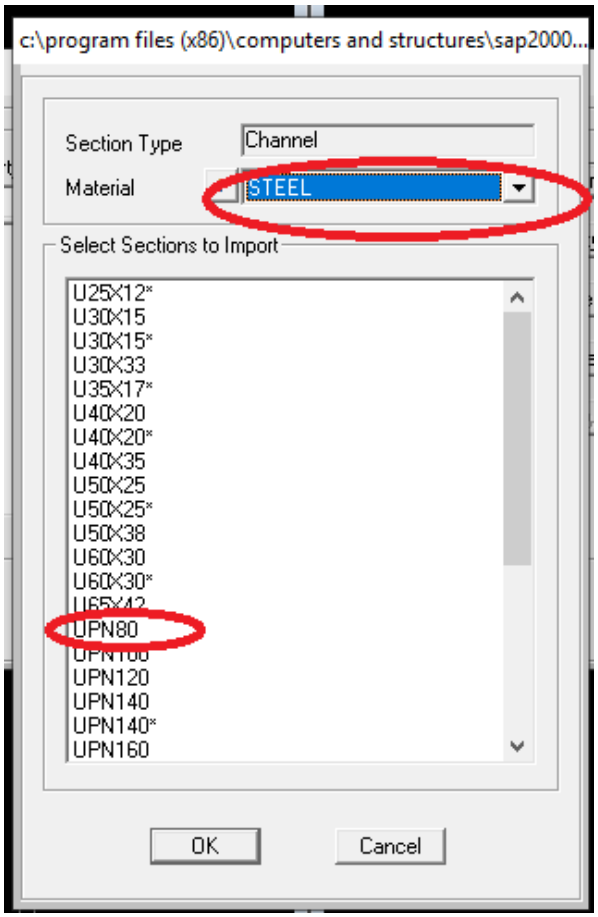


Figure II.10 : choix de section.

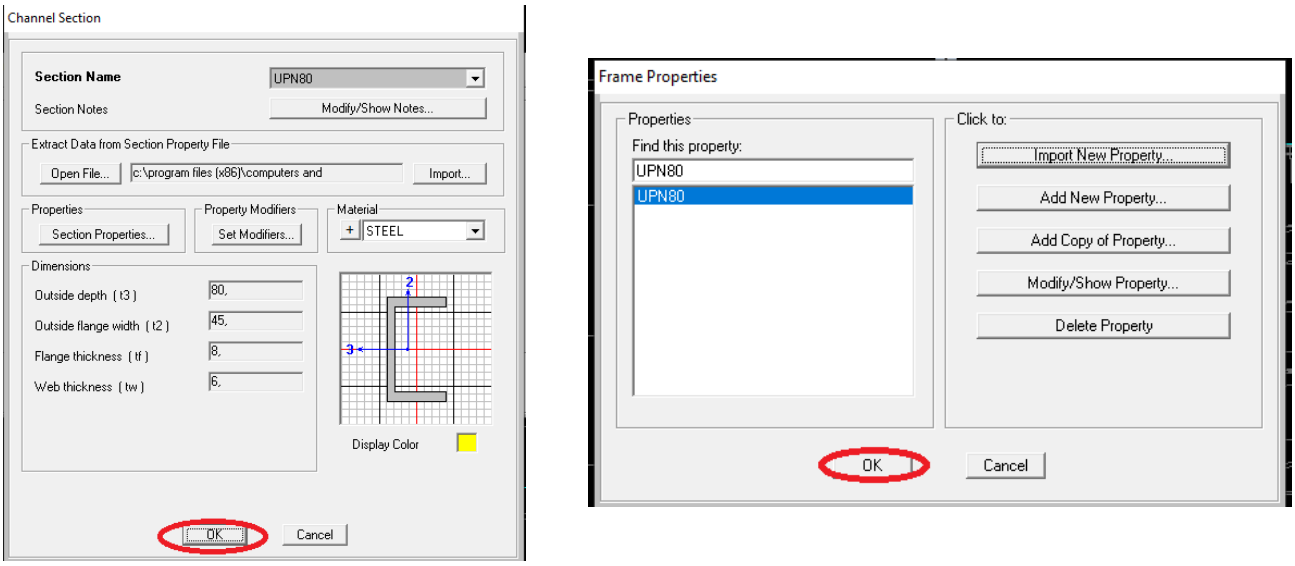


Figure II.11 : Validation de la section choisit 'UPN80'.

D. Dessiner la structure

Pour dessiner les poutres, on clique sur **draw -> draw frame -> from grid point to grid point** (Figure II.12).

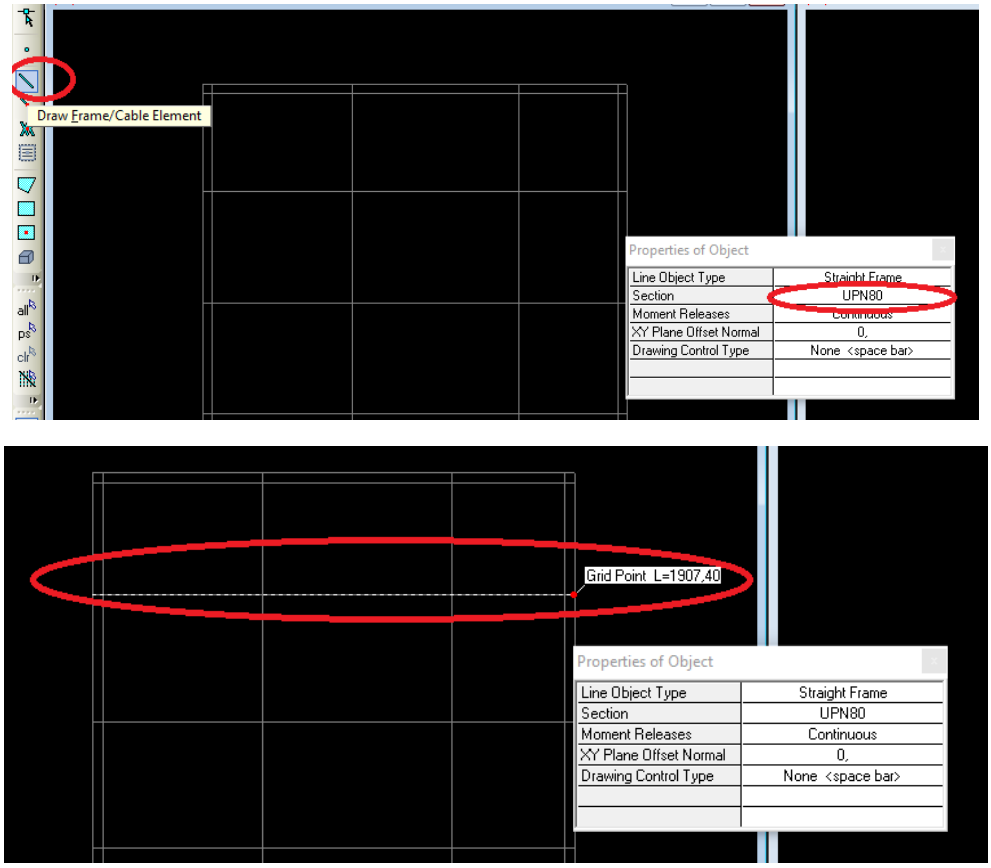


Figure II.22 : Dessiner la structure.

D. Conditions aux appuis :

Nous supposons que les quatre pieds de la structure sont encastrés au sol. On choisit le plan XY (Z=0). On sélectionne tous les nouds en cliquant sur assign -> joint -> restraints… (Figure II.13).

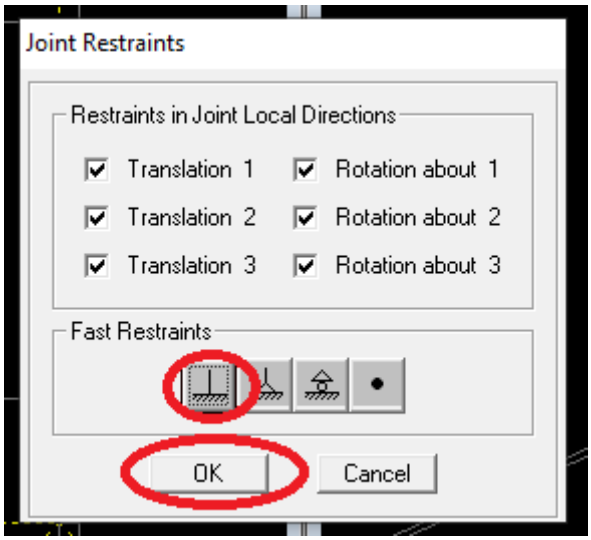


Figure II.13 : Conditions aux appuis.

E. Application des charges :

Nous définissons deux types de charges :

- La charge DEAD qui consiste en le poids propre des poteaux et poutres de la structure.
- La charge Q qui consiste au chargement défini précédemment (paragraphe B).

Pour le SAP2000, les deux types de charges sont définies en cliquant sur Define -> load patterns -> load patterns name (DEAD) -> type DEAD > add new load pattern, de même pour Q de type LIVE. Le paramètre **Self Weight Multiplier** est 1 pour DEAD et 0 pour Q (Figure II.14, II.15).

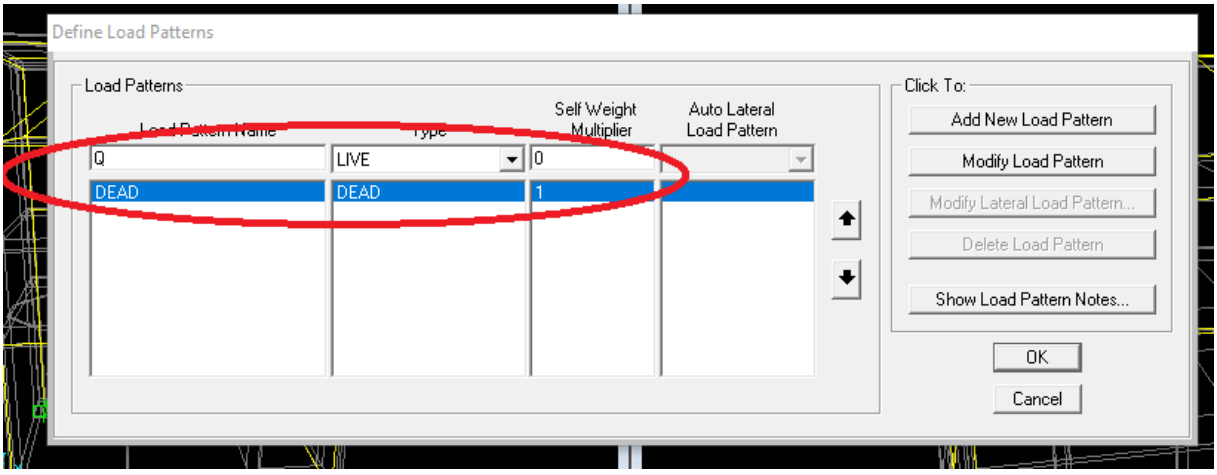


Figure II.14 : Application des charges.

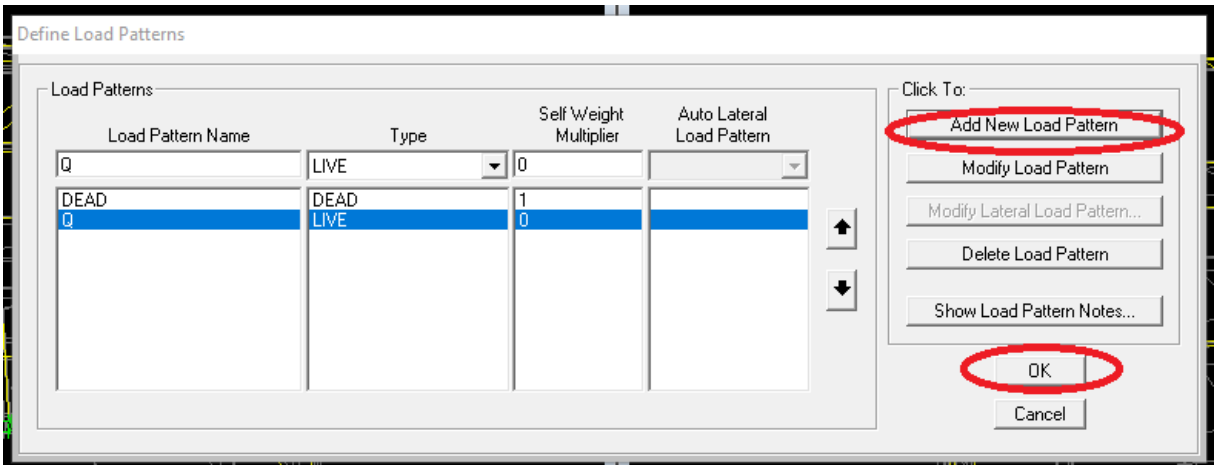


Figure II.15 : Validation des charges.

Pour la charge Q il faut introduire la charge de 4100 N répartie uniformément sur la longueur totale des quatre poutres concernées (Figure II.16) Cette longueur est de 3000 mm, la charge linéique est donc de 1.37 N/mm.

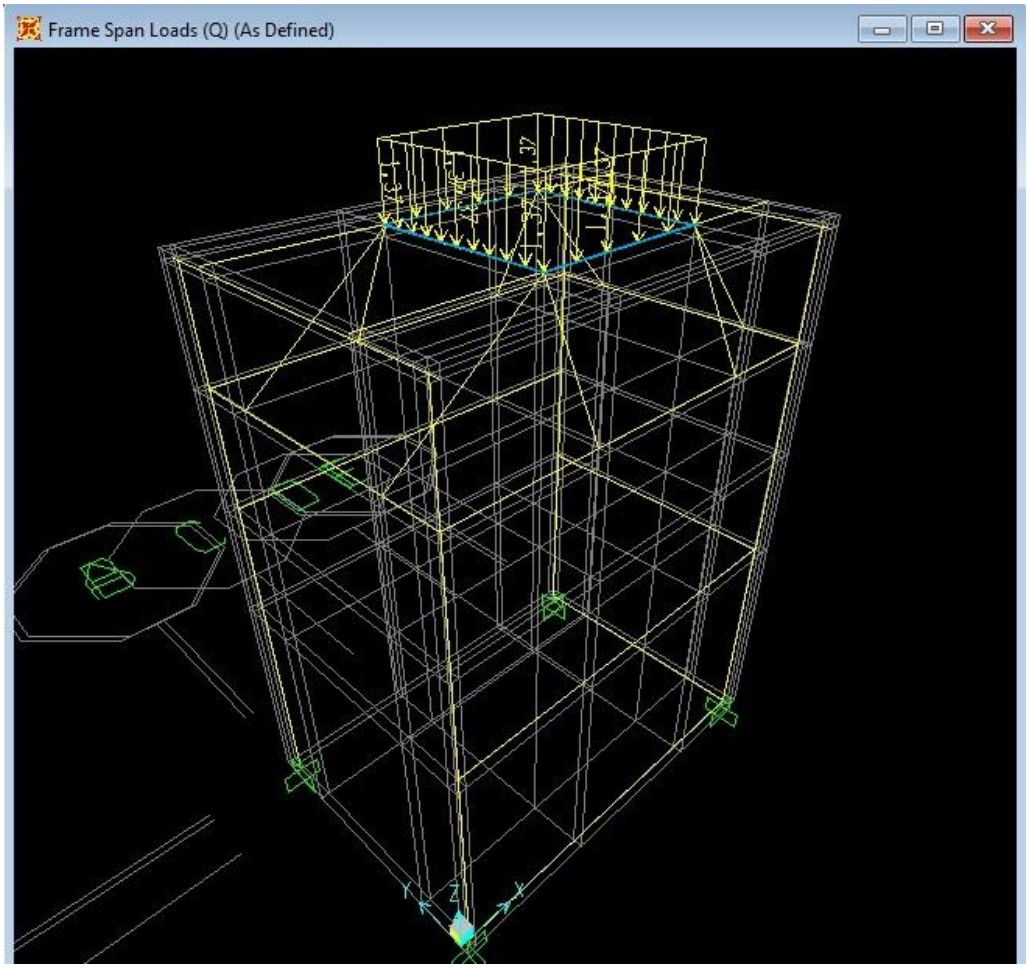


Figure II.16 : Surfaces où appliquer la charge.

Pour le SAP2000, cette introduction se fait en sélectionnant les poutres concernées et en cliquant sur : assign -> frame loads -> distributed -> Laod pattern name Q -> uniform laod (entrée la valeur '1.37N/mm) (Figure II.17) ;

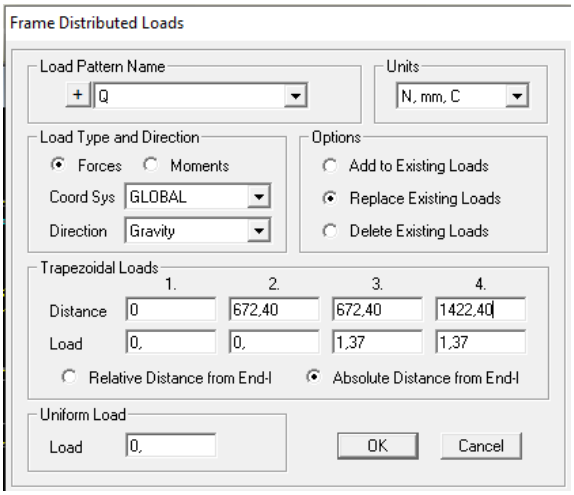


Figure II.17 : La boite de dialogue 'Frame Distributed Loads'.

F. Combinaison des charges :

Les deux charges sont combinées. Pour définir la combinaison, on clique sur : define -> load combinations -> add new comb -> load name -> COMB1, choisir "Linear Add" pour "Load Combination Type", et mettre "Scale Factor" 1 pour les deux types de charge DEAD et Q (Figure II.18).

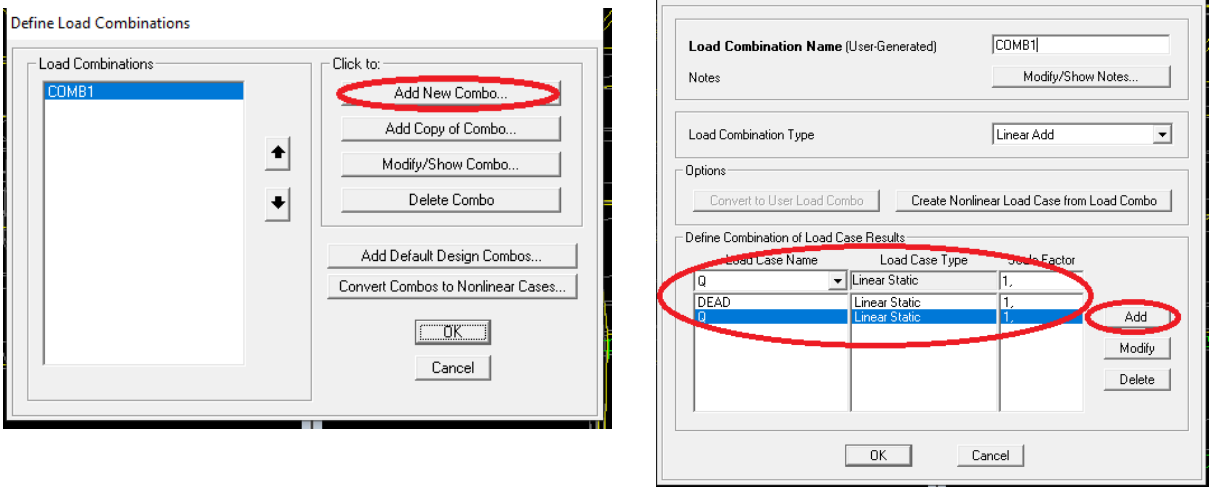


Figure II.18 : Combinaison des charges.

G. Maillage :

1. Diviser les barres

On divise chaque barre en 2 éléments. On sélectionne tout la structure -> Edite -> Edite Lines ->Divide fram ; on doit cocher la case ‘ divide info specified number of frames’ (Figure II.19).

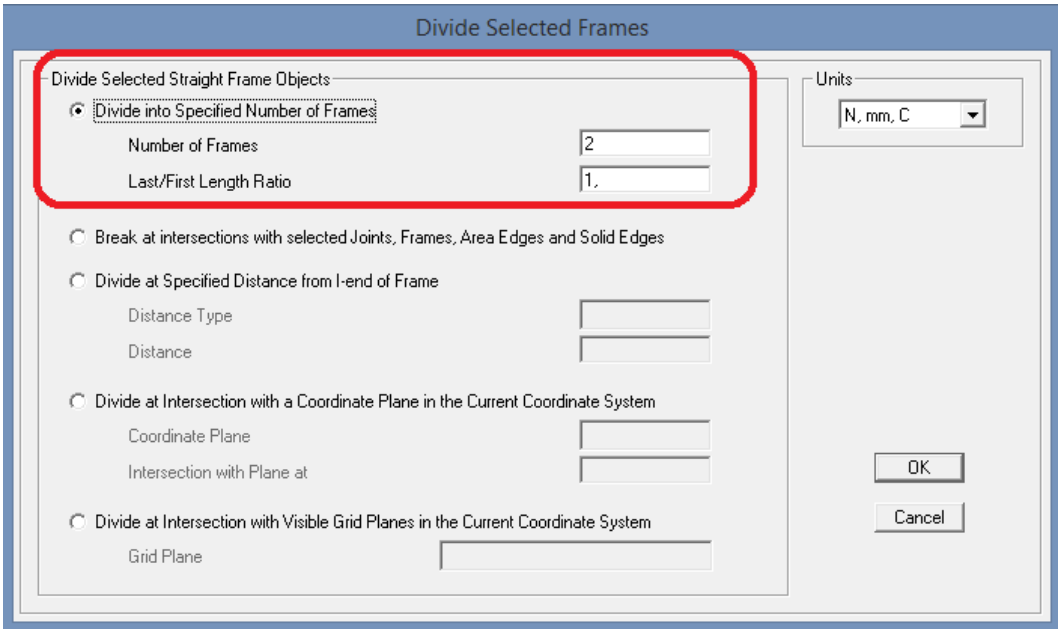


Figure II.19 : Diviser les barres.

2. Le maillage

On doit sélectionner toute la structure -> Assign -> frame -> output stations (Figure II.20).

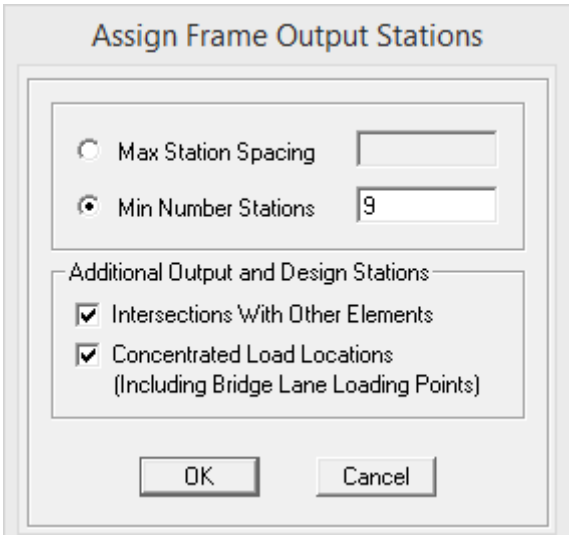


Figure II.20 : Le maillage.

H. Maillage final

Le maillage final est présenté sur la Figure II.21 ci-dessous.

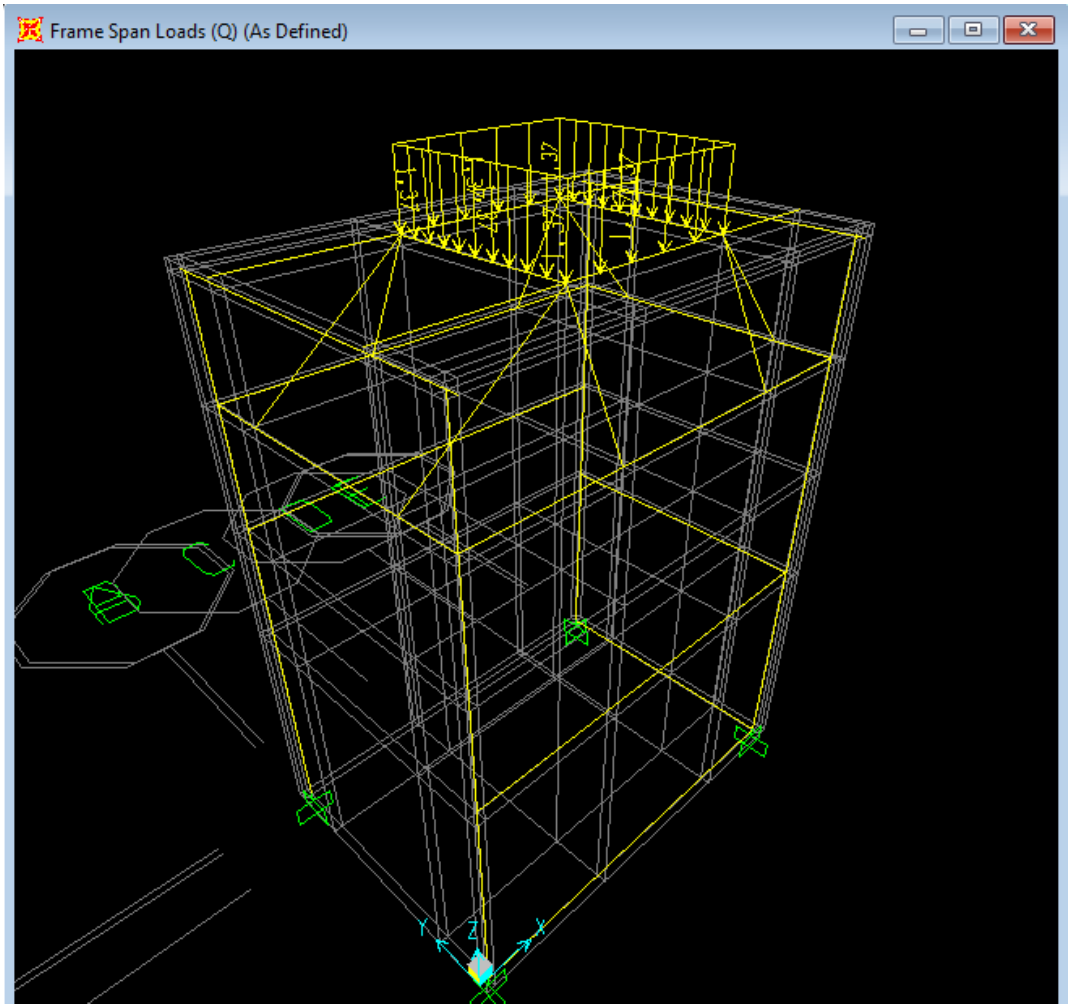
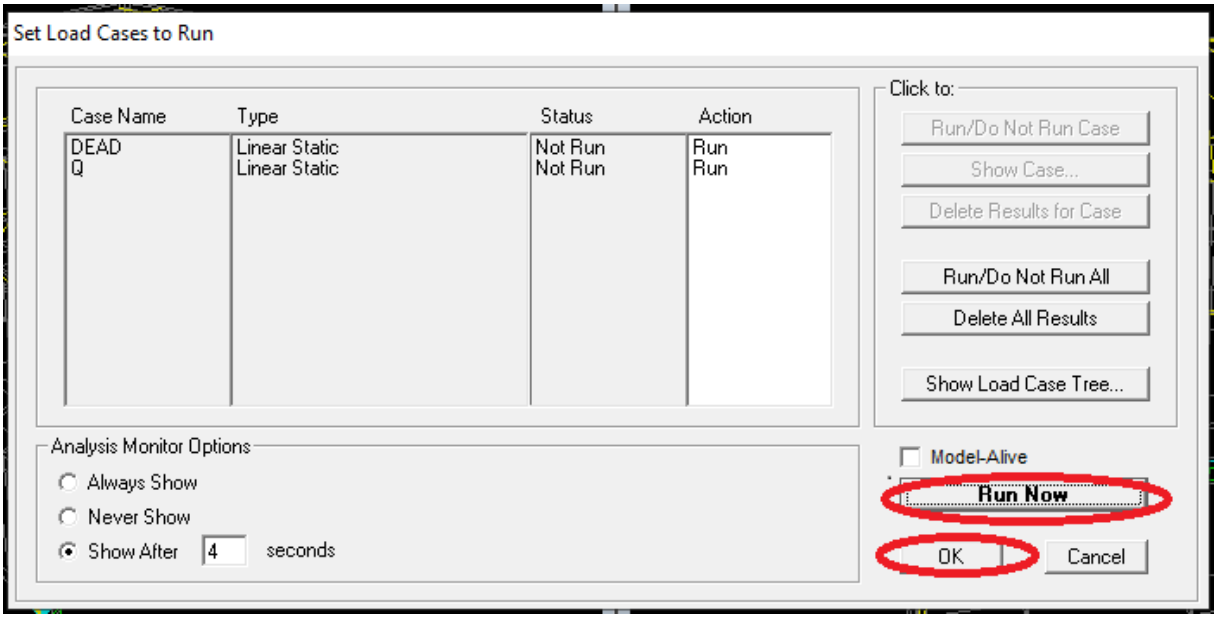


Figure II.21 : Le maillage final.

I. Lancement du calcul

Pour lancer le calcul analyze -> Run analysis (figure II.22).



CHAPITRE III

Vérification de la résistance du support

III.1 : Introduction

Le SAP2000 donne les efforts internes dans chacune des poutres de notre structure. Pour évaluer sa résistance, nous devons calculer les contraintes. A partir de celles-ci, on détermine la contrainte équivalente de Von Mises.

III.2 : Efforts internes dans SAP2000

Après la fin du calcul, on accède aux efforts internes en effectuant les opérations suivantes : Sélectionner tout la structure -> Display -> show forces/stresses ->Frames/Cabeles (Figure III.1).

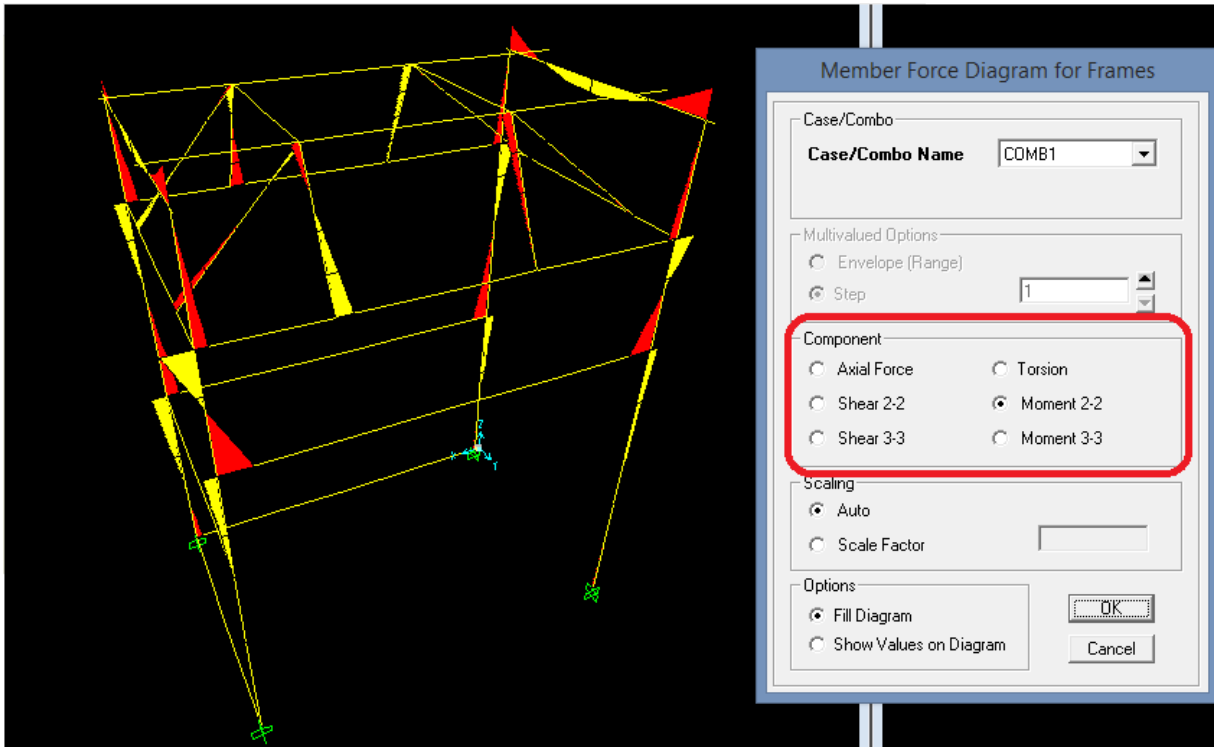


Figure III.1 : Affichage des diagrammes de M_2.

III.3 Propriétés de la section et efforts internes

Pour calculer les contraintes, nous avons besoin des dimensions de la section (figure III.2).

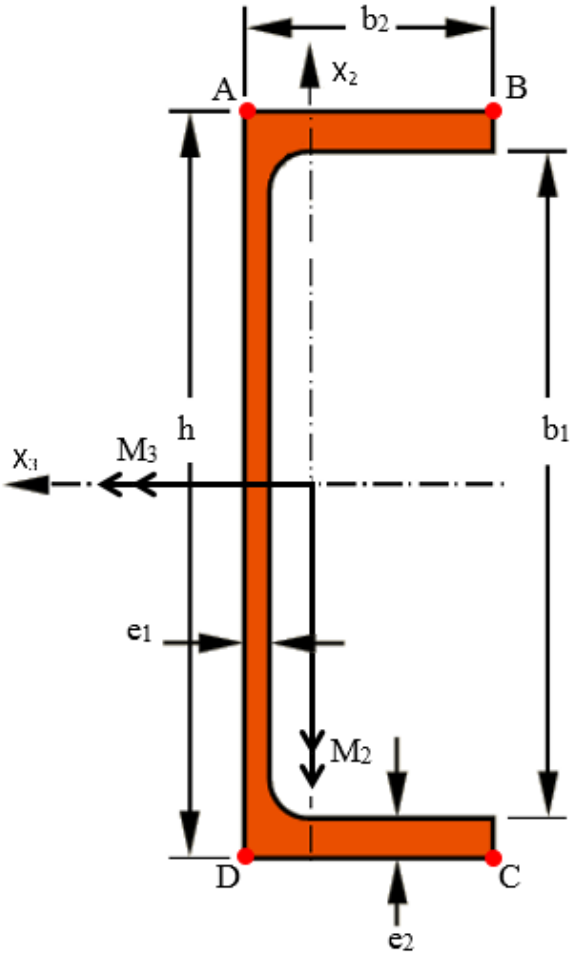


Figure III.2 : Dimensions de la section.

M_2 et M_3 représentent respectivement les moments fléchissant par rapport à x_2 et x_3. Leurs sens sur la Figure III.2 sont positifs selon la convention de signe de SAP2000 [2].

Remarques

- Les efforts tranchants n'ont pas été représentés, car ils seront négligés dans la suite des calculs.
- L'effort normal N positif est sortant perpendiculaire à la Figure III.2.
- Le moment de torsion M_t autour de l'axe x_1, normal à la figure, n'a pas été représenté.

Les dimensions de la Figure III.2 sont données ci-dessous :

e_1 = 6 mm; e_2 = 8 mm; b_1 = 64 mm; b_2 = 45 mm.

Les propriétés de la section, calculées par SAP2000, sont données ci-dessous :

- Moment quadratique par rapport à x_2 : I_2 = 194000 mm^4.
- Moment quadratique par rapport à x_3 : I_3 = 1058000 mm^4.
- Aire de la section : S = 1102 mm^2.

III.4 Calcul des contraintes et vérification de la résistance

Toutes les poutres de la structure sont généralement en sollicitations composées. Le cas le plus général est la « Flexion déviée plus traction-compression plus torsion ».

Remarques

- Les contraintes de cisaillement dues aux efforts tranchants seront négligées.
- Il existe des barres en sollicitation simple. La méthode présentée ci-dessous s'applique également, car une sollicitation simple peut être considérée comme un cas particulier de sollicitations composées.

Pour calculer la contrainte normale maximale en flexion déviée, on a besoin des coordonnées des points extrêmes de la section (A, B, C et D) (Figure III-2). Elles sont données ci-dessous (en mm) :

$$\begin{Bmatrix} x_2^A \\ x_3^A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 40 \\ 14.5 \end{Bmatrix} ; \begin{Bmatrix} x_2^B \\ x_3^B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 40 \\ -30.5 \end{Bmatrix} ; \begin{Bmatrix} x_2^C \\ x_3^C \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -40 \\ -30.5 \end{Bmatrix}; \begin{Bmatrix} x_2^D \\ x_3^D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -40 \\ 14.5 \end{Bmatrix}.$$

La contrainte normale en flexion déviée se calcule par la formule suivante :

$$\sigma = -\frac{M_2}{I_2} x_3 - \frac{M_3}{I_3} x_2 + \frac{N}{S} \quad . \qquad (1)$$

La contrainte tangentielle due au moment de torsion M_t est donnée par [3] :

$$\tau = \frac{3M_t e_2}{b_1 e_1^3 + 2 b_2 e_2^3} \qquad (2)$$

Pour vérifier la résistance de la poutre, on cherche d'abord la section (ou les sections) où l'on a les valeurs maximales de M_2, M_3, N et M_t. Deux cas sont possibles :

- Les valeurs maximales sont situées dans une même section. On calcule σ aux points A, B, C et D (Figure III.2) avec la formule (1) et on détermine σ_{max} (en valeur absolue). On calcule également τ avec la formule (2). On ensuite calcule la contrainte équivalente de Von Mises à l'aide de la formule suivante :
  $\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{max}^2 + 3\tau^2}$. (3)
  La contrainte équivalente est comparée à la contrainte admissible.
- Les valeurs maximales ne sont pas situées dans une même section. Dans chacune des sections où l'on a le maximum d'un des efforts internes, on calcule σ aux points A, B, C et D, la contrainte de cisaillement τ et σ_{eq}. La valeur maximale obtenue de σ_{eq} pour toutes les sections est comparée à la contrainte admissible.

Remarque

Nous prenons comme contrainte admissible, la limite élastique de l'acier utilisé (Tableau I.2) : σ_{adm} = 250 MPa.

III.5 : Exemples de calcul

Afin d'illustrer la méthode explicitée ci-dessus, nous présentons dans ce paragraphe les calculs détaillés pour deux barres, l'une en flexion simple et l'autre en flexion déviée plus traction-compression plus torsion.

III.5.1 Flexion simple (barre n° = 7')

On constate en effet que cette barre est en flexion simple (Figures III.3, III.4 et III.5). On a :

$M_2 = 0$; $M_{3max} = 23605.07$ N.mm ; N = 0.

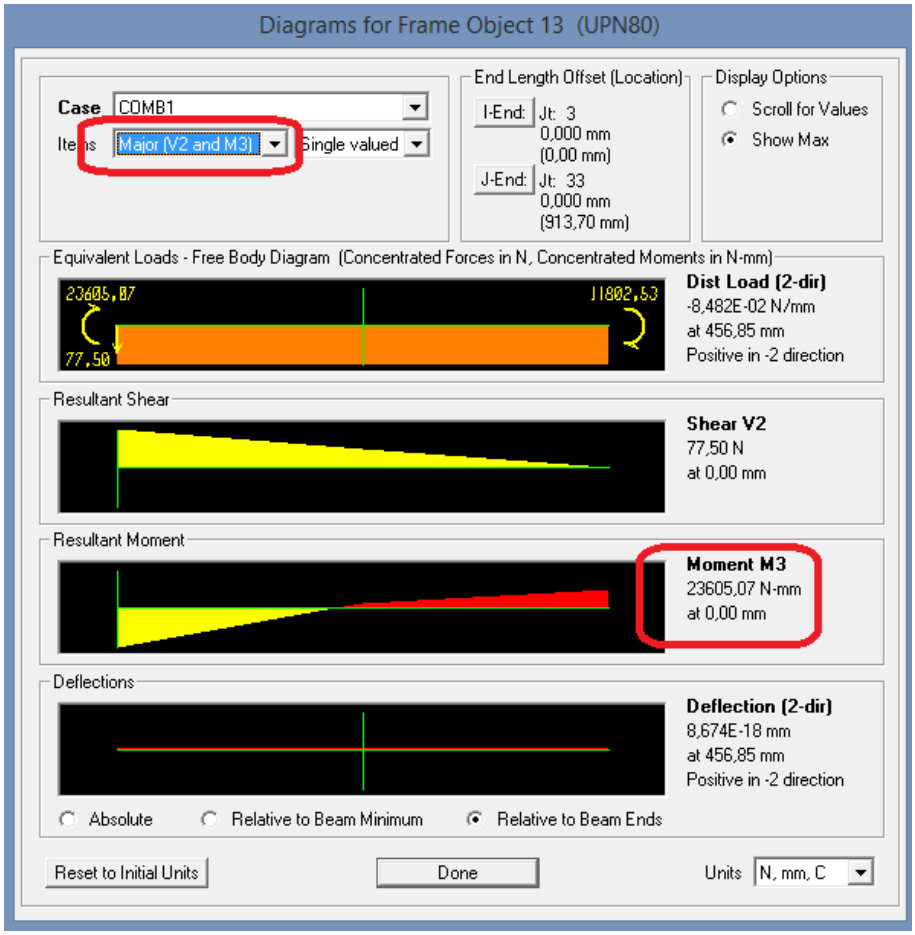


Figure III.3 : Valeur de M_2.

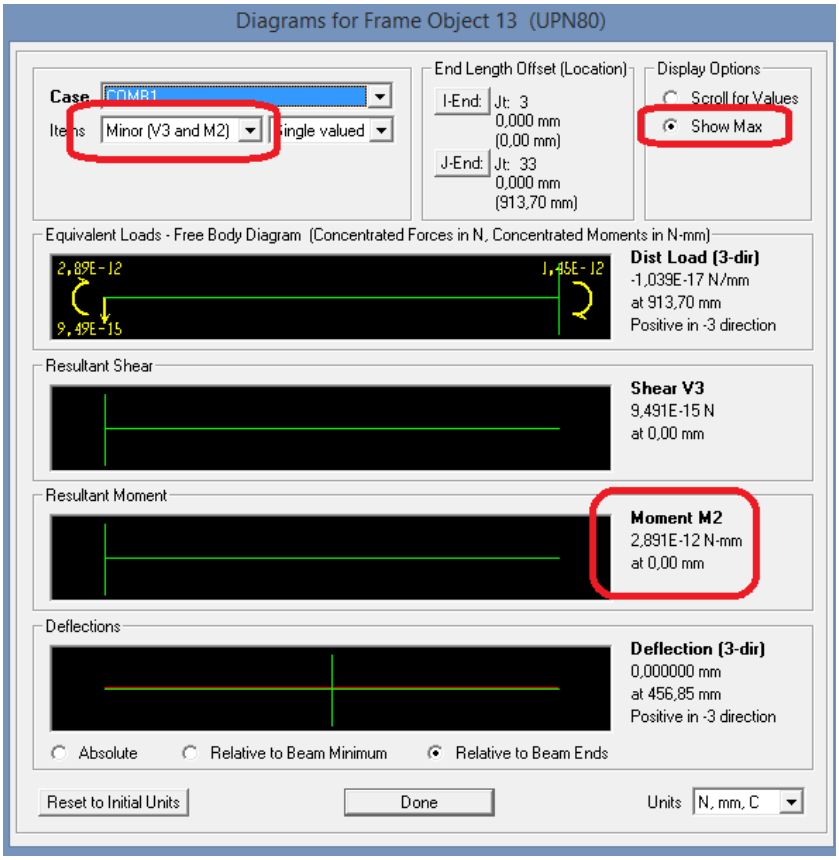


Figure III.4 : Valeur de M_{3MAX}.

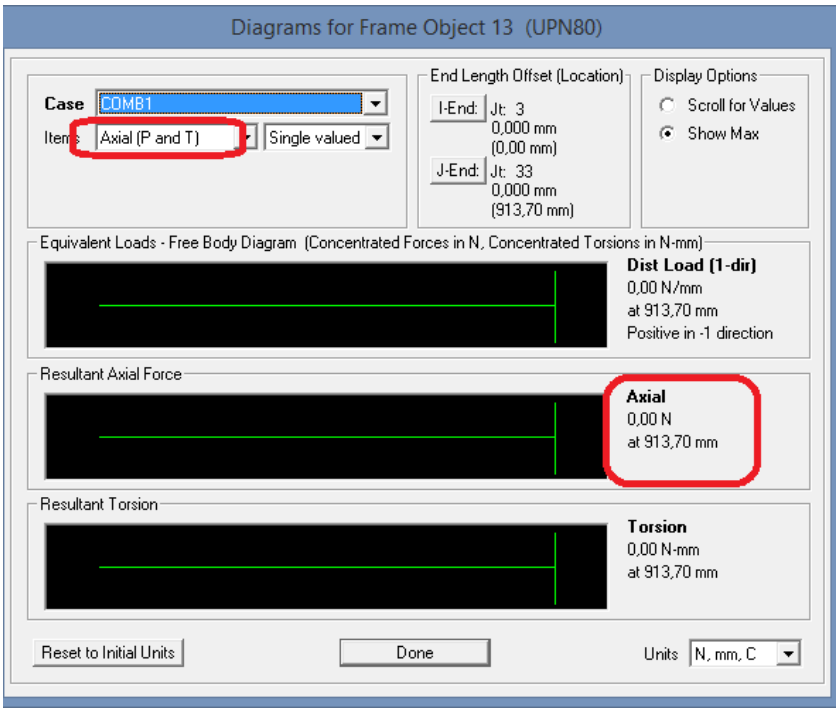


Figure III.5 : valeur de N.

La contrainte maximale est donnée par : $\sigma_{max} = -\frac{M_{3MAX}}{I_3} x_{2MAX}$, avec $x_{2MAX} = 40$ mm.

On obtient :

$$\sigma_{max} = -0{,}89\ MPa.$$

Nous constatons que la contrainte maximale en valeur absolue est très largement inférieure à la contrainte admissible.

III.5.2 Flexion déviée plus traction-compression plus torsion

Dans ce cas (Barre N° = 1), nous constatons que le M_{3MAX} est située en x = 1220 mm (Figure III-6), alors que M_{2MAX} et N_{MAX} sont situés en x = 220 mm (Figure III-11). Nous devons donc calculer σ_{eq} en chacune des sections:

1. x = 1220 mm :

D'après les Figures III-6, III-7 et III-8 on a :

M_2 = -702.77 N.mm ; M_{3MAX} = -17328.05 N.mm ; N = -1610.87 N ; M_t = 18.10 N.mm.

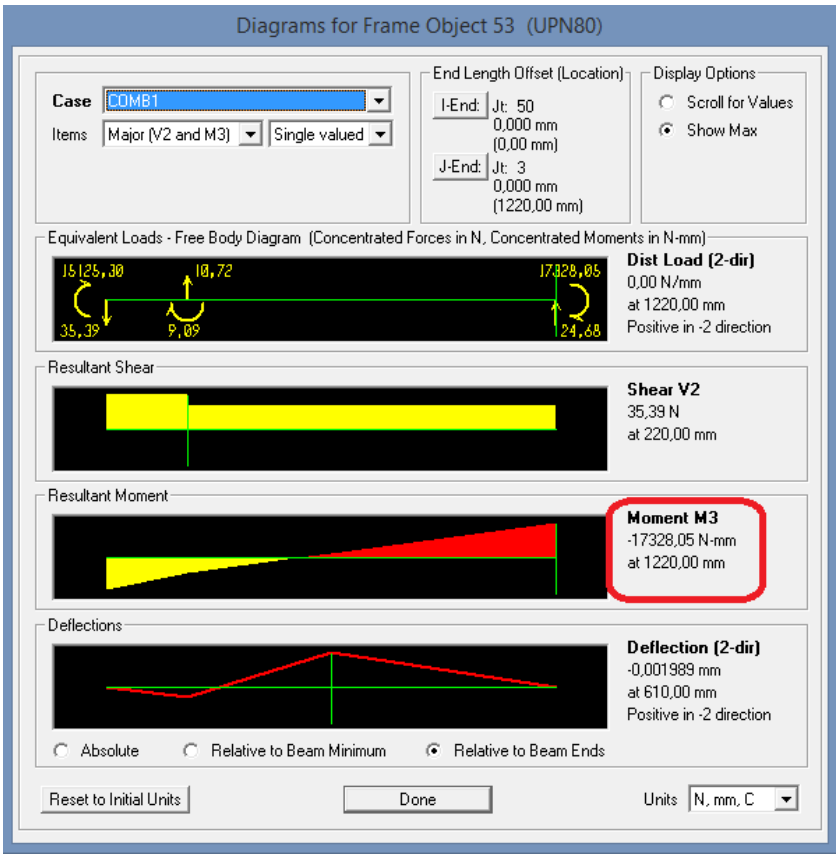


Figure III.6 : valeur de M_{3MAX}.

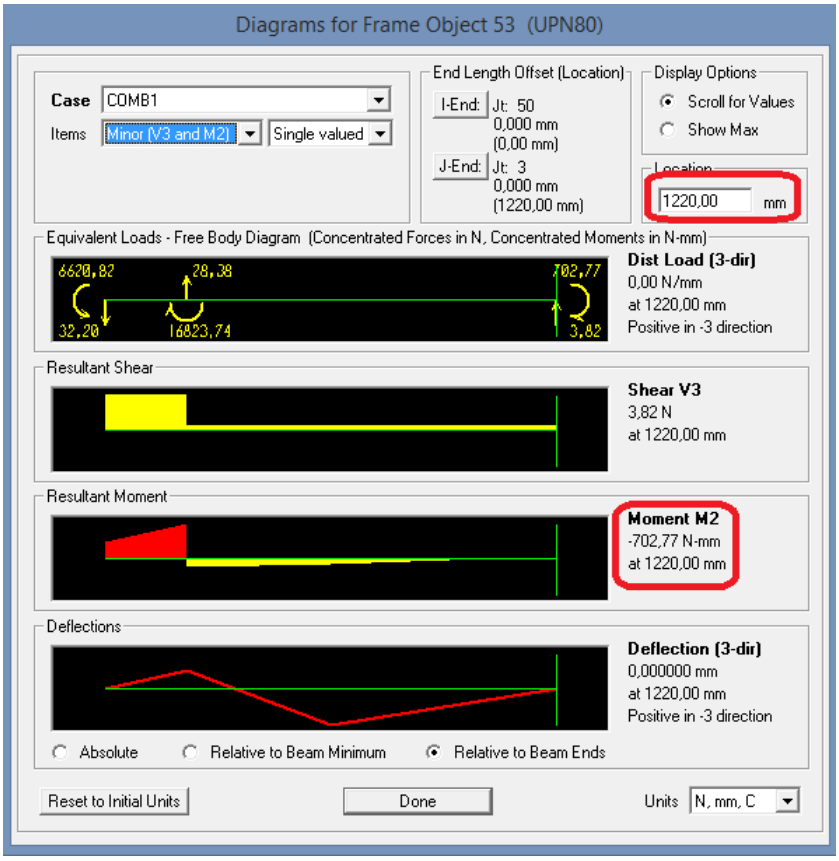


Figure III.7 : Valeur de M_2.

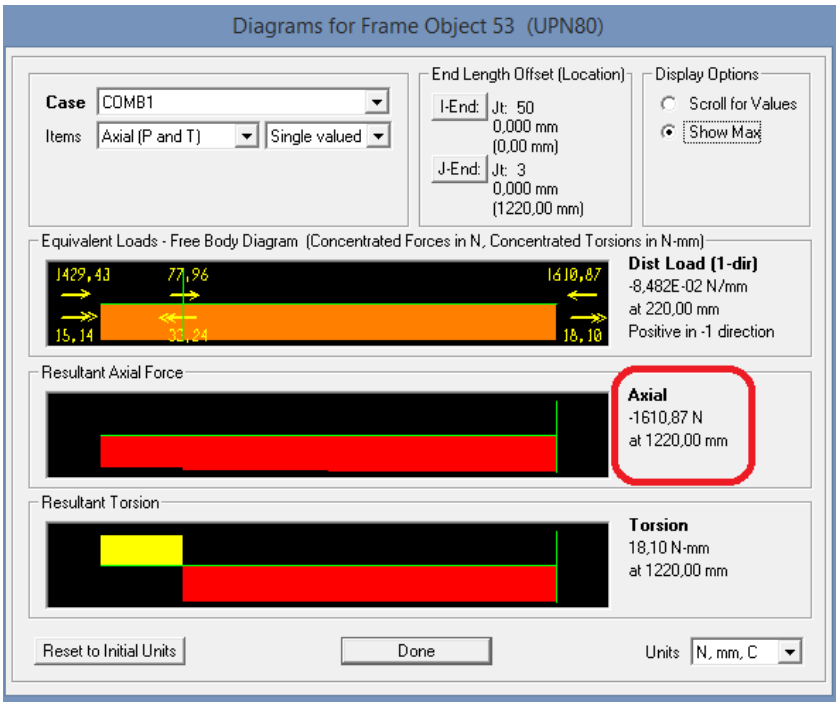


Figure III.8 : Valeur de N_{MAX}.

Calcule de τ :

$$\tau = \frac{3|M_t|e_2}{b_1 e_1^3 + 2b_2 e_2^3}$$

$$\tau = 0{,}007\ MPa$$

Calcule de σ_A :

$$\sigma_A = -\frac{M_2}{I_2} X_{A3} - \frac{M_3}{I_3} X_{A2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_A = -0{,}75\ MPa.$$

$$\sigma_{Aeq} = \sqrt{\sigma_A^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Aeq} = 0{,}76\ MPa.$$

Calcule de σ_{Beq} :

$$\sigma_B = -\frac{M_2}{I_2} X_{B3} - \frac{M_3}{I_3} X_{B2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_B = -0.92\ MPa.$$

$$\sigma_{Beq} = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Beq} = 0.92\ MPa.$$

Calcule de σ_{Ceq} :

$$\sigma_C = -\frac{M_2}{I_2} X_{C3} - \frac{M_3}{I_3} X_{C2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_C = -2.23 MPa.$$

$$\sigma_{Ceq} = \sqrt{\sigma_C^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Ceq} = 2.23\ MPa.$$

Calcule de σ_{Deq} :

$$\sigma_D = -\frac{M_2}{I_2} X_{D3} - \frac{M_3}{I_3} X_{D2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_D = -2.06\ MPa.$$

$$\sigma_{Deq} = \sqrt{\sigma_D^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Deq} = 2.06\ MPa.$$

Le max :

$$\sigma^{1}_{eqMAX} = MAX\{\sigma_{Aeq}\ ;\ \sigma_{Beq}\ ;\ \sigma_{Ceq}\ ;\ \sigma_{Deq}\}$$

$$\sigma^{1}_{eqMAX} = \ 2.23\ MPa.$$

2. x = 220 mm :

D'après les Figures III-9, III-10 et III-11, on a :

M_{2MAX} = -13705,25 N.mm ; M_3 = 7338,77 N.mm ; N = -1448,09 N ; M_t = -15,14 N.mm.

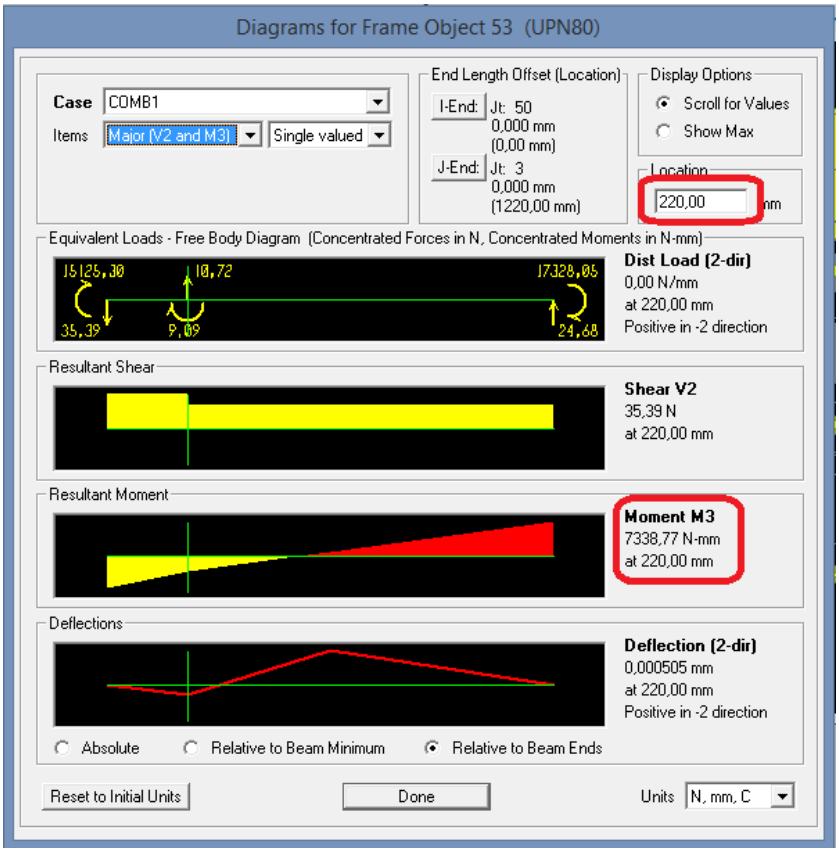


Figure III 9 : Valeur de M_3.

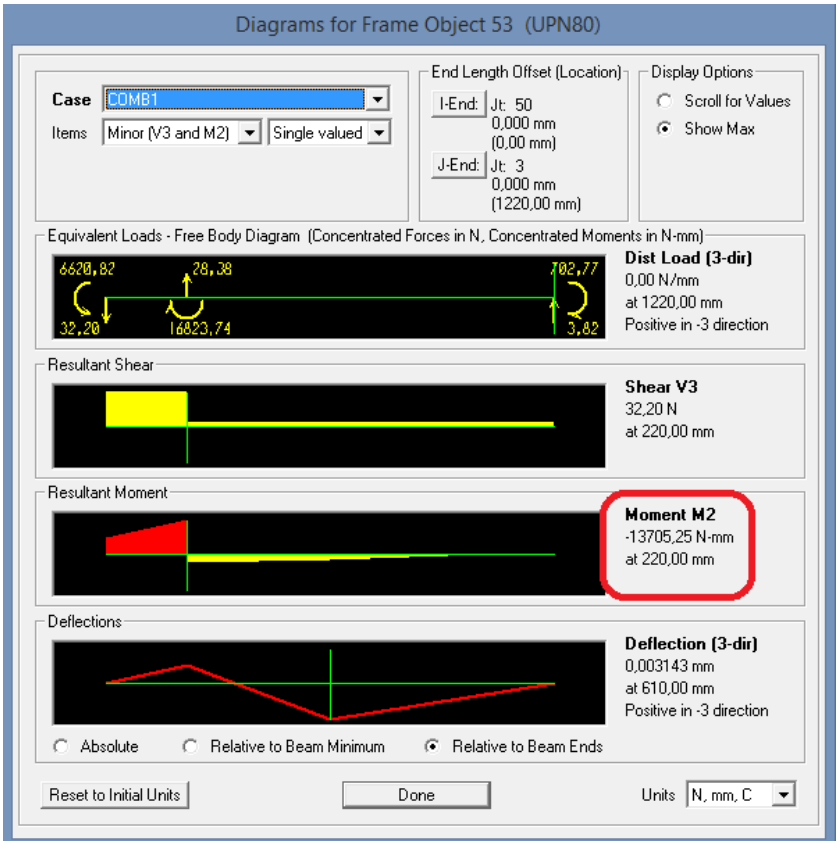


Figure III.10 : Valeur de M_{2MAX}.

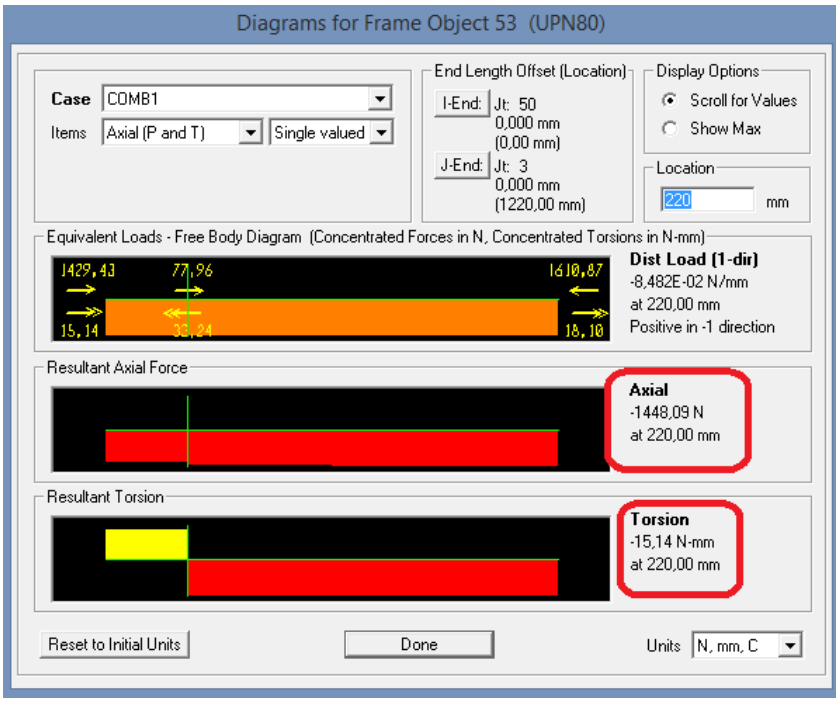


Figure III.11 : Valeur de N.

Calcule de τ :

$$\tau = \frac{3|M_t|e_2}{b_1 e_1^3 + 2b_2 e_2^3}$$

$$\tau = 0{,}006\ MPa$$

Calcule de σ_{Aeq} :

$$\sigma_A = -\frac{M_2}{I_2} X_{A3} - \frac{M_3}{I_3} X_{A2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_A = -0.57\ MPa.$$

$$\sigma_{Aeq} = \sqrt{\sigma_A^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Aeq} = 0.57\ MPa.$$

Calcule de σ_{Beq} :

$$\sigma_B = -\frac{M_2}{I_2} X_{B3} - \frac{M_3}{I_3} X_{B2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_B = -3.75 MPa.$$

$$\sigma_{Beq} = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Beq} = 3.75\ MPa.$$

Calcule de σ_{Ceq} :

$$\sigma_C = -\frac{M_2}{I_2} X_{C3} - \frac{M_3}{I_3} X_{C2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_C = -3.19\ MPa.$$

$$\sigma_{Ceq} = \sqrt{\sigma_C^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Ceq} = 3.19\ MPa.$$

Calcule de σ_{Deq} :

$$\sigma_D = -\frac{M_2}{I_2} X_{D3} - \frac{M_3}{I_3} X_{D2} + \frac{N}{S}$$

$$\sigma_D = -0.01\ MPa.$$

$$\sigma_{Deq} = \sqrt{\sigma_D^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{Deq} = 0.02\ MPa.$$

Le max :

$$\sigma^2_{eqMAX} = MAX\{\sigma_{Aeq}\ ;\ \sigma_{Beq}\ ;\ \sigma_{Ceq}\ ;\ \sigma_{Deq}\}$$

$$\sigma^2_{eqMAX} = \ 3.75\ MPa.$$

Conclusion

Pour cette barre le σ_{eq} à retenir est :

$$\sigma_{eq} = MAX\{\sigma^1_{eqMAX}\ ;\ \sigma^2_{eqMAX}\} = 3.75\ MPa.$$

Nous constatons qu'elle est très largement inférieure à la contrainte admissible.

III.6 : Les déplacements :

Nous présentons ci-dessous les différentes étapes pour obtenir les valeurs des déplacements :

Clique sur Display –> show tables –> clique sur ⊞ joint output > clique sur ⊞ déplacement –> table : joint déplacement –> ok.

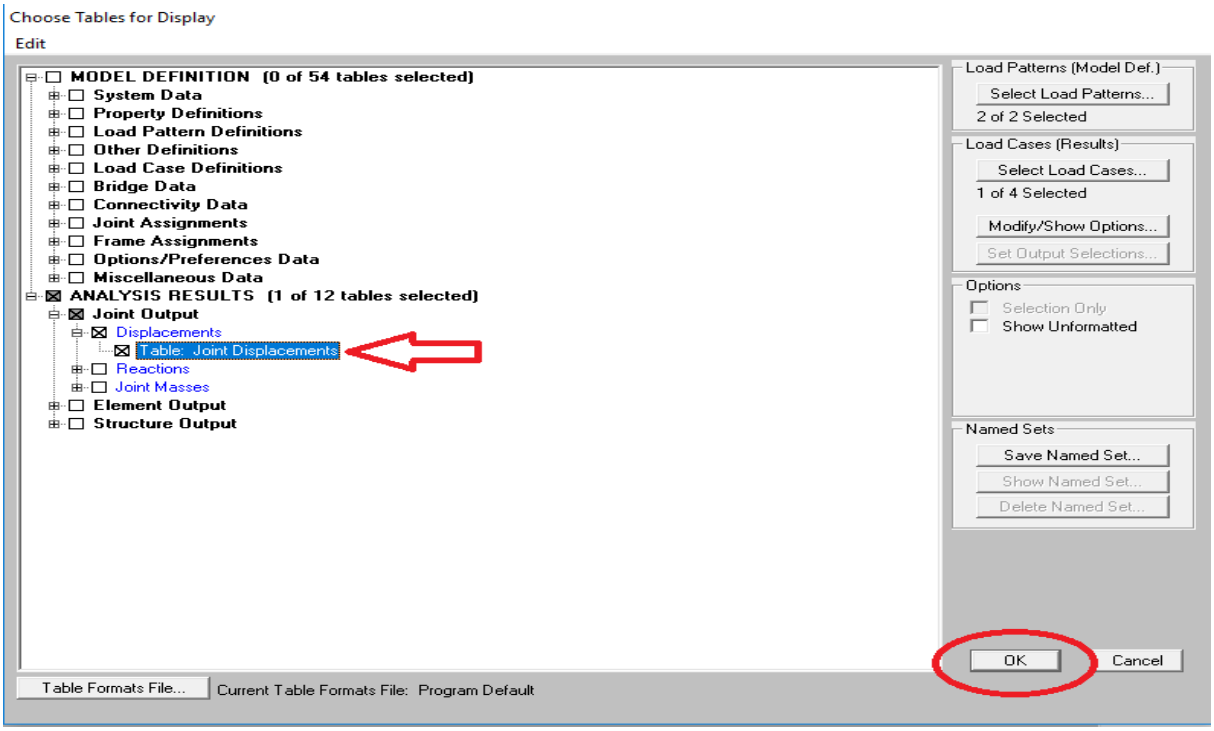


Figure III.12 : Obtention des valeurs des déplacements.

<u>Les déplacements maximaux suivant trois axes</u>

Pour extraire les déplacements maximaux dans chaque axe :

En clique sur format –> filtre-sort –> sort table –> on choisit axe (U1=X, U2=Y, U3=Z) –> ok (Figure III.13, III.15 et III.17).

Déplacement maximal suivant l'axe X : X_{MAX} = 0,0098 mm (Figure III.14).

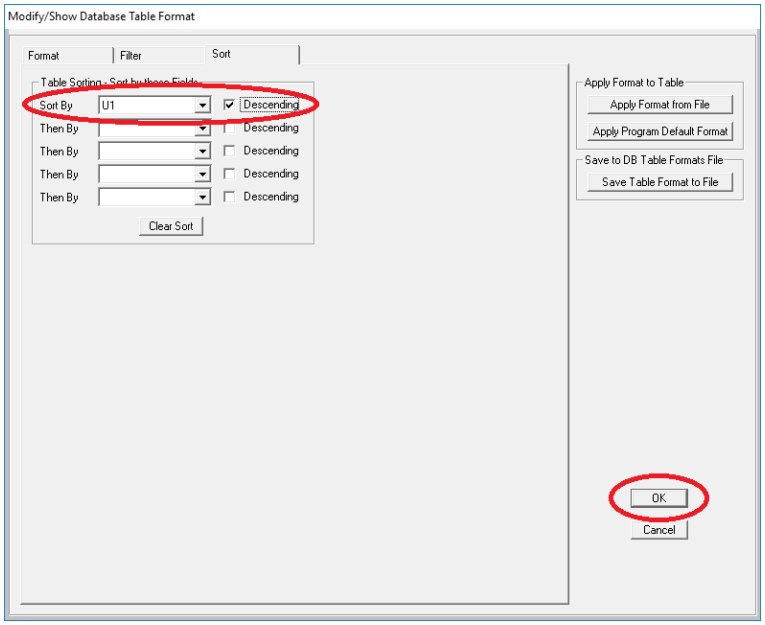


Figure III.13 : Déplacement suivant X.

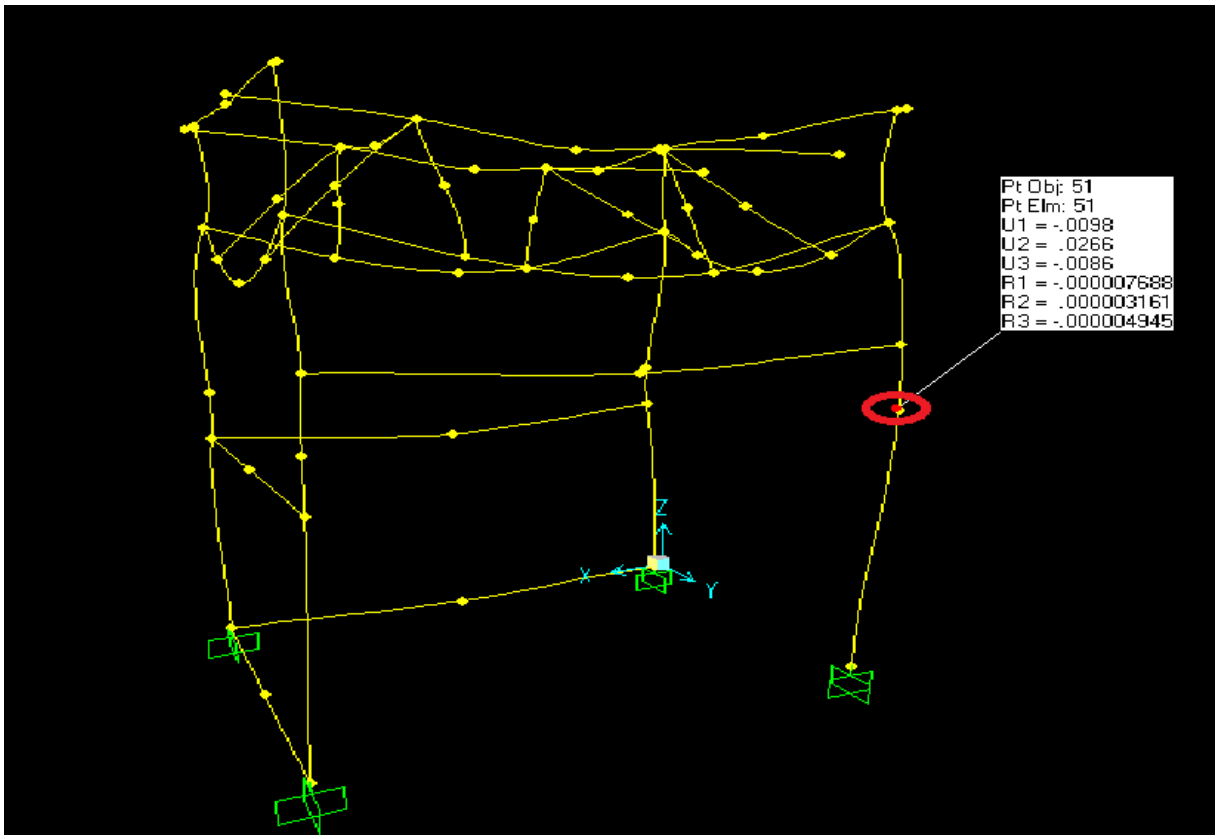


Figure III.14 : Déplacement maximal suivant X.

Déplacement maximal suivant l'axe Y : Y_{MAX} = 0,0266 mm (Figure III.16).

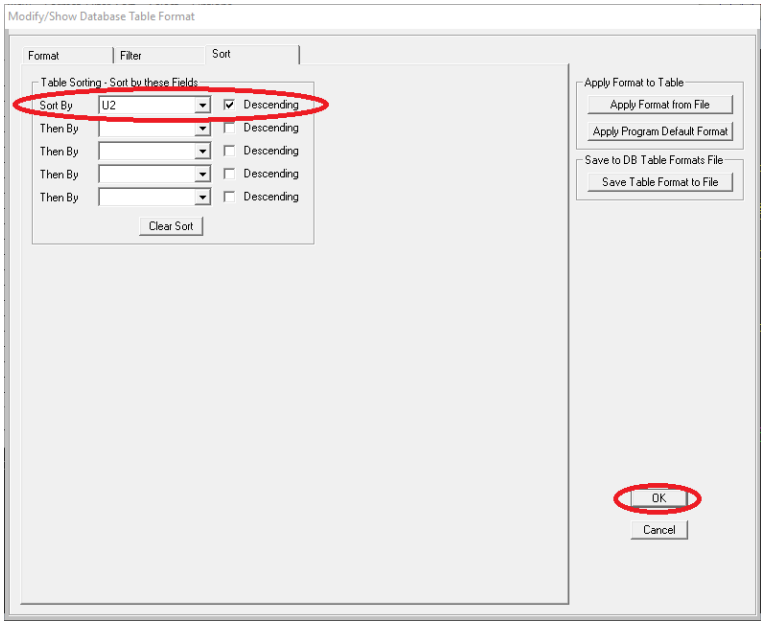


Figure III.15 : Déplacement suivant Y.

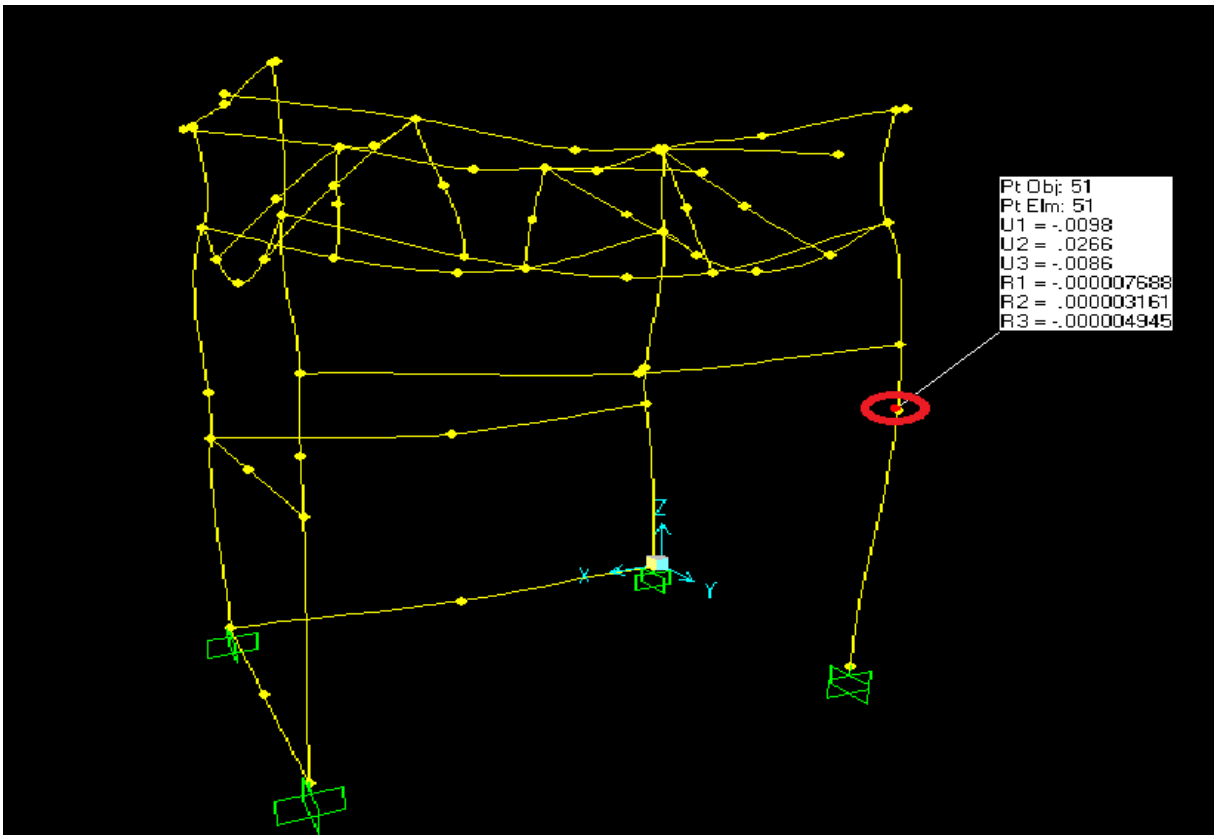


Figure III.16 : Déplacement maximal suivant Y.

Déplacement maximal suivant l'axe Z : Z_{MAX} = 0,0942 mm (Figure III.18).

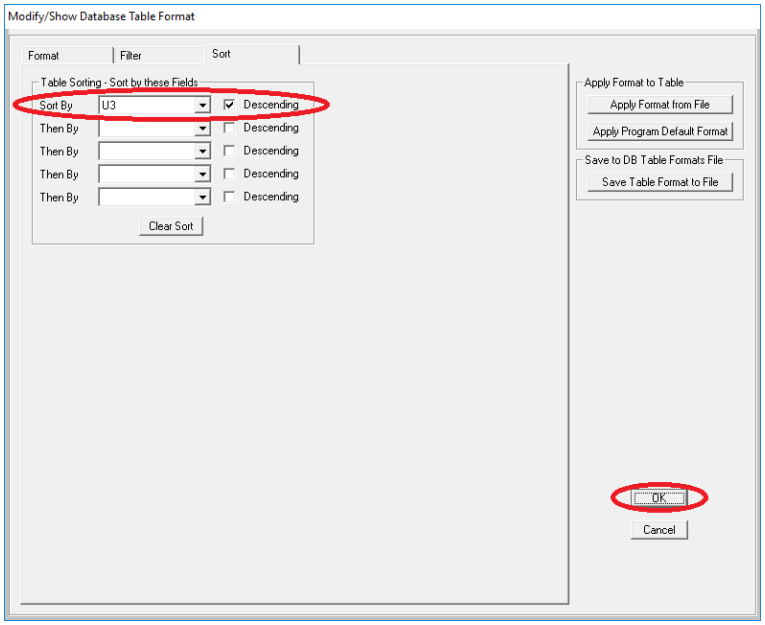


Figure III.17 : Déplacement suivant Z.

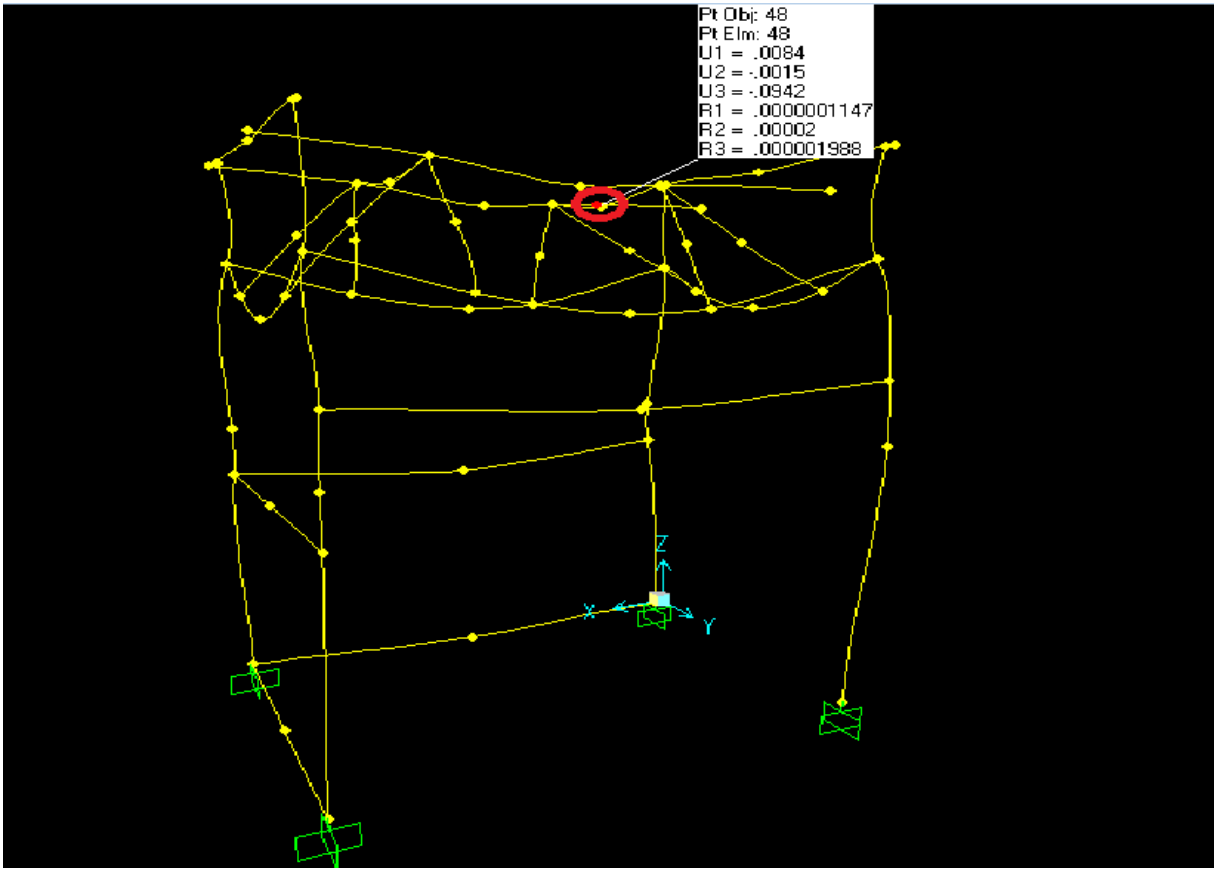


Figure III.18 : Déplacement maximal suivant Z.

On constate que les déplacements dans la structure sont très petits. Ce résultat valide nos calculs dans le sens où le problème traité est un problème élastique linéaire.

Les déplacements suivant les axes X, Y et Z sont du même ordre de grandeur que celui de [1] qu'est égal à **0.03668mm**.

III.7 : Discussion des résultats

La procédure décrite ci-dessus est appliquée à toutes les barres de la structure. Les détails pour chacune des barres sont donnés en Annexe 02. Un récapitulatif des résultats pour chaque barre est donné dans le Tableau III.1 (la numérotation des barres est expliquée en Annexe 01). On y observe que la contrainte équivalente maximale dans la structure est $\boldsymbol{\sigma_{eq\,MAX}}$ **= 9,19 MPa** à la Barre 3' (Figure III.19). Cette valeur est très largement inférieure à la contrainte admissible. La structure vérifie donc la condition de résistance.

En comparant avec les résultats de [1], on a trouvé que la contrainte équivalente maximale dans la structure est $\boldsymbol{\sigma_{eq\,MAX}}$ **= 9,19 MPa**. Ce résultat est inférieur à celui de [1] qui a trouvé $\boldsymbol{\sigma_{eq\,MAX}}$ **= 12,34 MPa.** Cette différence avec nos résultats peut s'expliquer par le phénomène de concentration de contrainte, non pris en compte dans nos calculs.

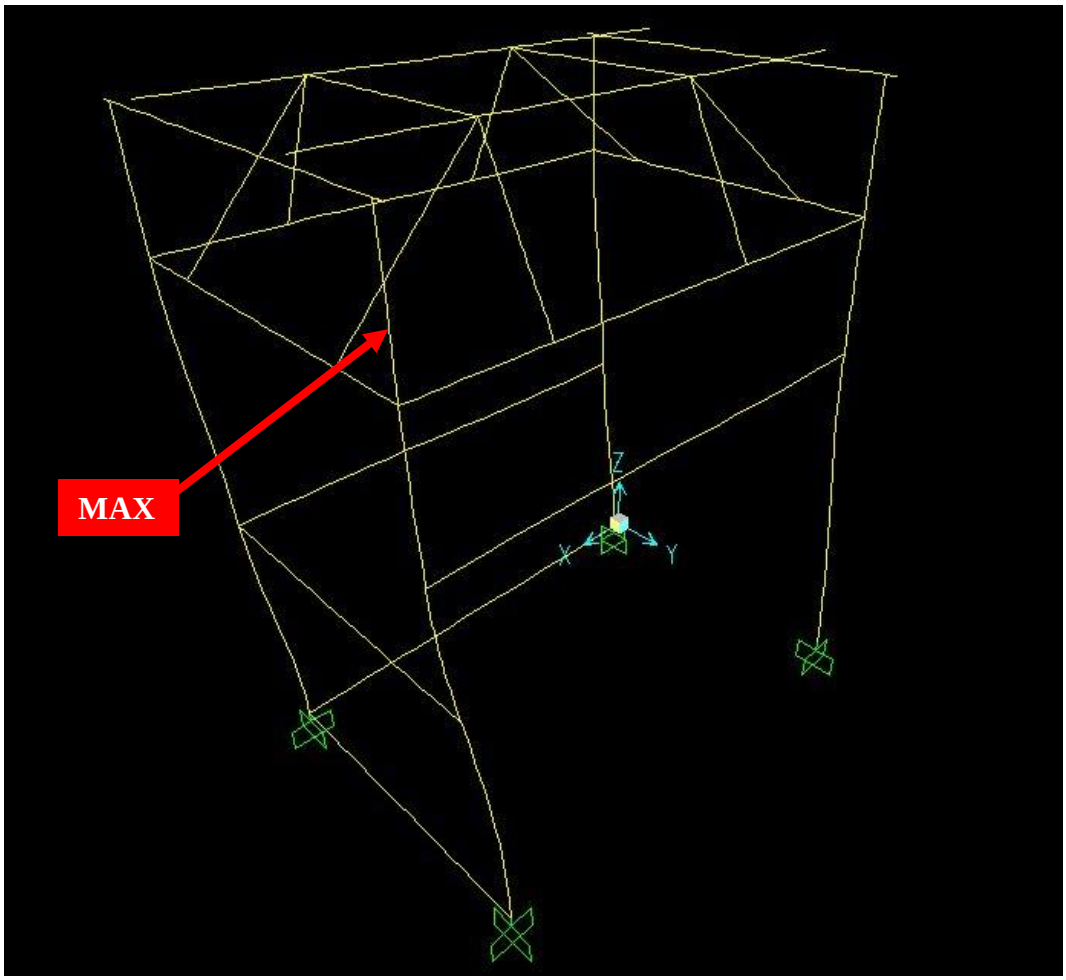


Figure III.19 : Contrainte équivalente MAX (Barre 3').

N° Barre	σeq_{max}	N° Barre	σeq_{max}	N° Barre	σeq_{max}
1	3.75	10’	0.60	19’	5.52
1’	8.60	11	0.82	20	1.55
2	3.92	11’	0.68	20’	2.03
2’	8.87	12	1.67	21	4.39
3	2.95	12’	2.33	21’	2.39
3’	9.19	13	7.79	22	1.18
4	2.45	13’	7.83	22’	2.46
4’	8.83	14	1.83	23	2.96
5	1.95	14’	2.04	23’	3.51
5’	0.57	15	6.56	24	3.08
6	1.98	15’	6.45	24’	1.94
6’	1.98	16	5.10	25	3.09
7	0.89	16’	5.45	25’	1.94
7’	0.89	17	3.83	26	1.97
8	0.41	17’	6.08	26’	1.94
9	0.72	18	6.34	27	2.05
9’	0.72	18’	4.71	27’	2.05
10	0.56	19	4.84		

Tableau III.1 : Contrainte équivalente dans chaque barre.

CHAPITRE IV

Vérification de flambement

IV.1 : Introduction

L'objectif de ce chapitre est de vérifier la stabilité de la structure par rapport au phénomène du flambement.

IV.2 : Définition

Le flambage ou flambement est un phénomène d'instabilité d'une structure, qui soumise à un effort normal de compression, a tendance à fléchir et se déformer dans une direction perpendiculaire à l'axe de compression. Le terme flambement est plutôt utilisé en mécanique des structures.

IV.3 : Vérification de la résistance au flambage

La vérification du flambage d'une barre en compression consiste à comparer l'effort normal exercé sur la barre avec la charge critique donnée par la formule suivante :

$$N_c = f_f \times P$$

Avec :

N_C : la charge critique,

f_f : facteur de flambement,

P : Charge extérieure égale à 1,37N /mm.

On rappelle ci-dessous la signification du phénomène du flambement :

- Si P < N_C la poutre revient dans sa configuration initiale.
- Si P = N_C la poutre conserve la déformée qui lui a été conférée par la perturbation.
- Si P > N_C la déformée créée par la perturbation va en s'accentuant.

IV.4 : Procédure de calcul de f_f avec SAP2000

Nous présentons ci-dessous les différentes étapes à suivre avec SAP2000.

A. Changer le type d'analyse :

Pour changer le type d'analyse de linéaire vers non linéaire, on suit les étapes suivantes :

- Cliquer sur: define -> load cases.
- Sélectionner chacune des charges LOAD et Q -> on clique modify/show load cases (Figure IV.1).

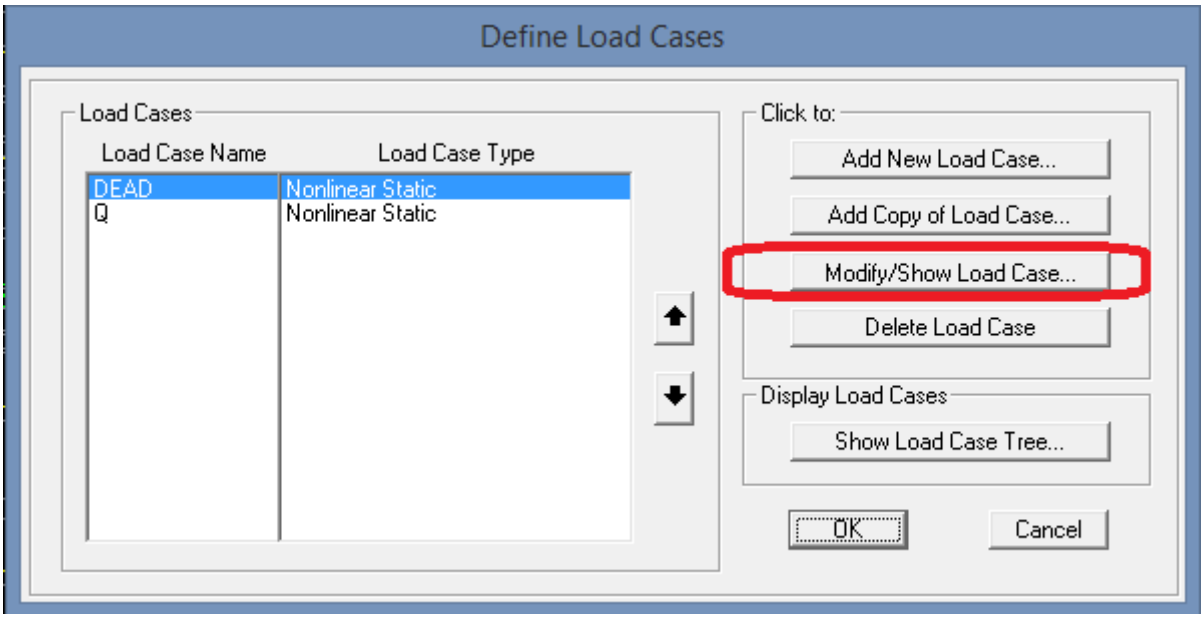


Figure IV.6 : Changement du type d'analyse.

- Choisir le type d'analyse non linéaire (Figure IV.2).

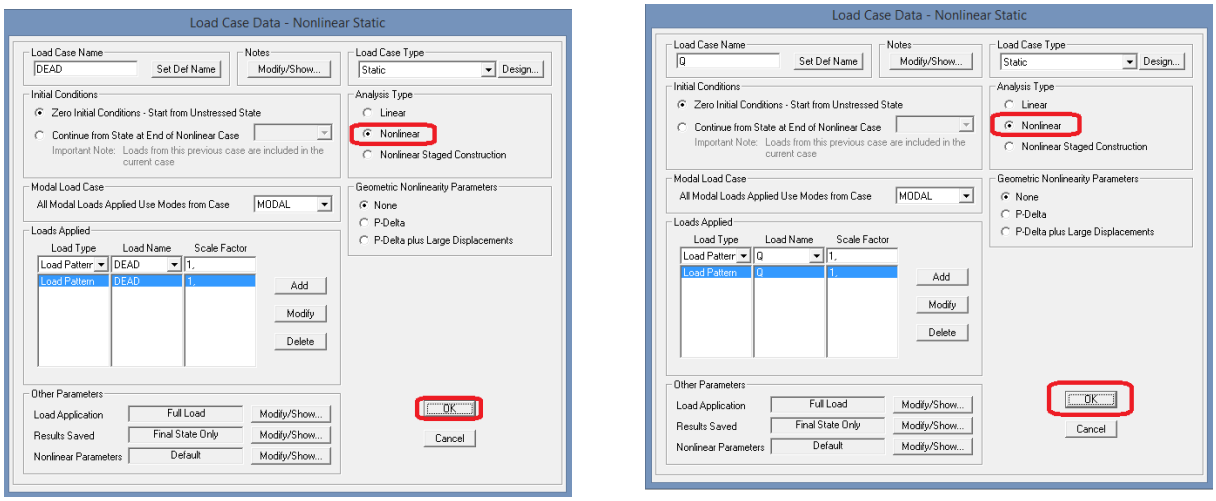


Figure IV.7 : Type d'analyse non linéaire.

B. Définir le cas de charge :

Pour créer un nouveau cas de charge : Define -> load Cases -> add new load case ->load cases type = buckling (Figure IV.3).

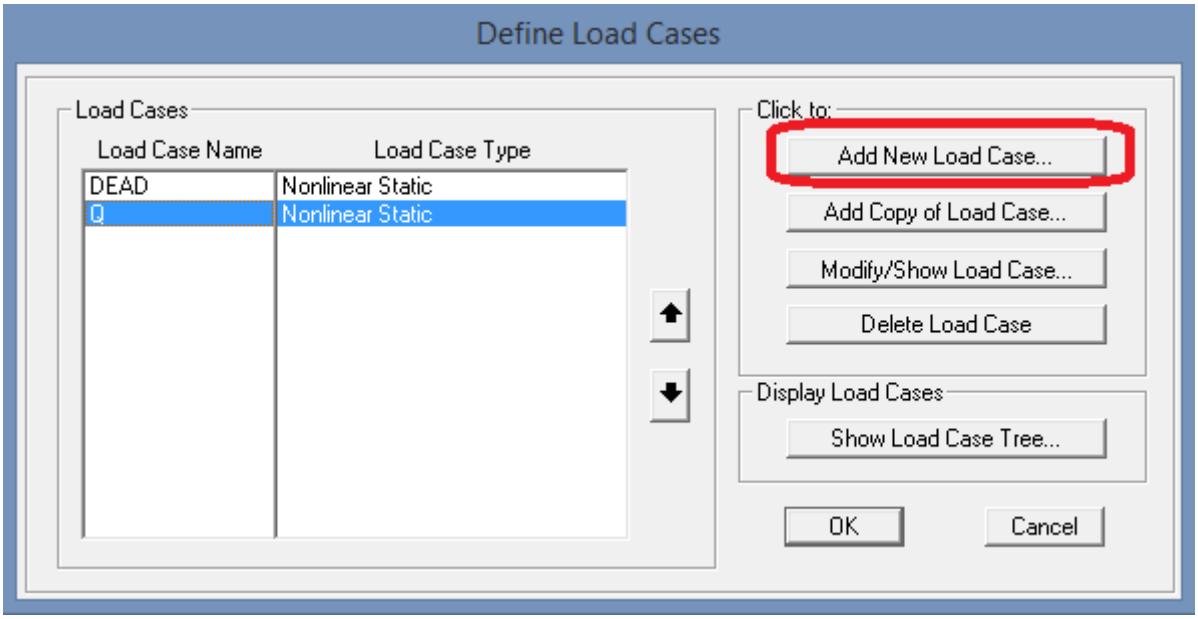


Figure IV.8 : Définition de charge.

Pour définir les charges appliquées : on sélectionne la première charge (poids propre = **DEAD**) -> clique sur **add**, de même pour l'autre charge (Q -> add) -> OK (Figure IV.4).

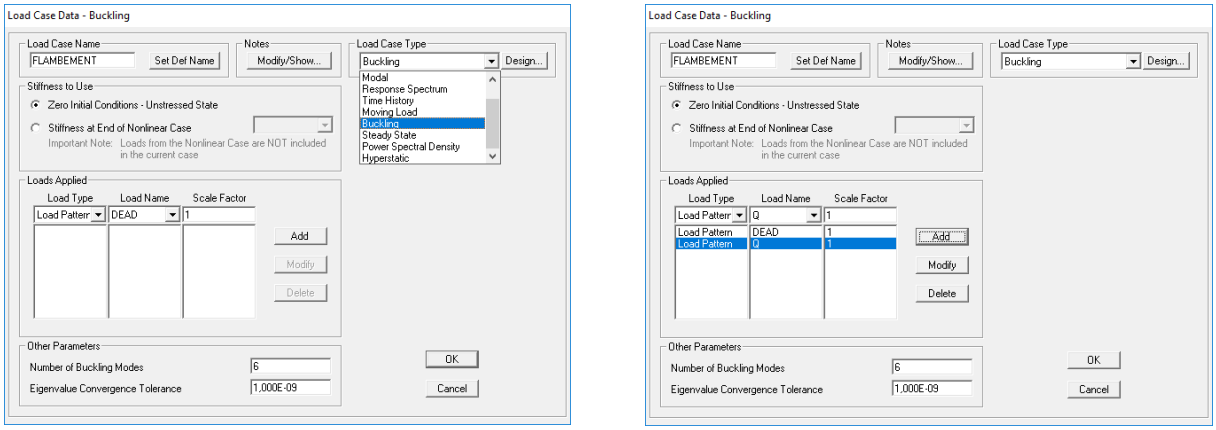


Figure IV.9 : Application de charge.

C. Lancement de l'analyse (Figure IV.5) :

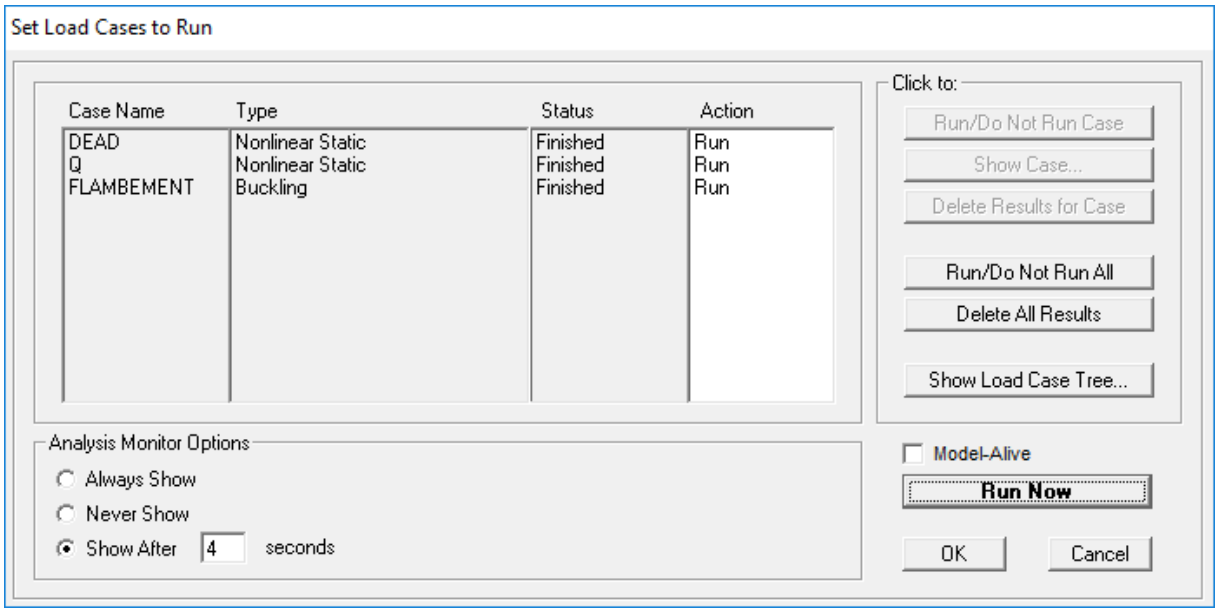


Figure IV.10 : Lancement de calcul.

IV.5 : Présentation des résultats

Pour accéder aux résultats Cliquer sur : Display -> show tables -> structure output -> Other output items -> table : Buckling factor -> ok (Figure IV.6).

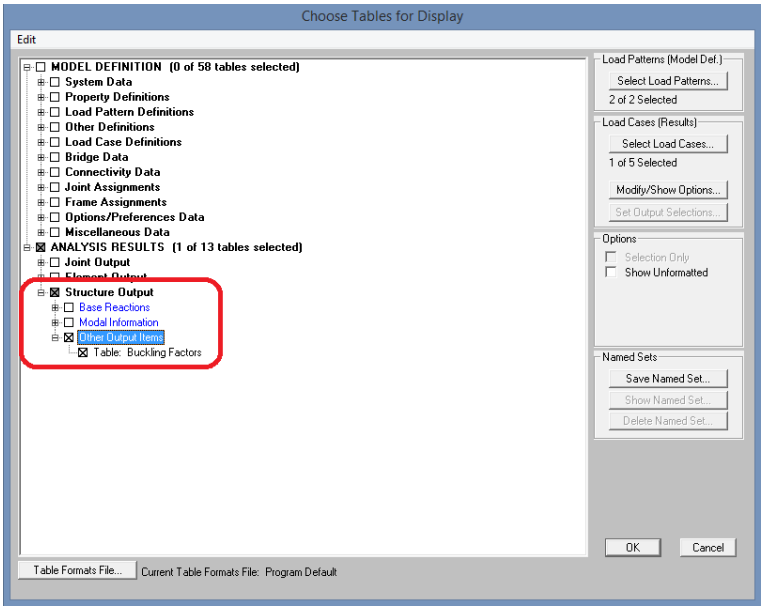


Figure IV.6 : Affichage des résultats du flambement.

Nous présentons ci-dessous, la déformée de la structure pour le premier mode de flambement (Figure IV-8), ainsi que les facteurs de flambement pour les douze premiers modes (Figure IV.7).

Buckling Factors

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted — Buckling Factors

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	ScaleFactor Unitless
▶	BUCK1	Mode	1	132,239671
	BUCK1	Mode	2	186,675578
	BUCK1	Mode	3	288,567266
	BUCK1	Mode	4	460,570807
	BUCK1	Mode	5	508,010032
	BUCK1	Mode	6	651,113439
	BUCK1	Mode	7	771,432163
	BUCK1	Mode	8	829,458388
	BUCK1	Mode	9	1007,852697
	BUCK1	Mode	10	1064,206125
	BUCK1	Mode	11	1200,14086
	BUCK1	Mode	12	1210,50241

Record: 1 of 12 — Add Tables... — Done

Figure IV-7 : Facteurs de flambement.

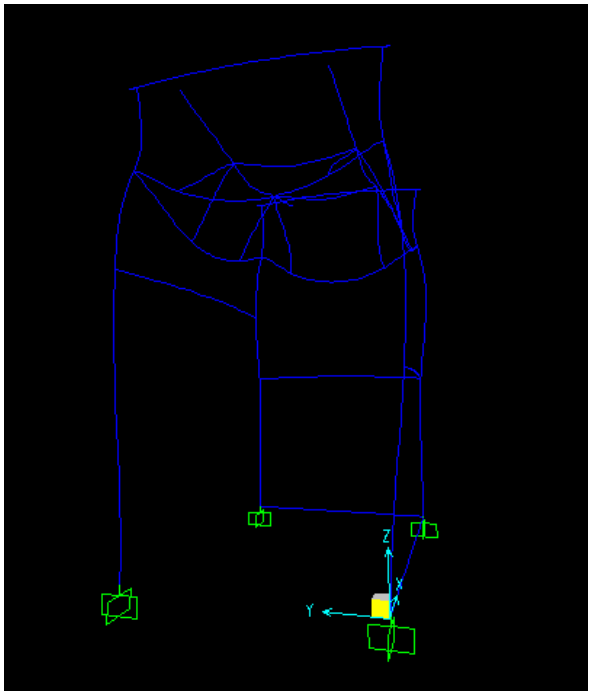


Figure IV.8 : Premier mode du flambement.

Calcul de la charge critique :
La charge critique correspond au facteur du premier mode :

$$N_c = f_f \times P = 132{,}239 \times 1{,}37 = 181{,}169\ N/mm$$

Nous observons que la charge critique est très largement supérieure à la charge appliquée (1,37 N/mm). Par conséquent, la structure est stable.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le travail effectué a consisté en la reprise des résultats obtenus par [1] en utilisant logiciel SAP2000. Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

- La comparaison entre le logiciel SAP2000 et les logiciels classiques de la méthode des éléments finis, permet de dire que SAP2000 présente des avantages et des inconvénients :
    1. Le premier avantage est qu'il est très pratique dans le cas des structures en charpente métallique. Puisqu'il permet la modélisation de la structure en éléments barre et poutre, avec les propriétés des sections normalisées incluses dans sa bibliothèque. Ce qui est une grande simplification, puisque la géométrie est représentée par un ensemble de lignes. Contrairement aux logiciels classiques qui nécessitent une modélisation géométrique tridimensionnelle de la structure et l'utilisation d'éléments volumiques. Ce qui implique un effort et un cout de modélisation plus élevés.
    2. Le deuxième avantage est qu'il permet la détermination des charges critiques de flambement des structures. Ce phénomène, très important pour les structures travaillant en compression, n'est pas pris en compte par les logiciels classiques.
    3. L'inconvénient majeur est qu'il donne les efforts internes dans les barres et pas les contraintes. Or pour vérifier la résistance, on doit calculer les contraintes dans toute la structure. On est donc obligés de les calculer dans chaque barre à partir des efforts internes et en utilisant les formules de la résistance des matériaux. Cette procédure peut être très lourde pour des grandes structures. Par contre, les logiciels classiques permettent de calculer directement les contraintes.
- La conclusion précédente a été obtenue en comparant avec le logiciel AUTODESK simulation utilisé par [1], mais elle est valable pour les autres logiciels classiques (ANSYS, ABAQUS, …etc.).
- La contrainte équivalente maximale trouvée est inférieure à celle de [1]. Cette différence peut s'expliquer par le phénomène de concentration de contrainte, non pris en compte par SAP2000. Ce qui peut être considéré comme un autre inconvénient.
- La contrainte équivalente maximale est très largement inférieure à la limite élastique, ce qui veut dire que la structure est largement surdimensionnée.

La dernière conclusion, nous permet d'entrevoir une perspective de poursuite pour ce travail. Elle consistera en une utilisation d'une section plus faible que celle utilisée dans ce travail (UPN80). Une dernière perspective est d'optimiser la forme de la section en essayant d'autres types comme l'IPN.

Références

[1] ABID Amine, KHORCHEF Ayoub, « Influence du choix du profilé sur la résistance du support d'une ENSACHEUSE PESEUSE » Master Construction Mécanique USDB 2016.

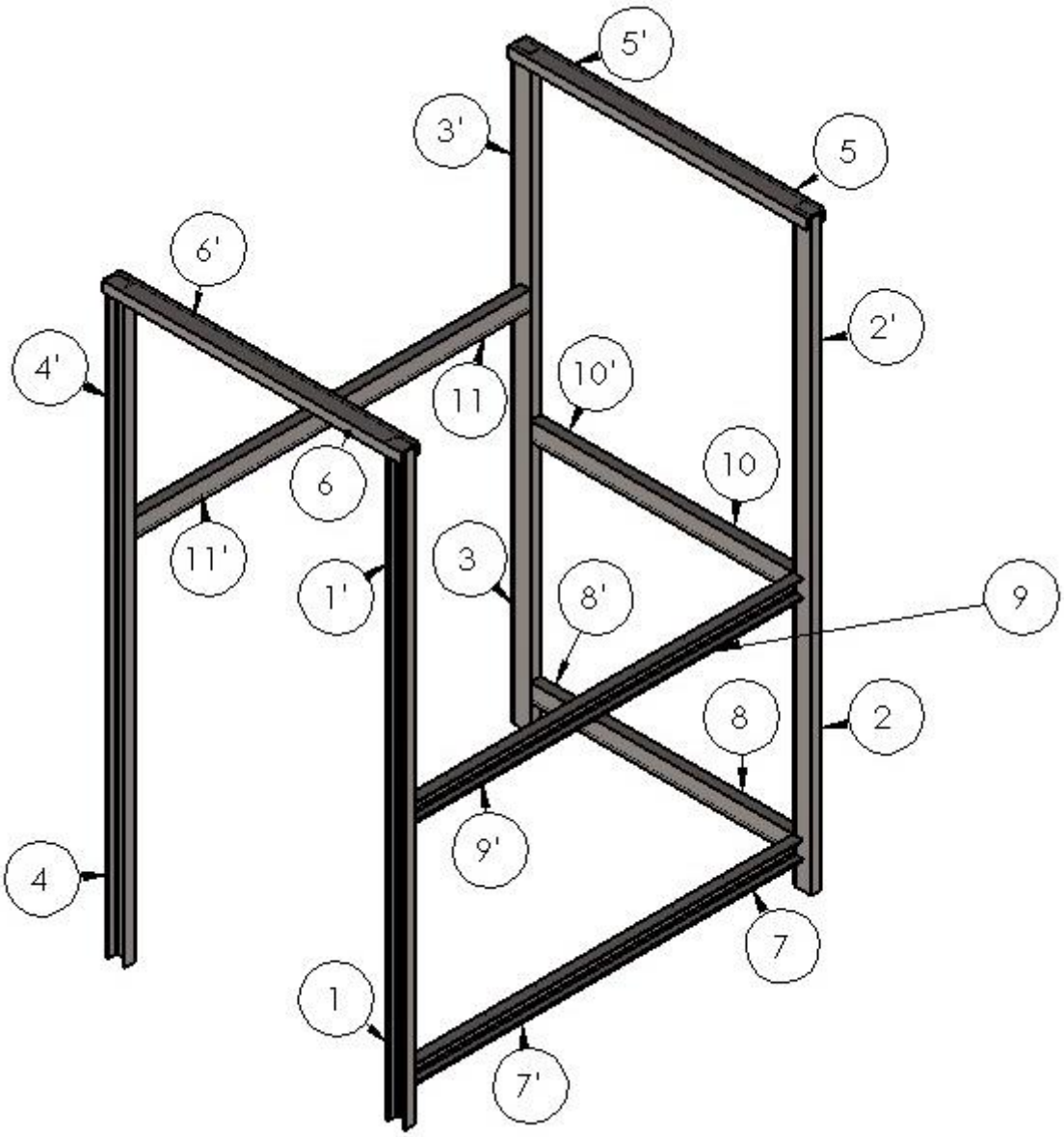
[2] « SAP2000 BASIC ANALYSIS », Novembre 1998, Documentation SAP2000.

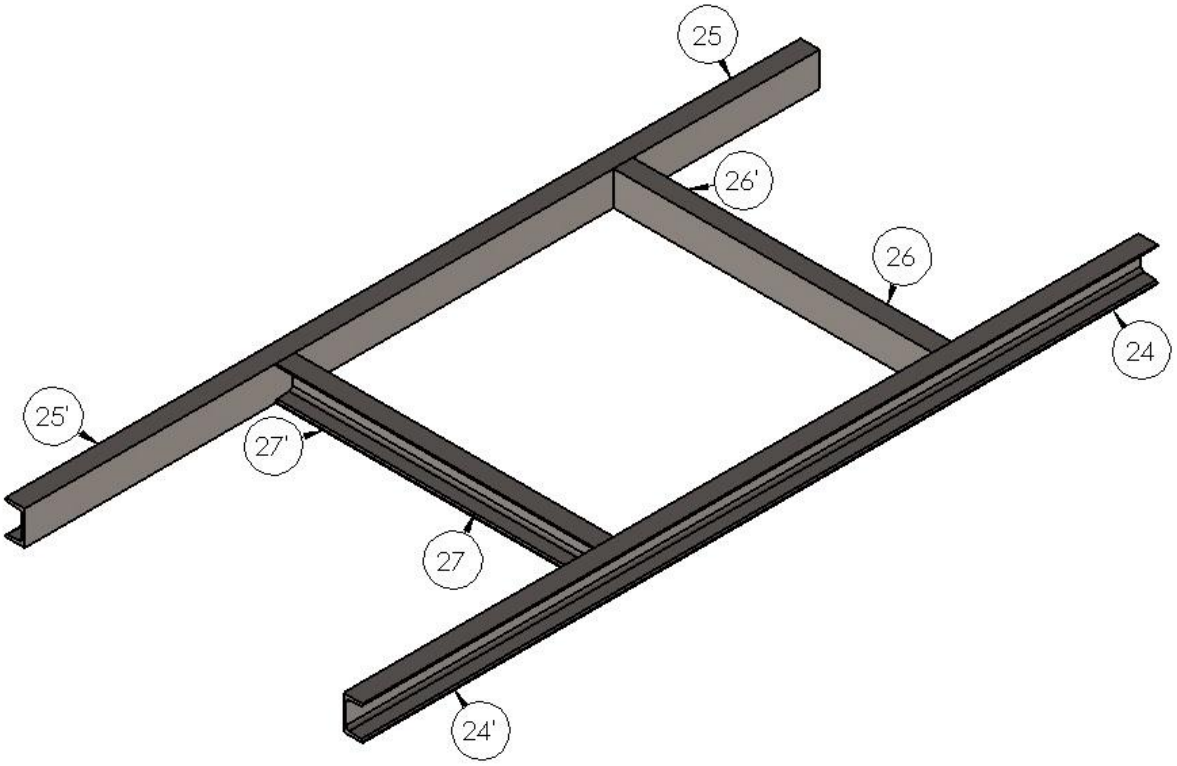
[3] M. Kerguignas, G. Caignaert, « Résistance des matériaux », Dunod Université.

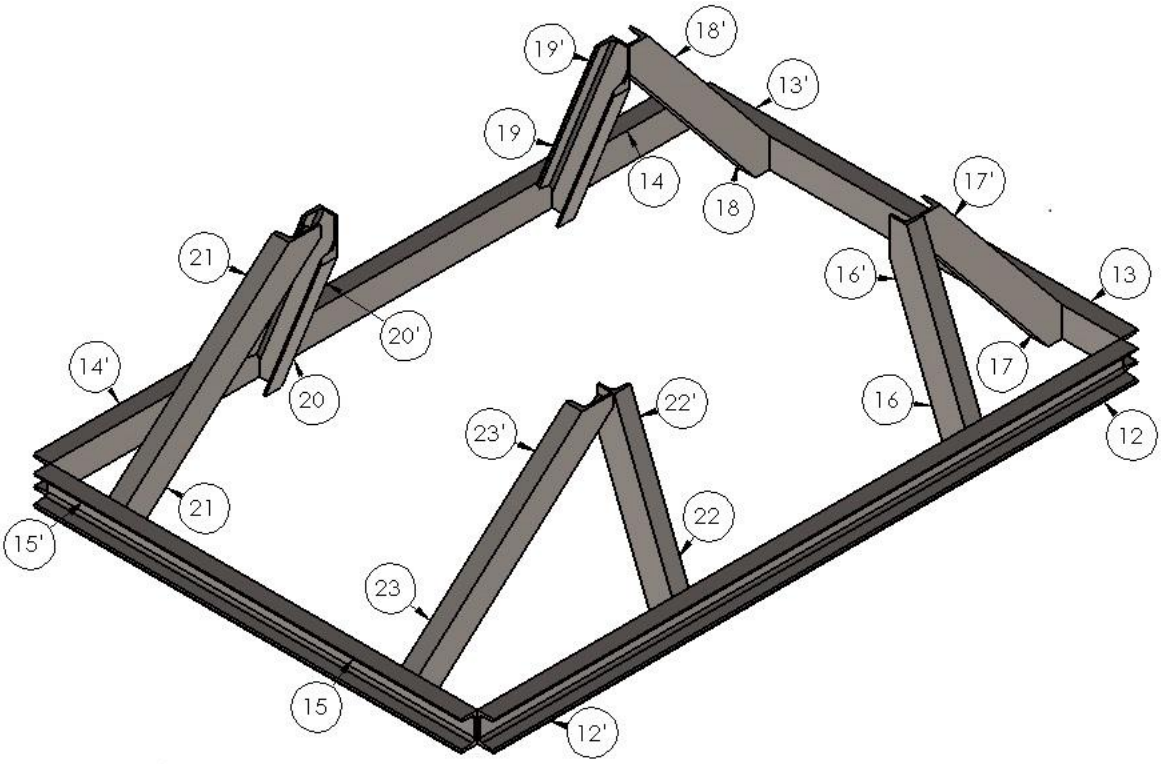
ANNEXE 01

Numérotation des barres

Chaque barre numéro n de la structure est divisée en deux parties n et n’ de même longueur.




25
26'
26
24
25'
27'
27
24'

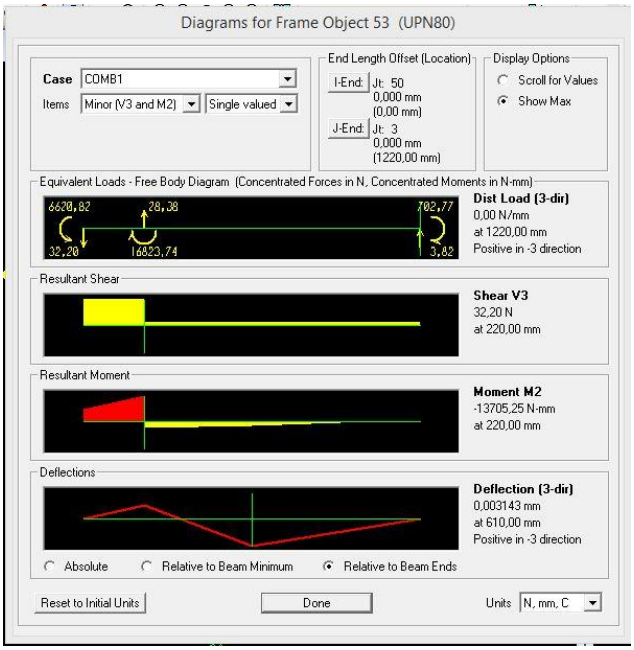

19'
18'
13'
19
14
18
17'
21
16'
13
20'
14'
20
17
22'
23'
16
12
21
15'
22
23
15
12'

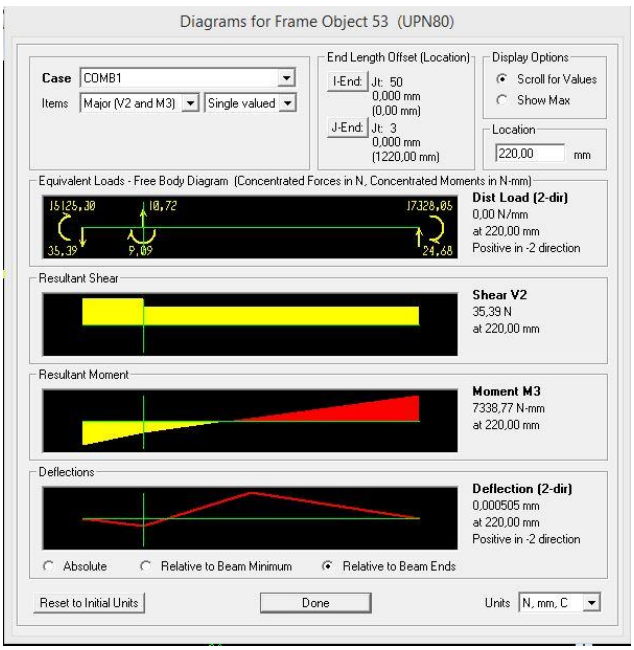
ANNEXE 02

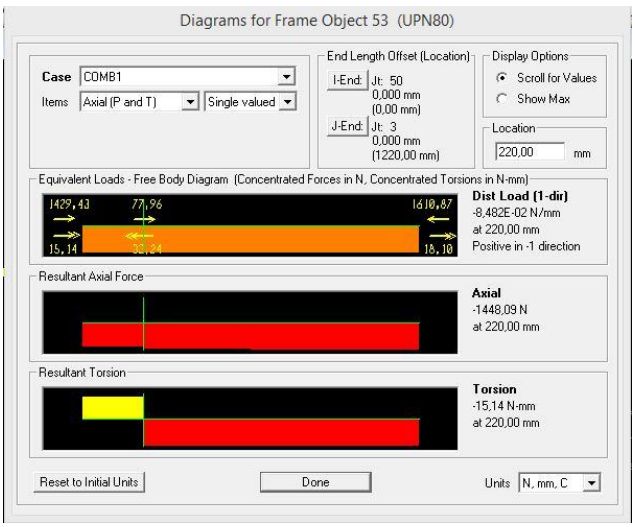
Efforts internes dans chaque barre

Barre n° = 1

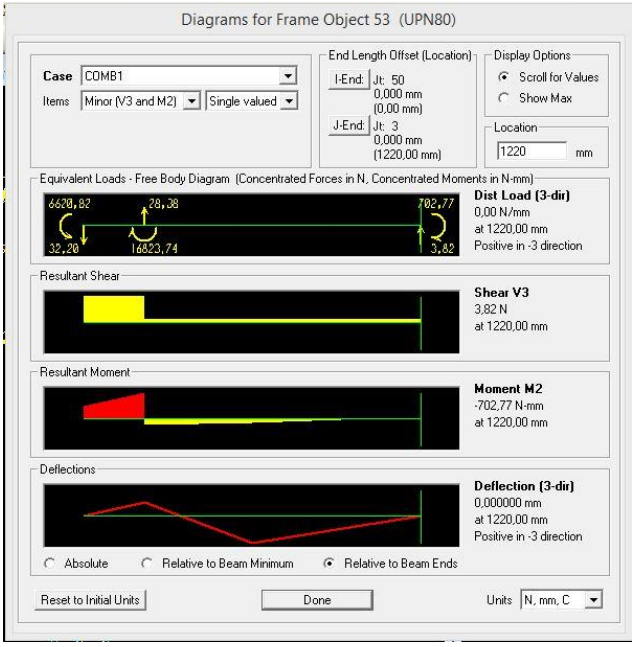
x = 200 mm :

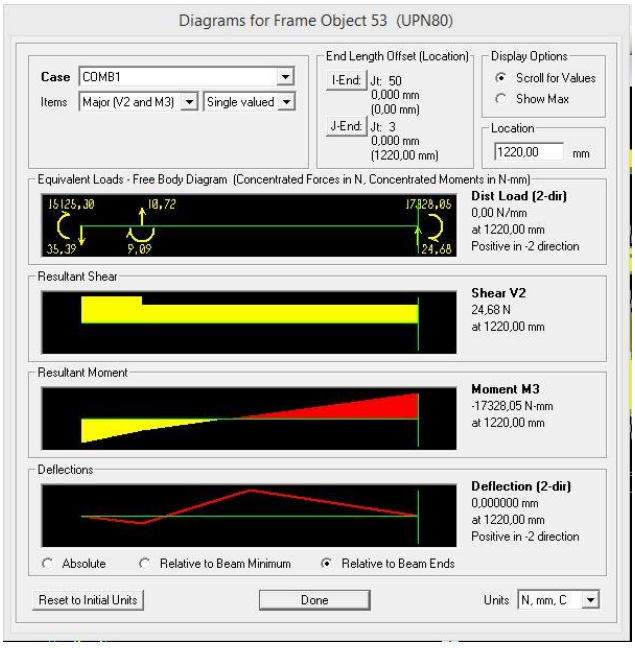


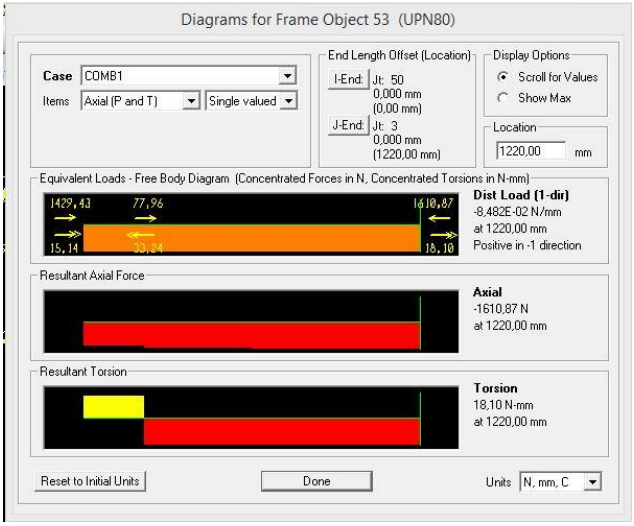




x = 1220 mm :

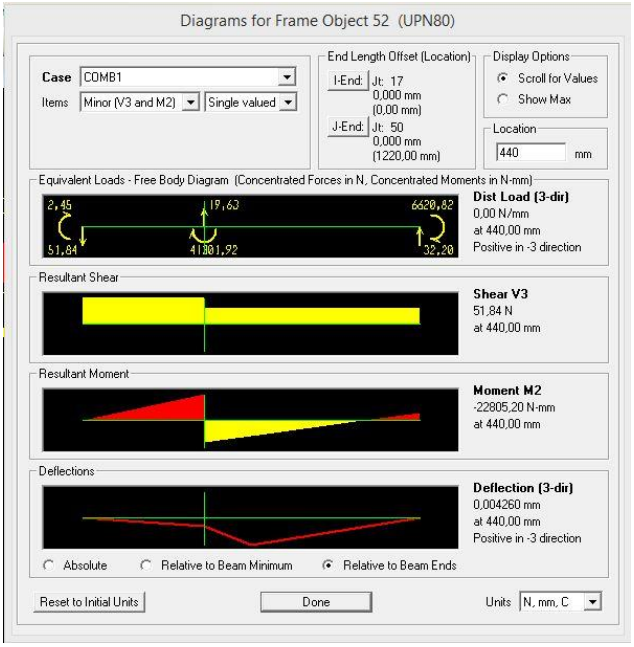


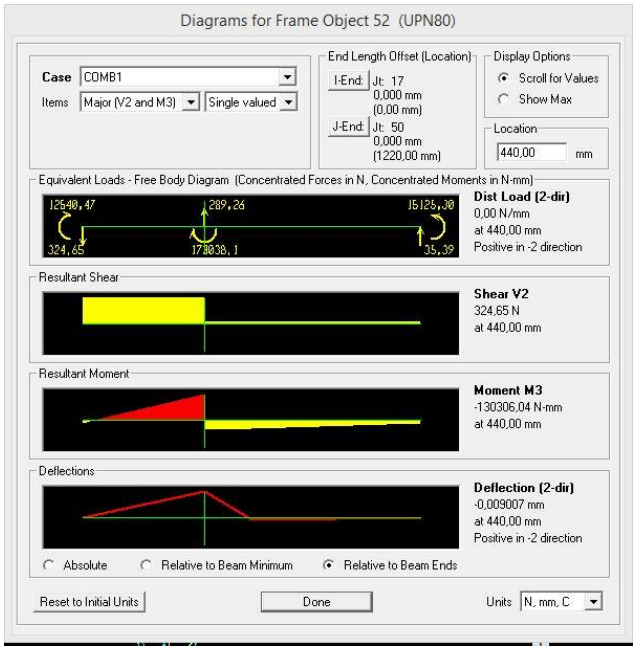




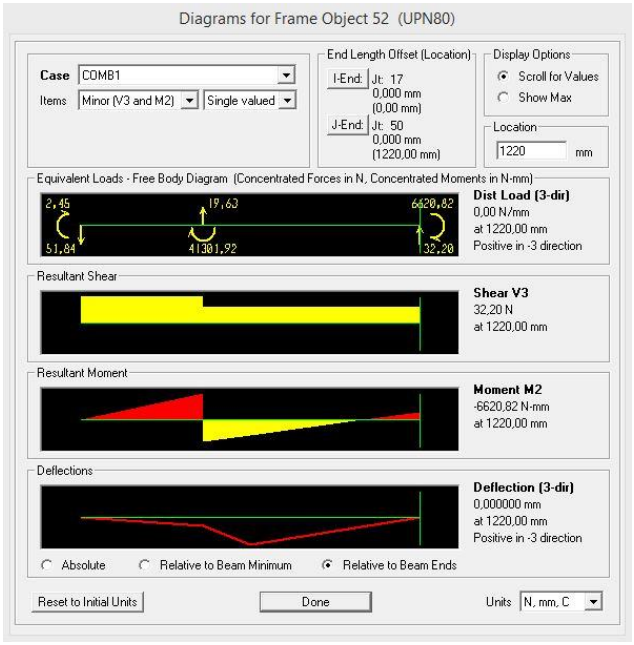
Barre n° = 1’

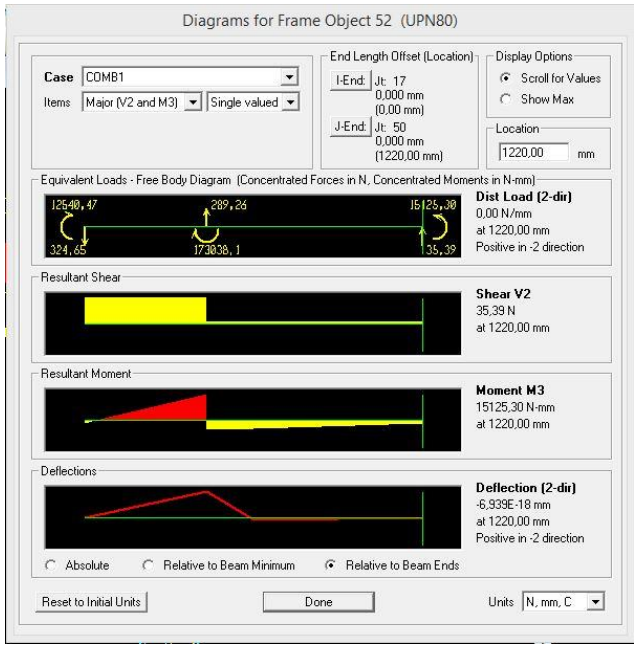
x = 440 mm :

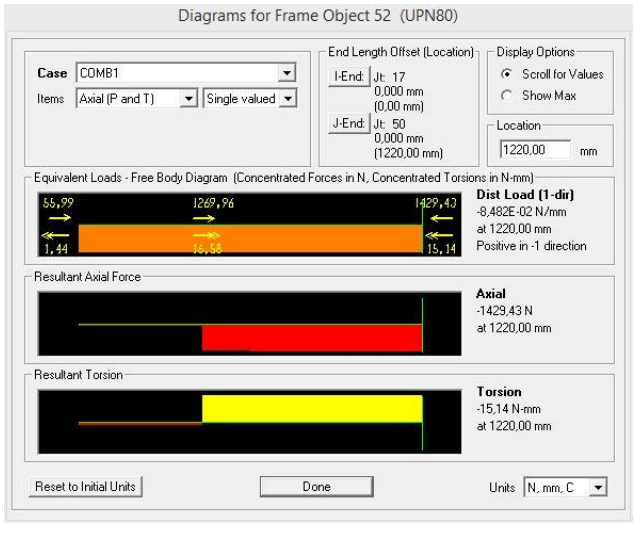




x = 1220 mm :

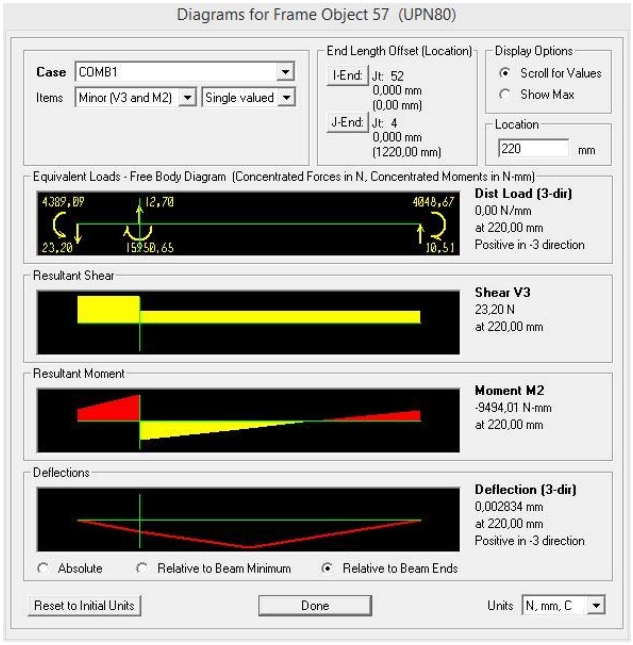


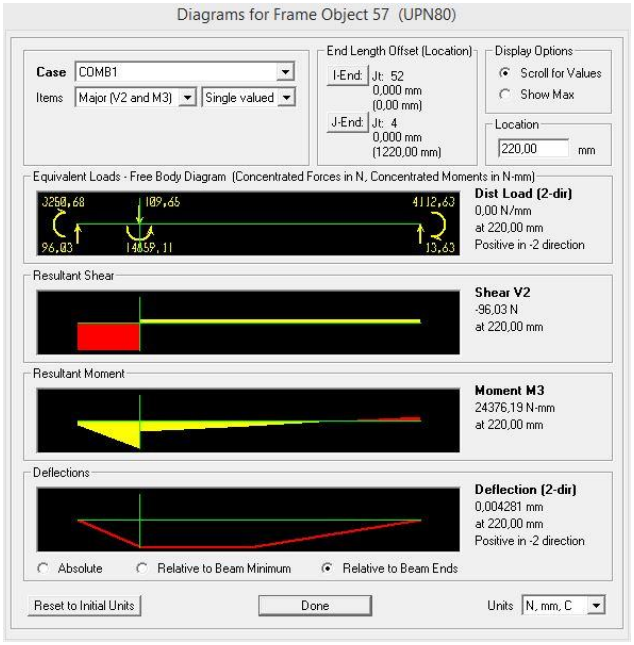


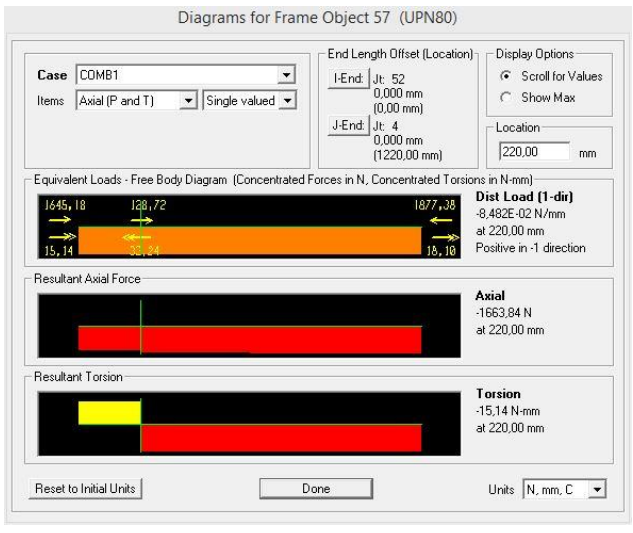


Barre n° = 2

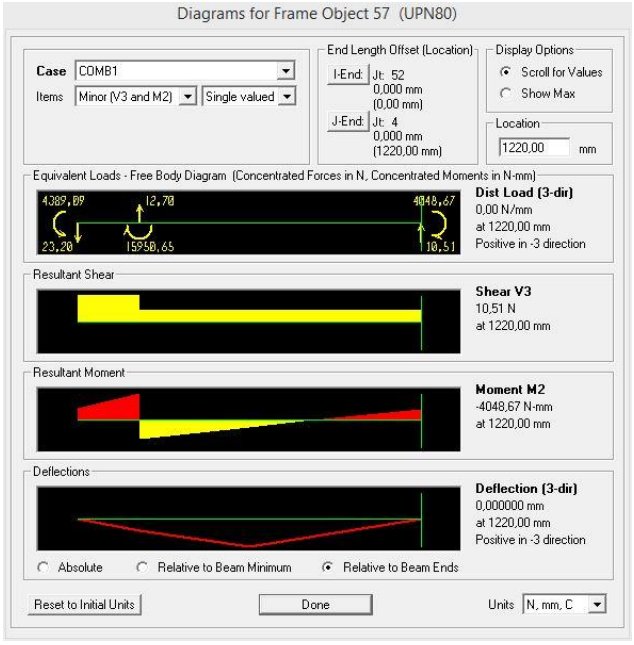
x = 220 mm :

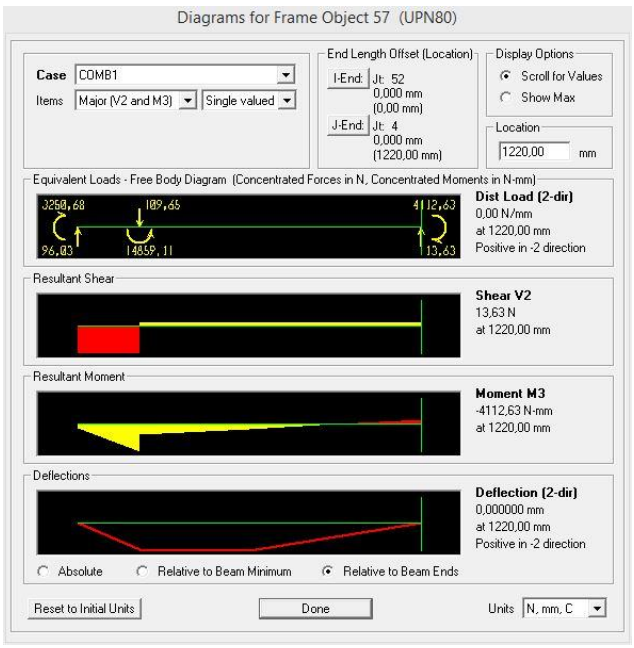


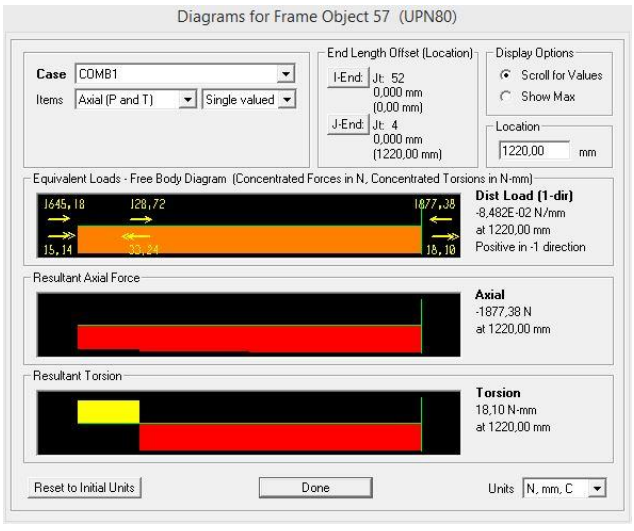




x = 1220 mm :

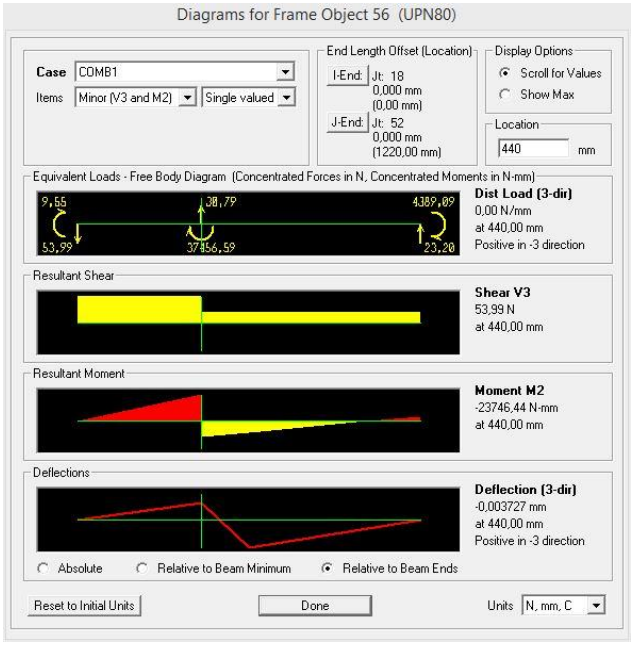


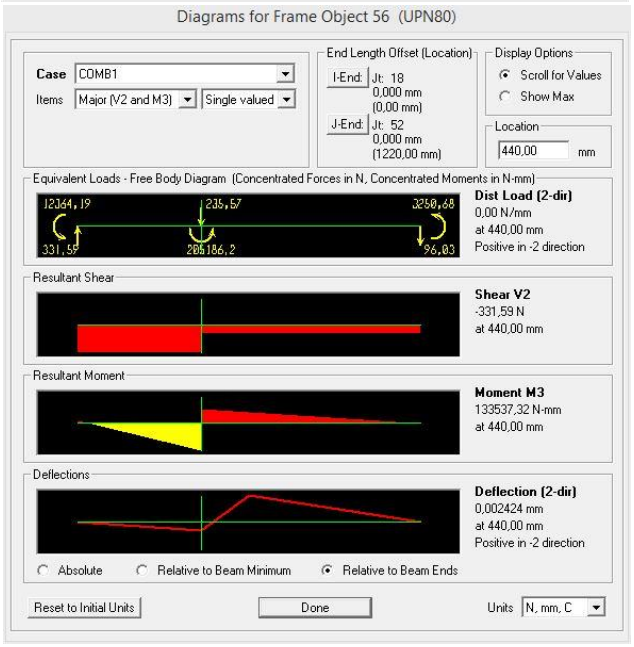


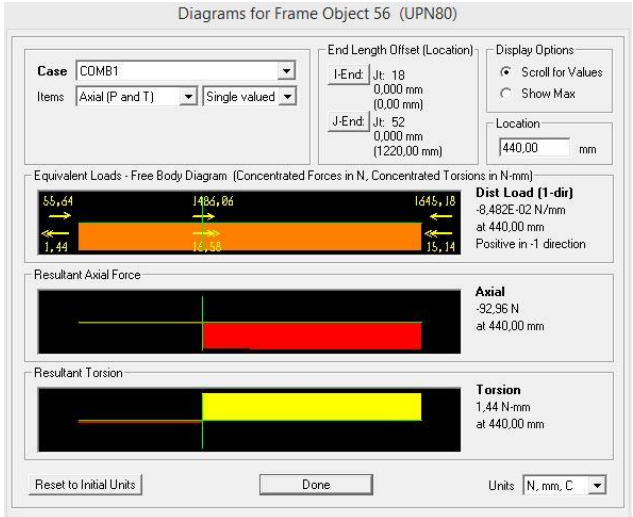


Barre n° = 2’

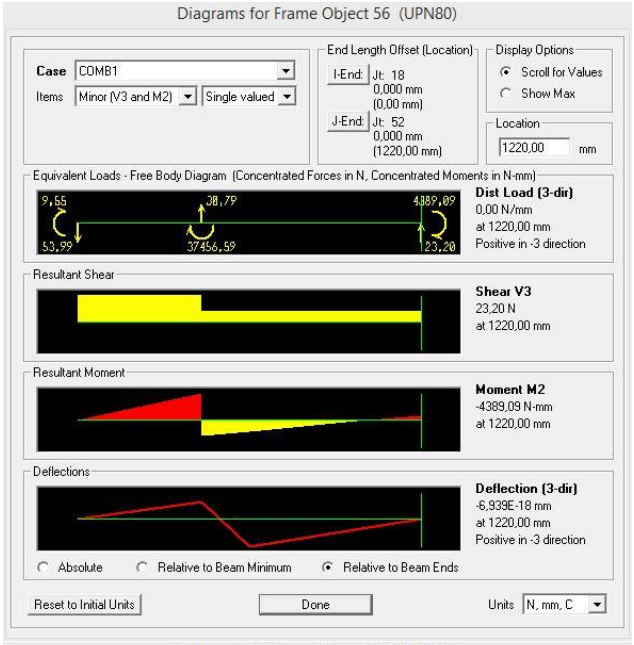
x = 440 mm :

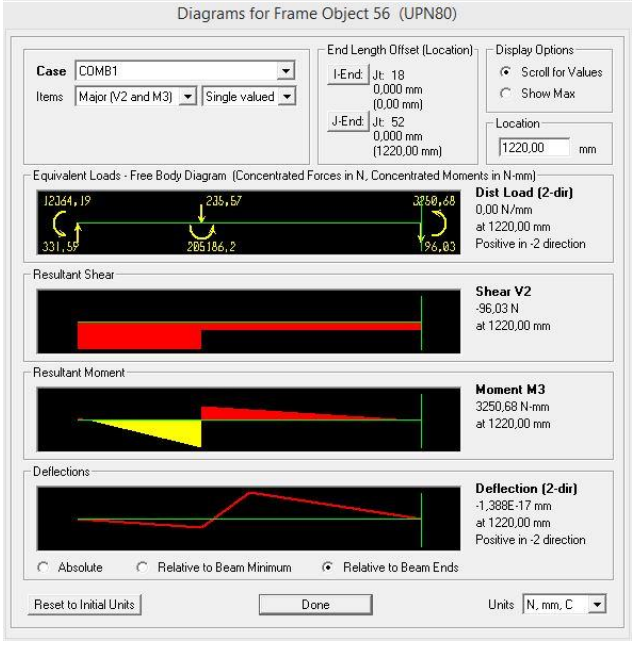


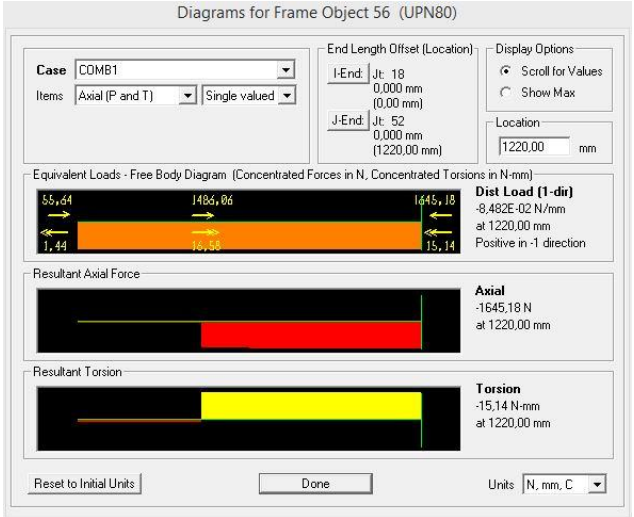




x = 1220 mm :

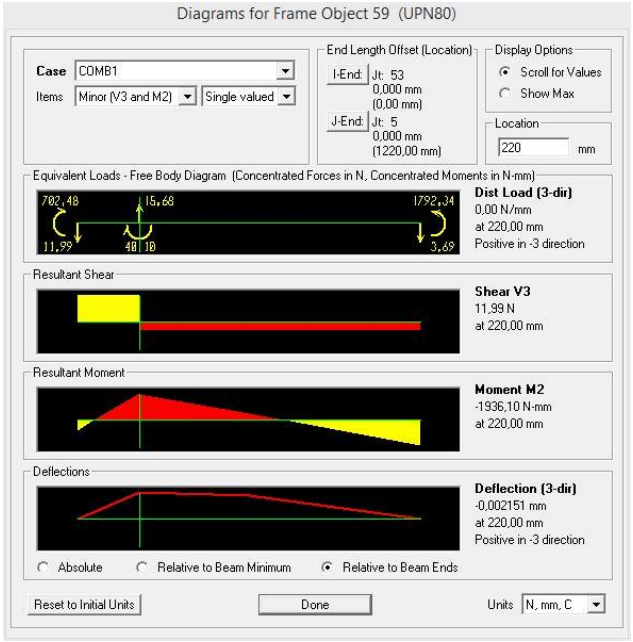


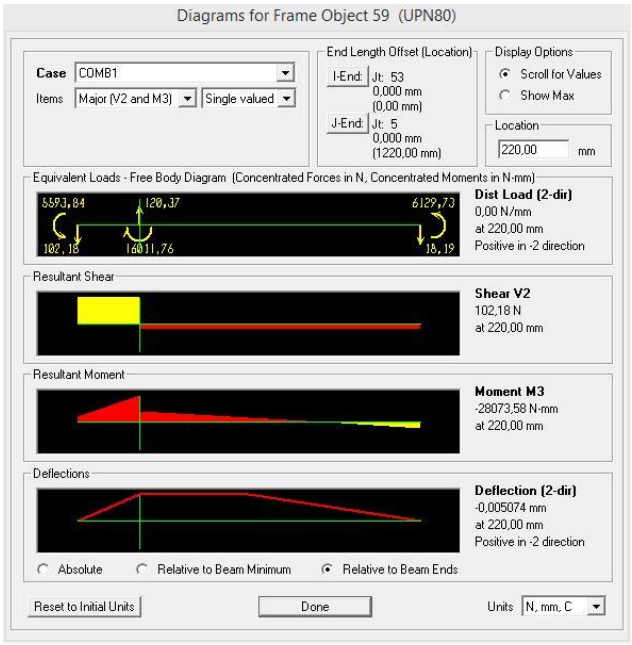


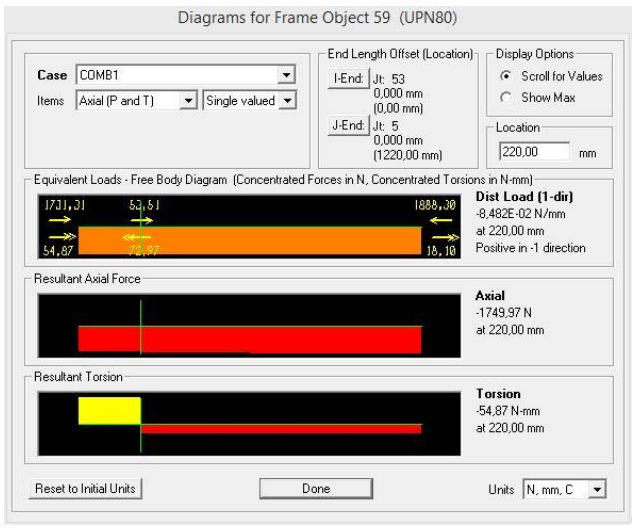


Barre n° = 3

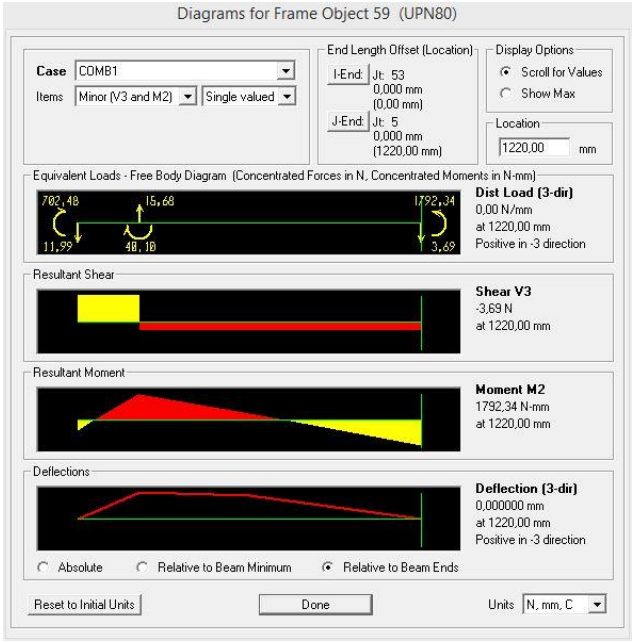
x = 220 mm :

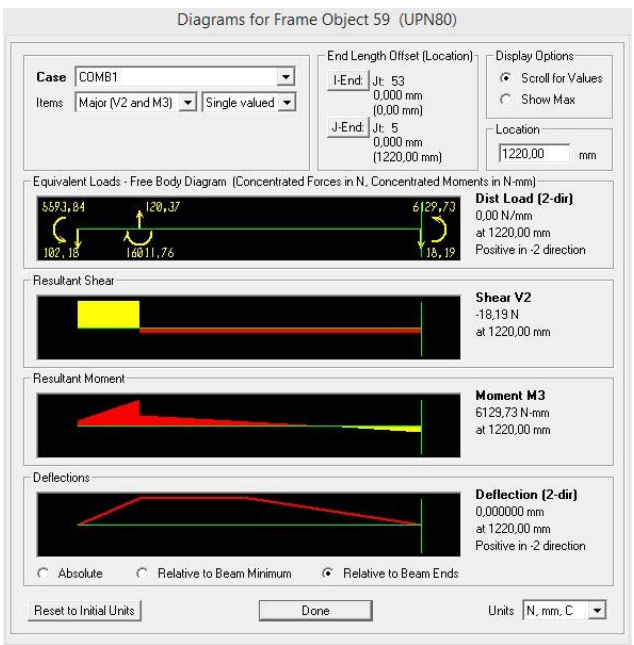


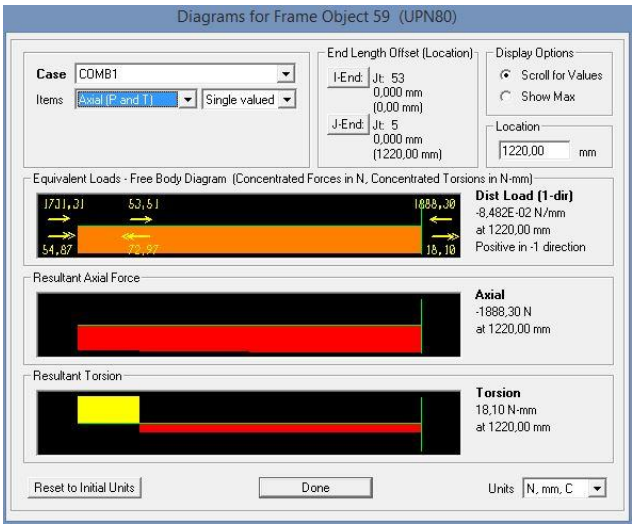




x = 1220 mm :

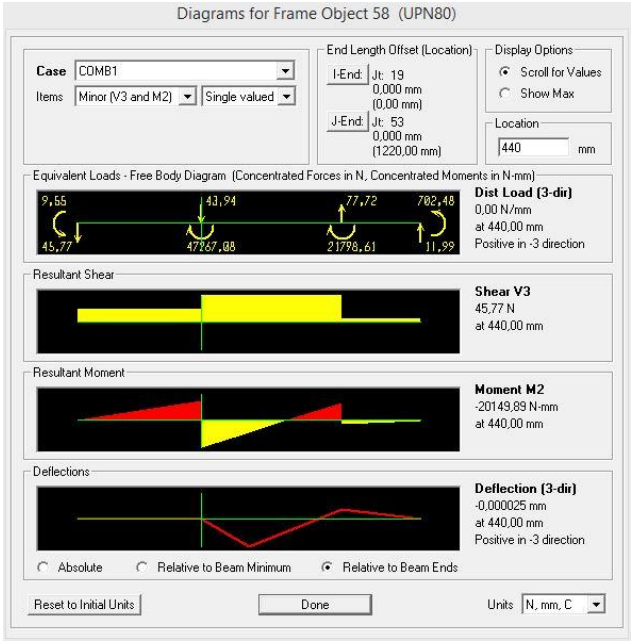


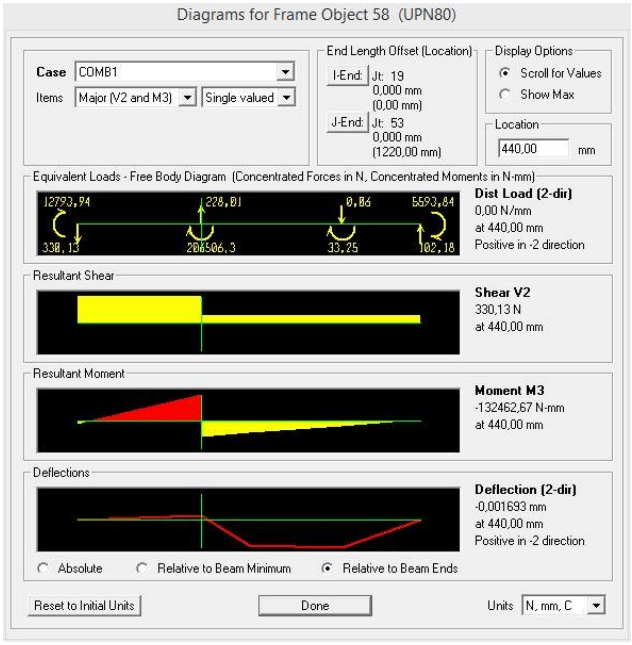


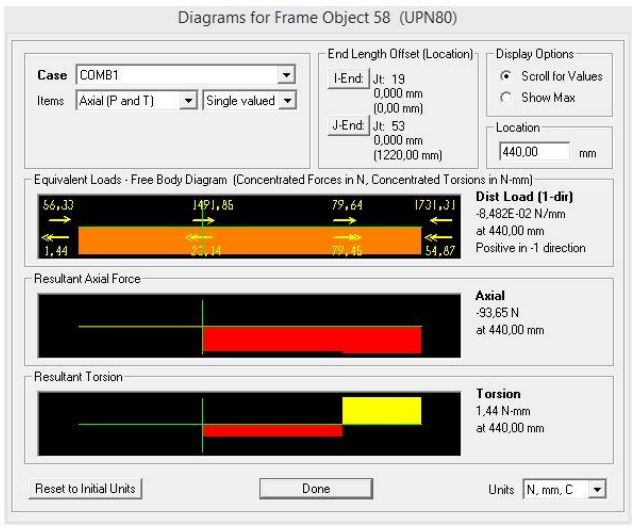


Barre n° = 3’

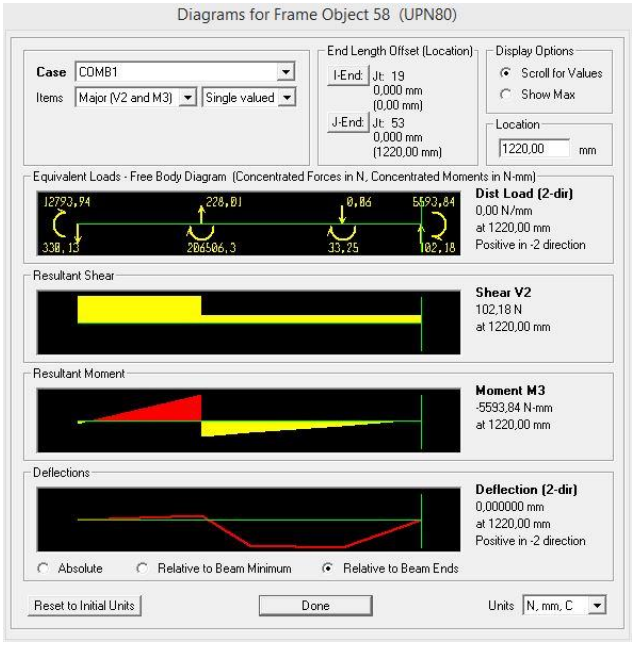
x = 440 mm :

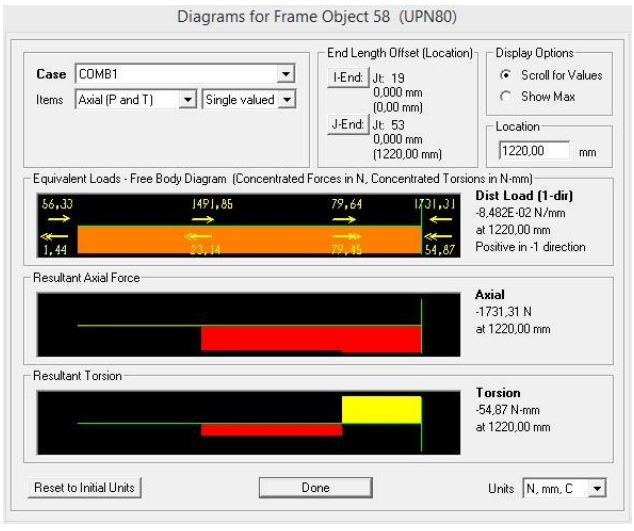






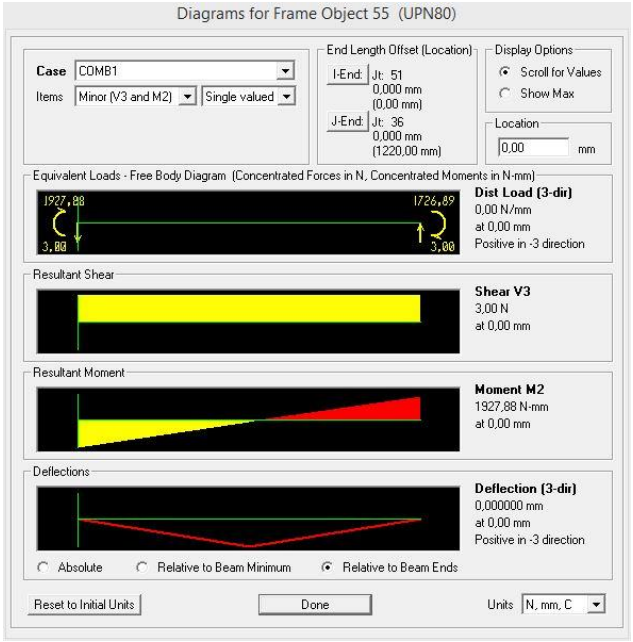
x = 1220 mm :

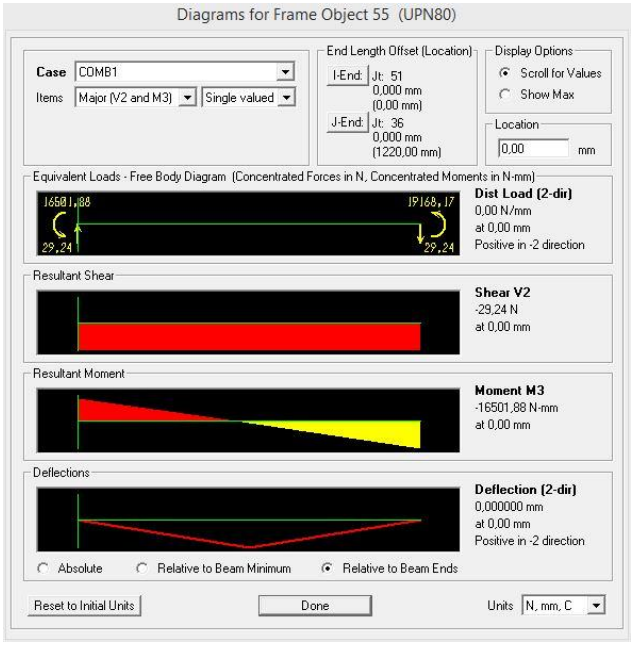


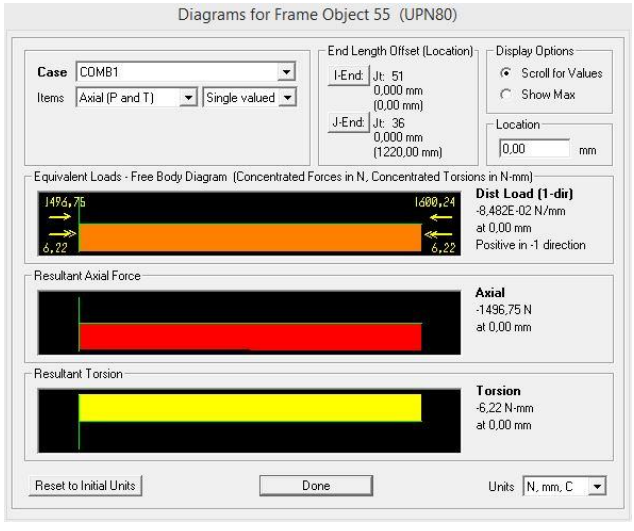


Barre n° = 4

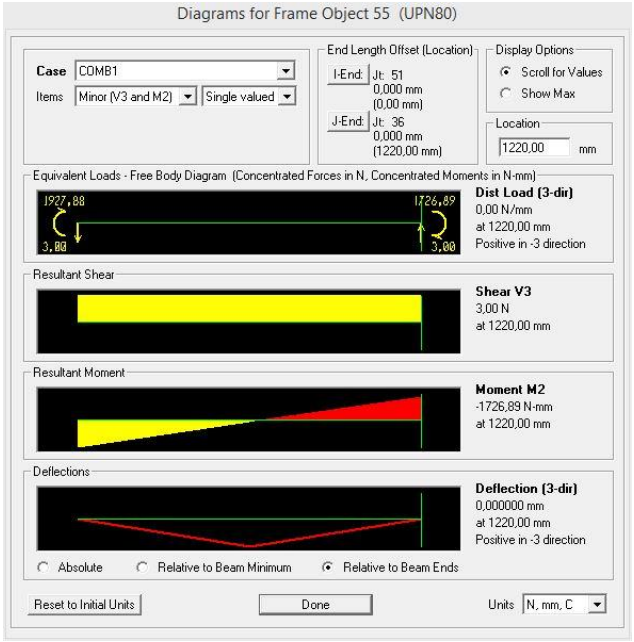
x = 0 mm :

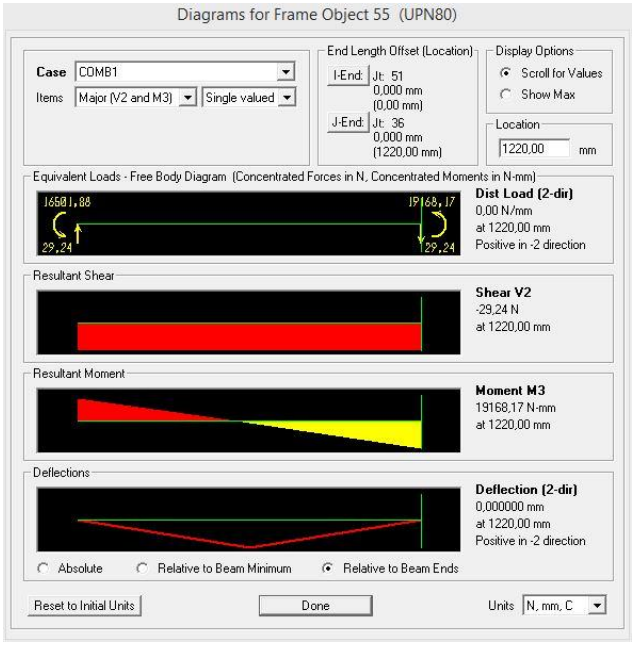


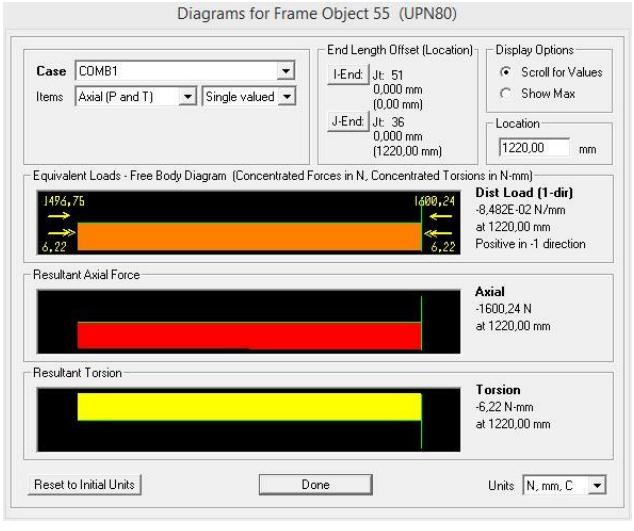




x = 1220 mm :

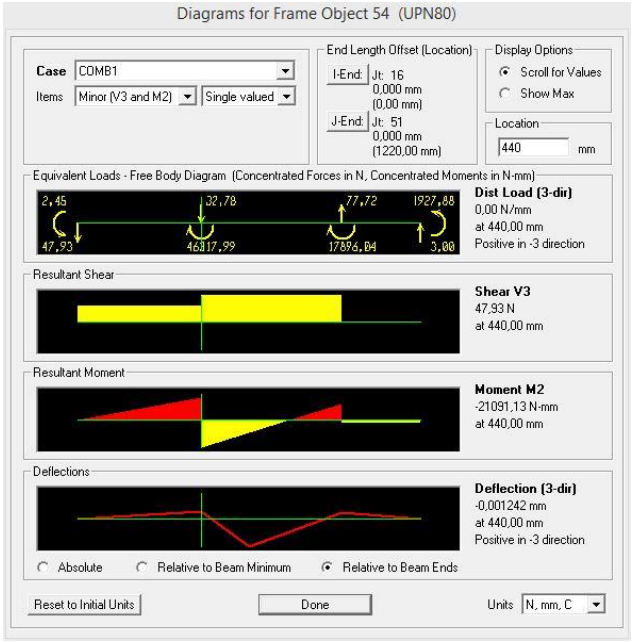


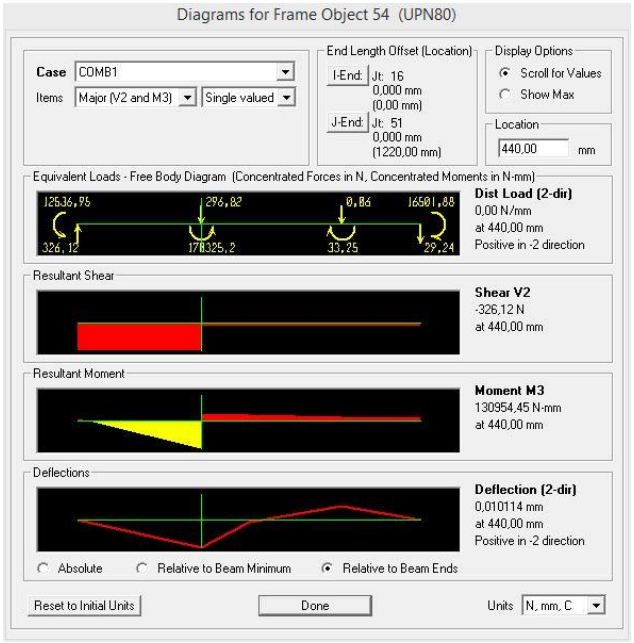


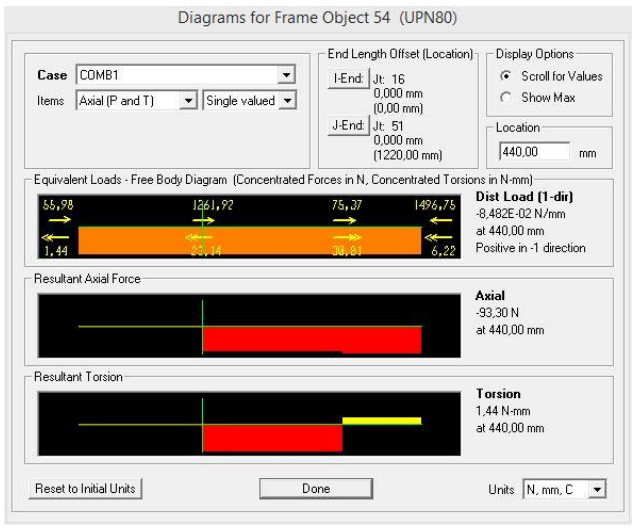


Barre n° = 4’

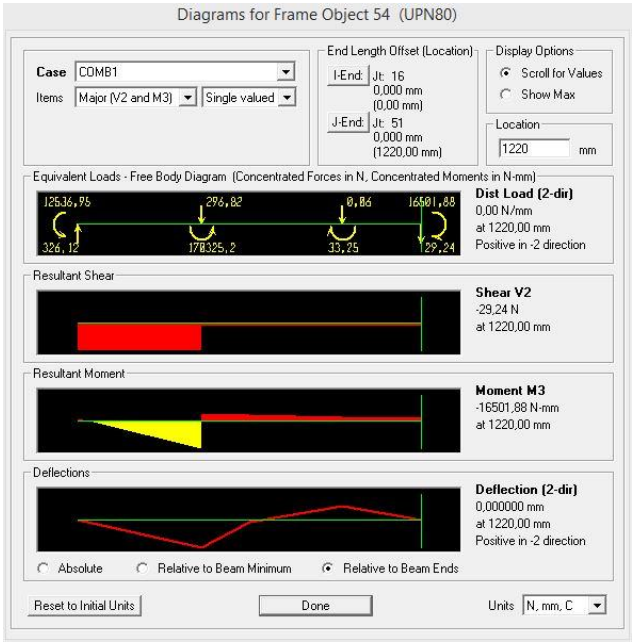
x = 440 mm :

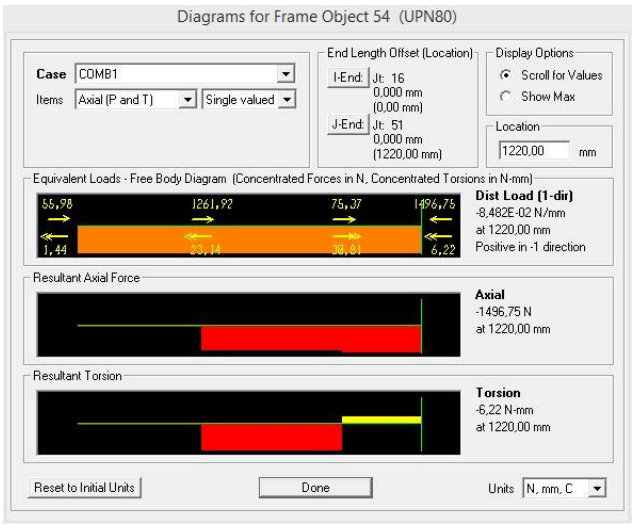






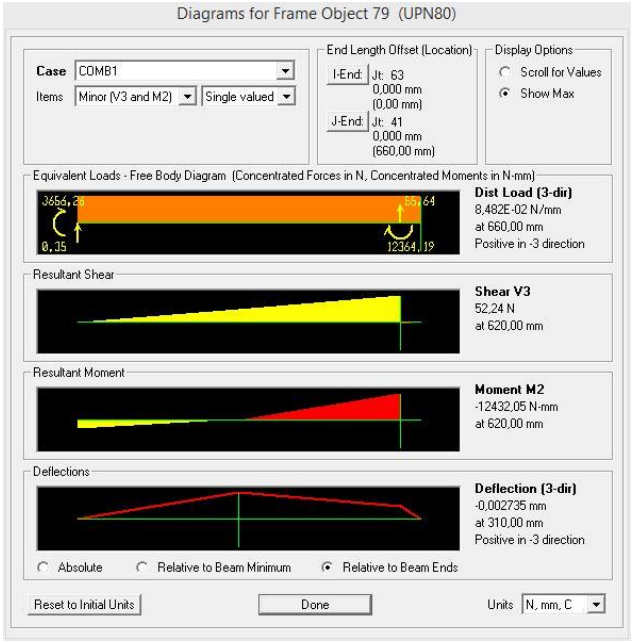
x = 1220 mm :

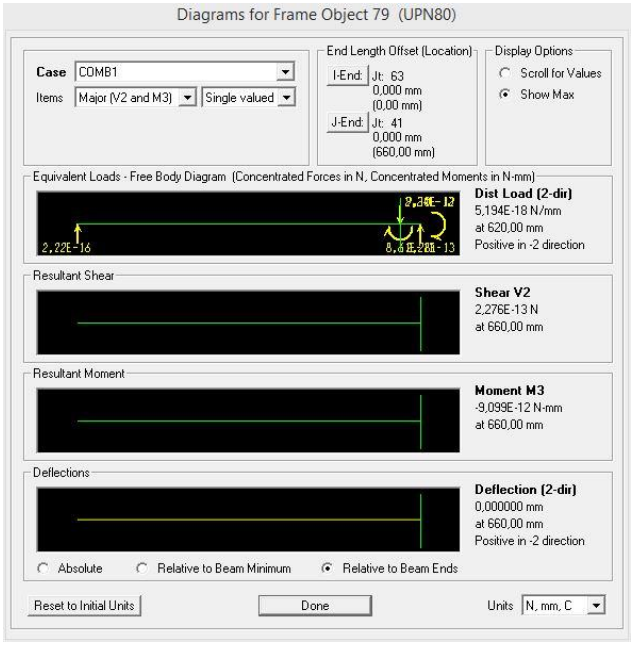


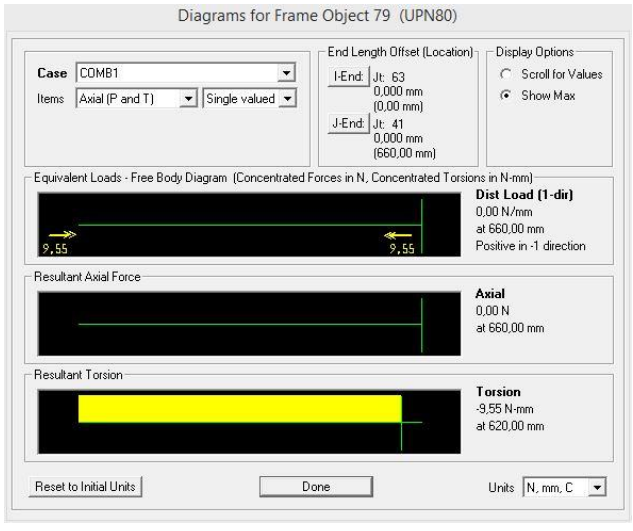


Barre n° = 5

x = 620 mm :

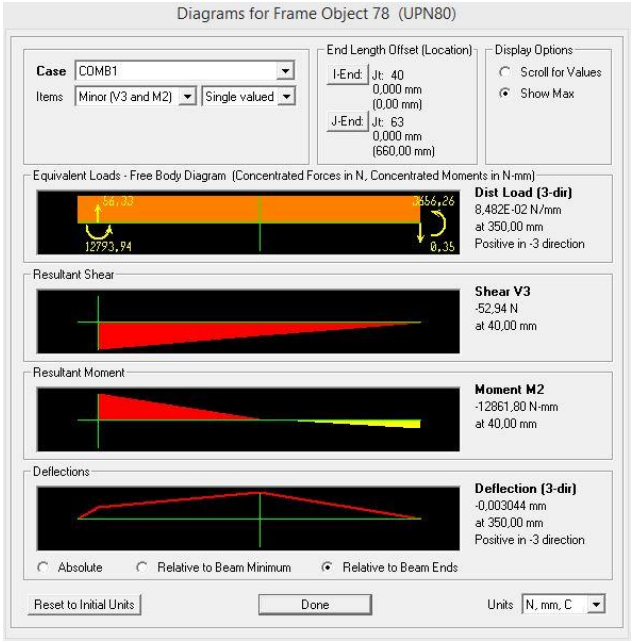


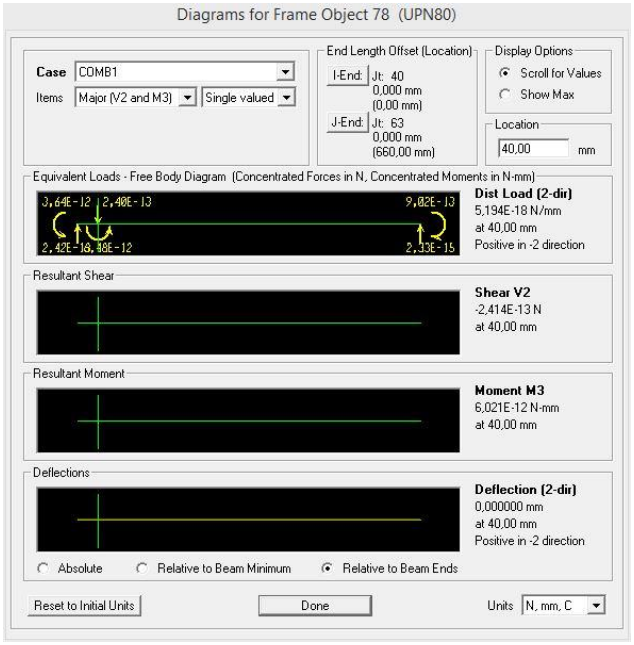


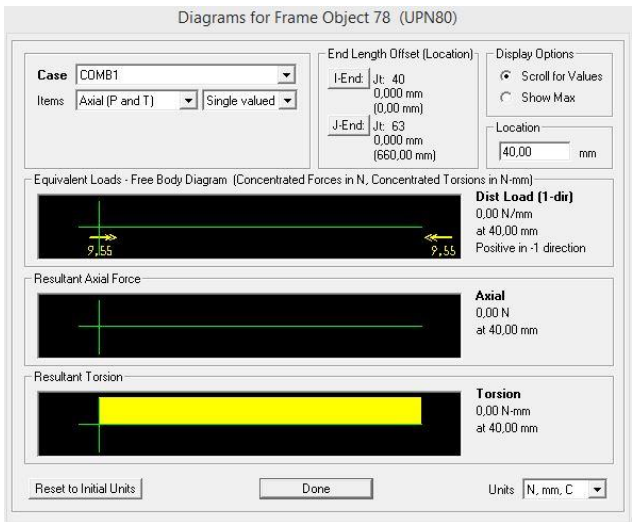


Barre n° = 5’

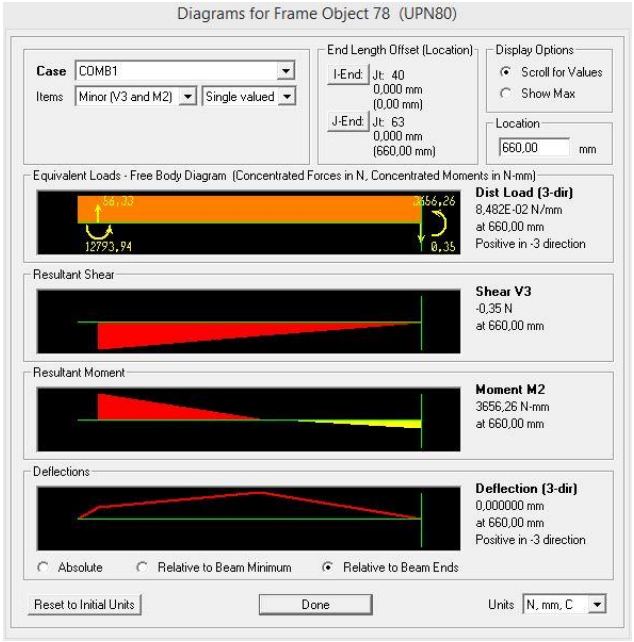
x = 40 mm :

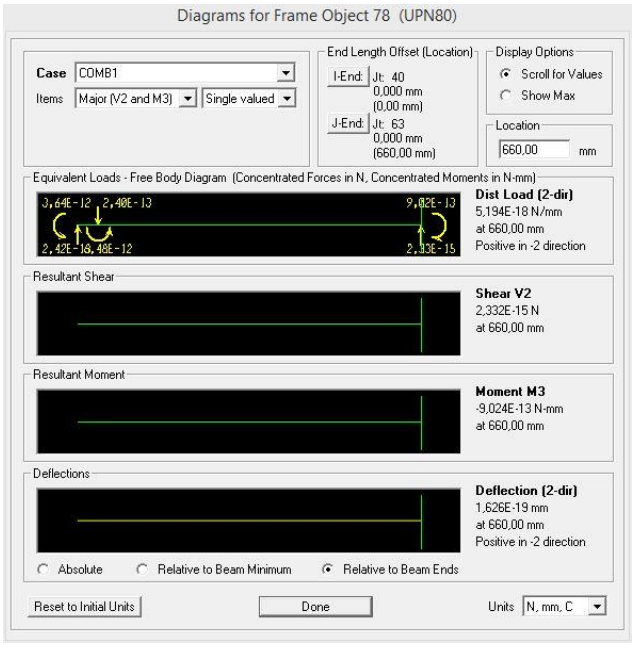


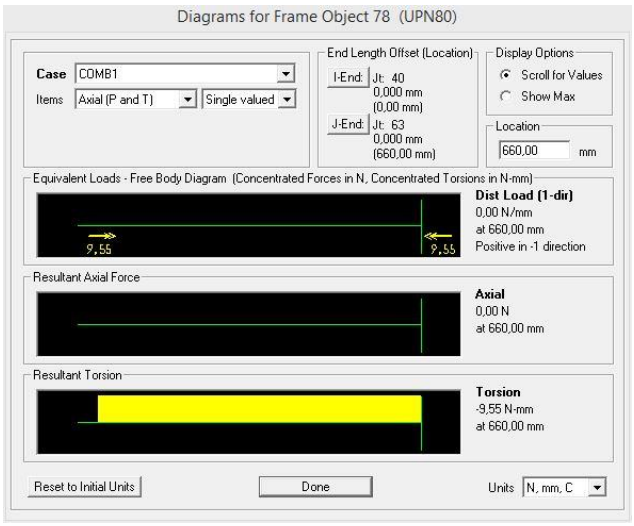




x = 660 mm :

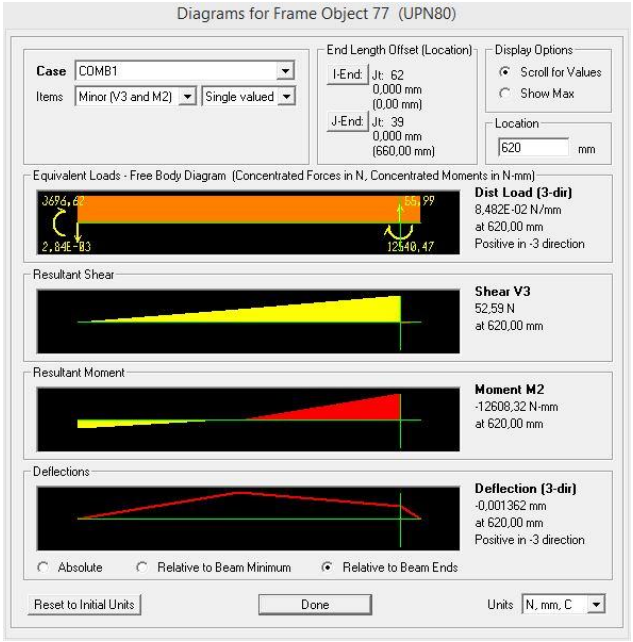


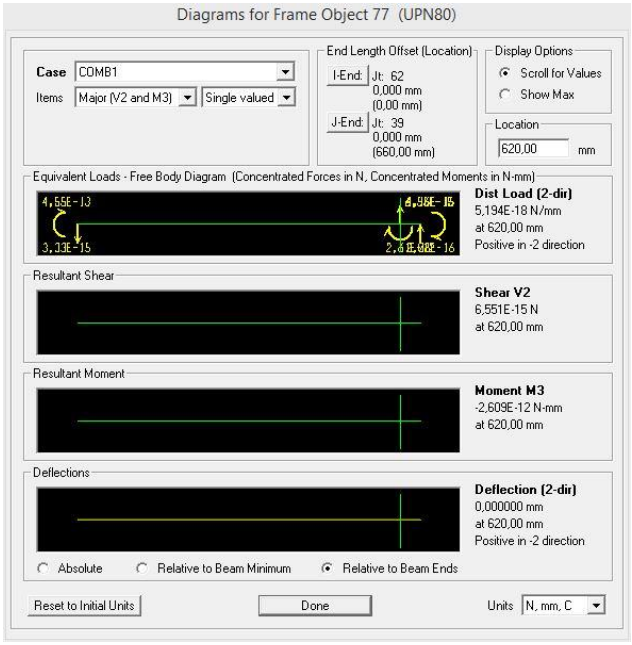


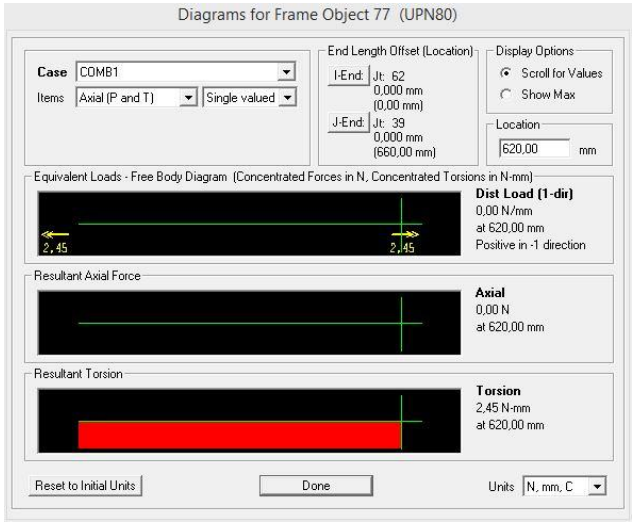


Barre n° = 6

x = 0 mm :

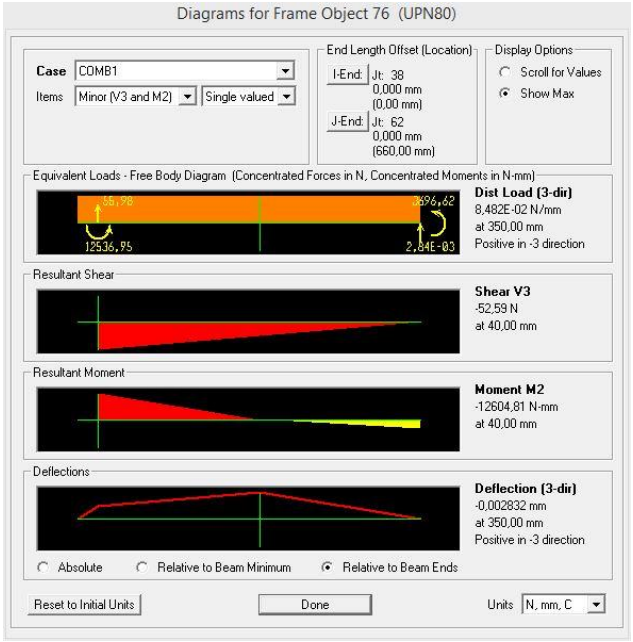


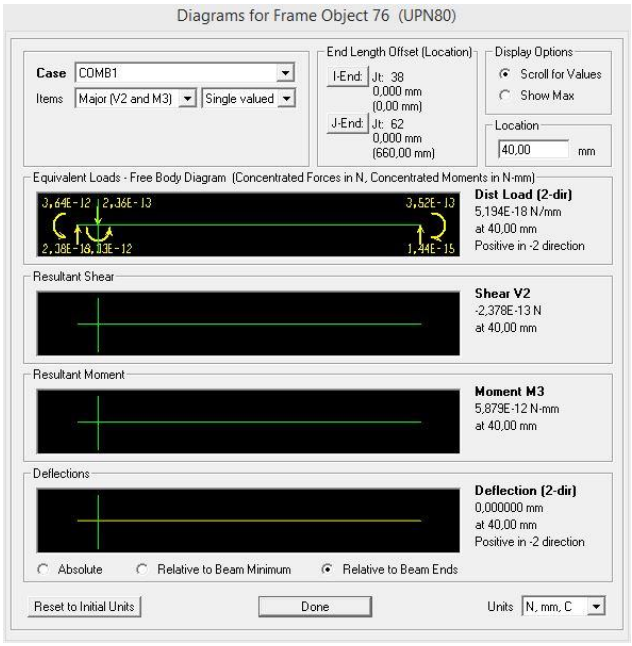


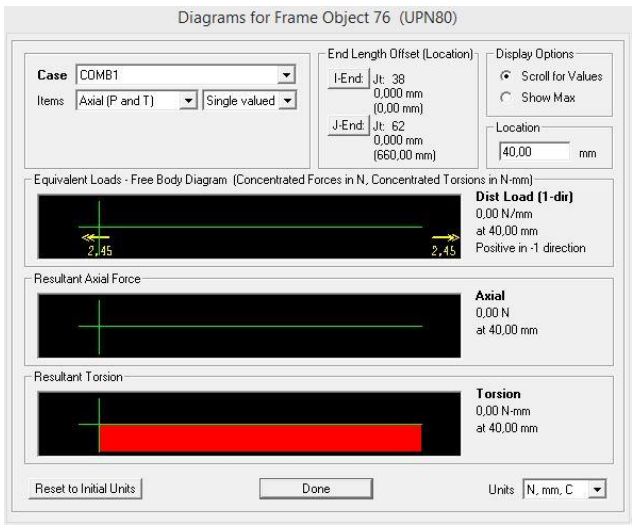


Barre n° = 6’

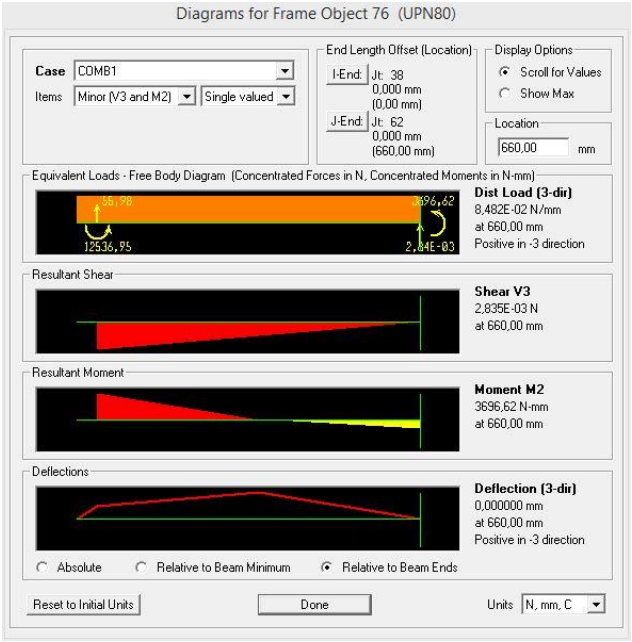
x = 40 mm :

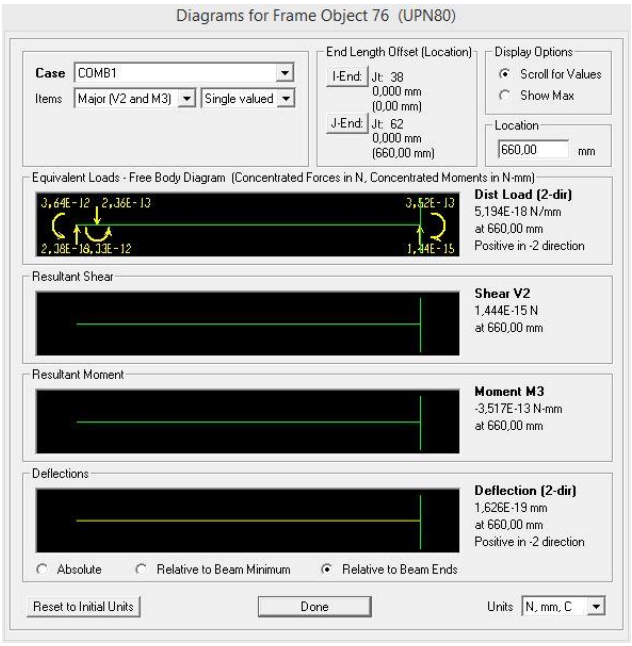


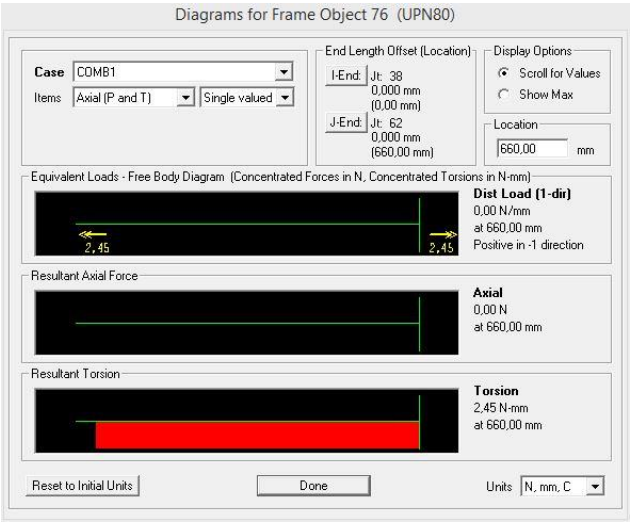




x = 660 mm :

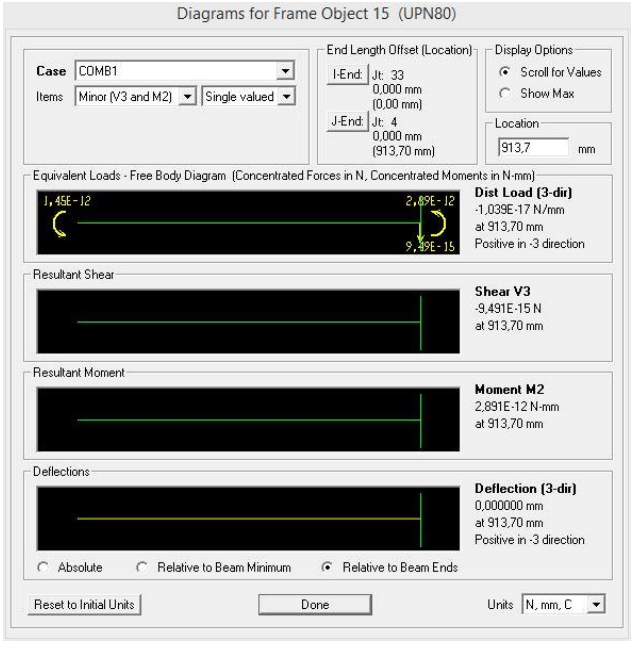


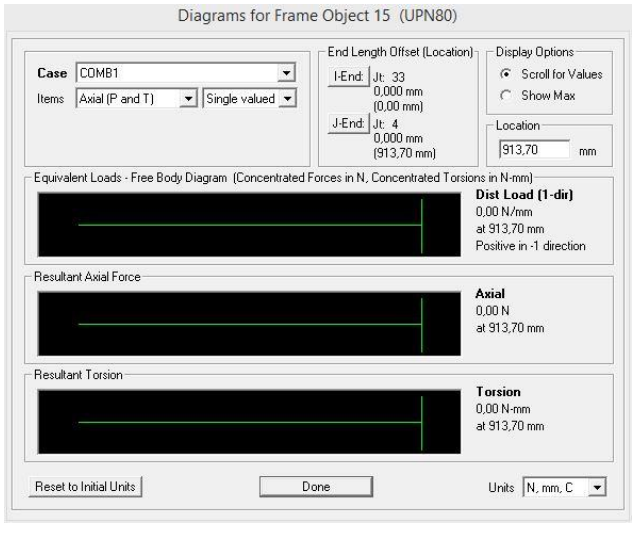




Barre n° = 7

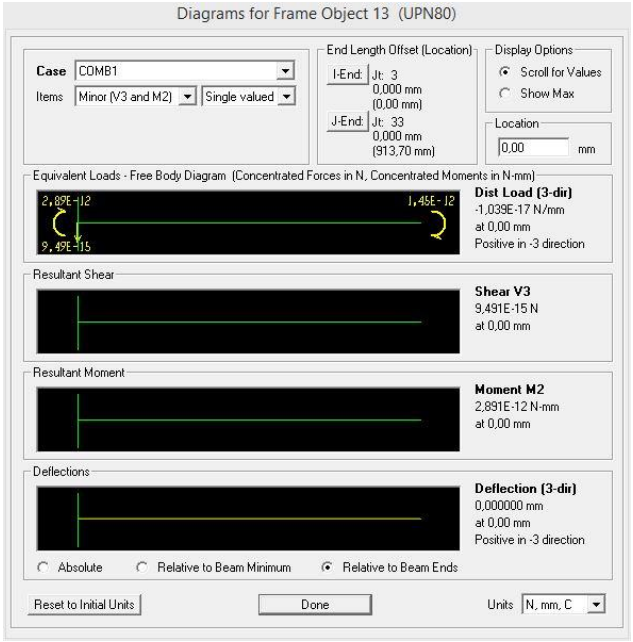
x = 913.70 mm :

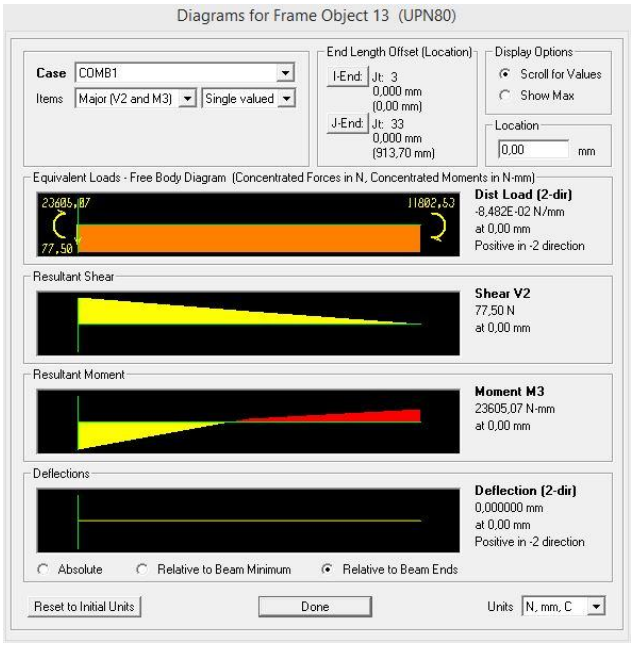


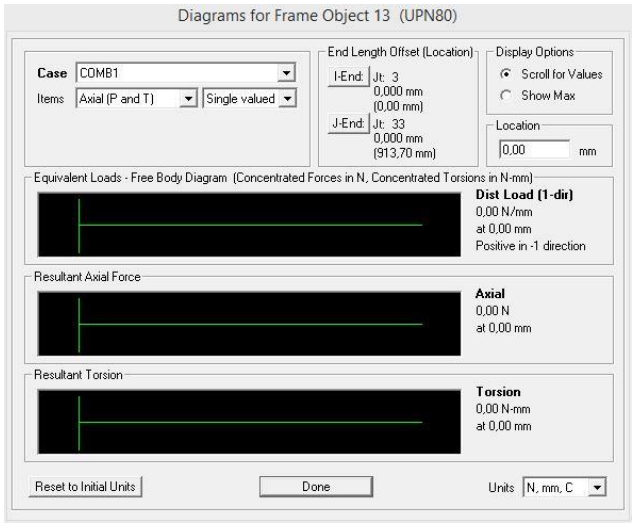


Barre n° = 7’

x = 0 mm :

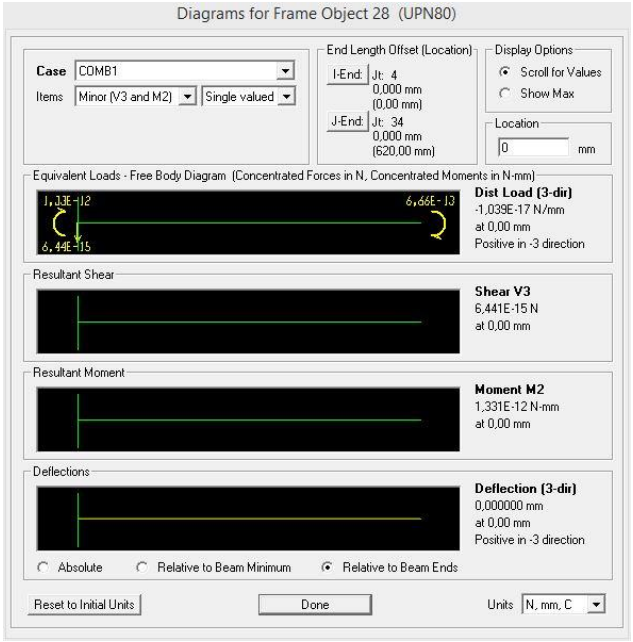


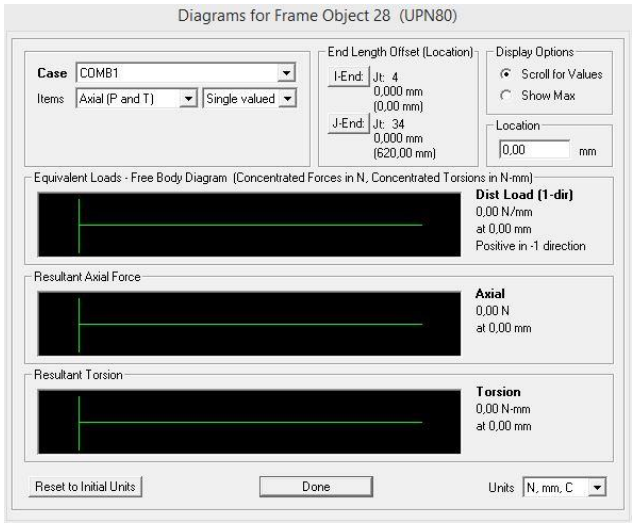




Barre n° = 8

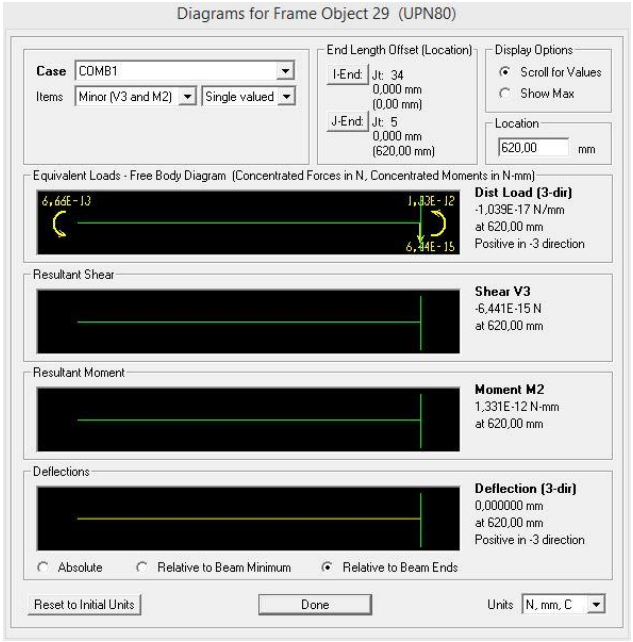
x = 0 mm :

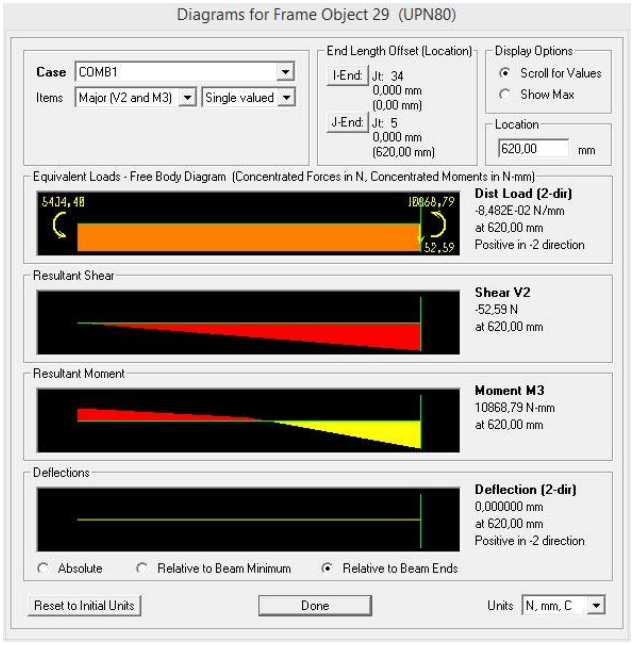


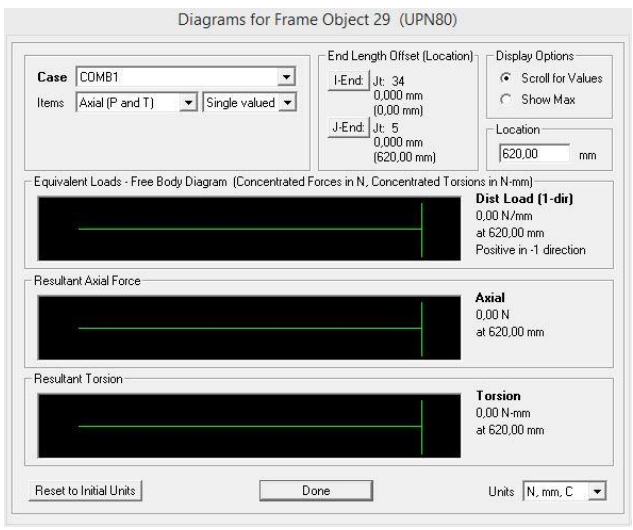


Barre n° = 8’

x = 620 mm :

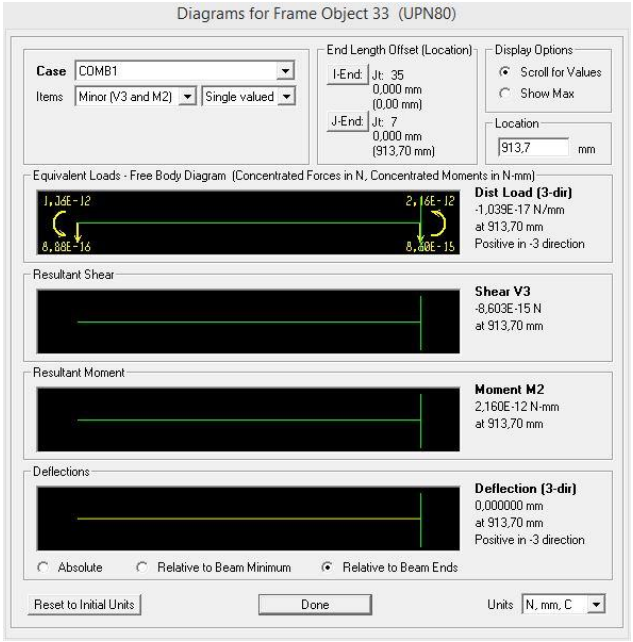


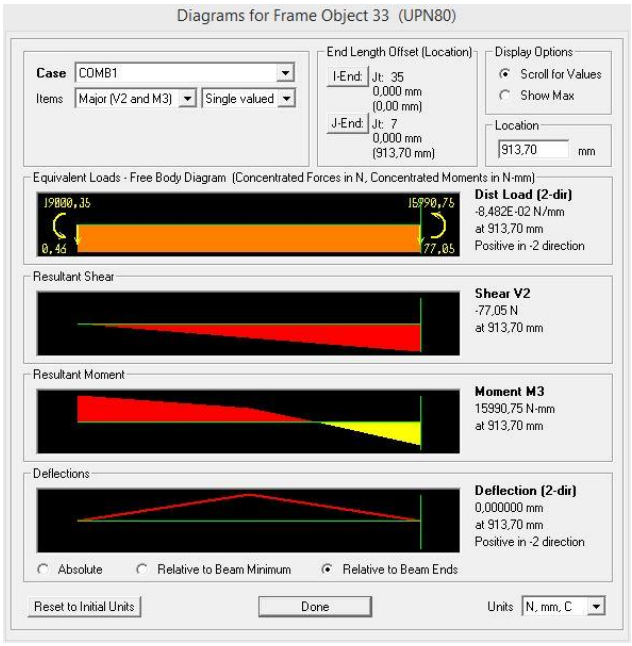


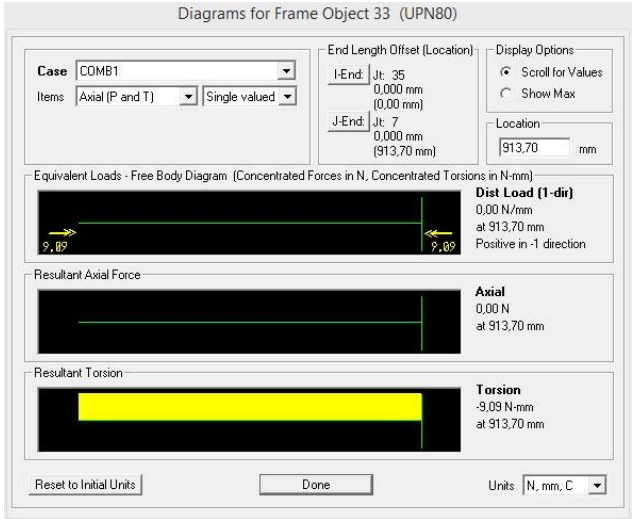


Barre n° = 9

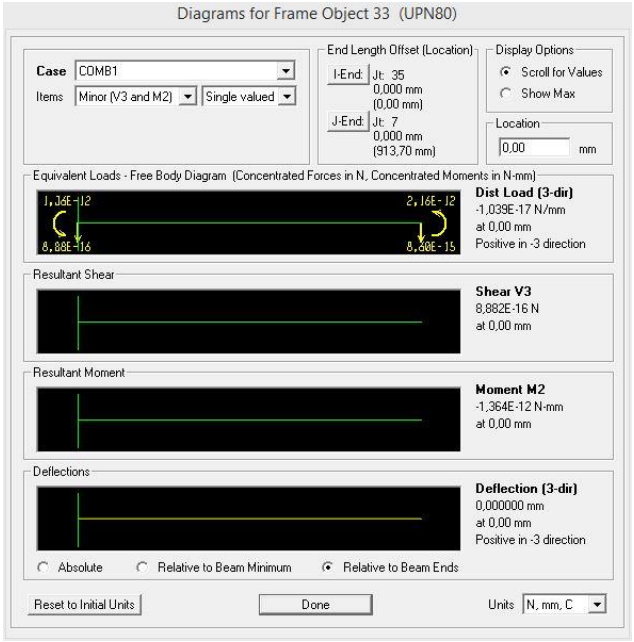
x = 913.7 mm :

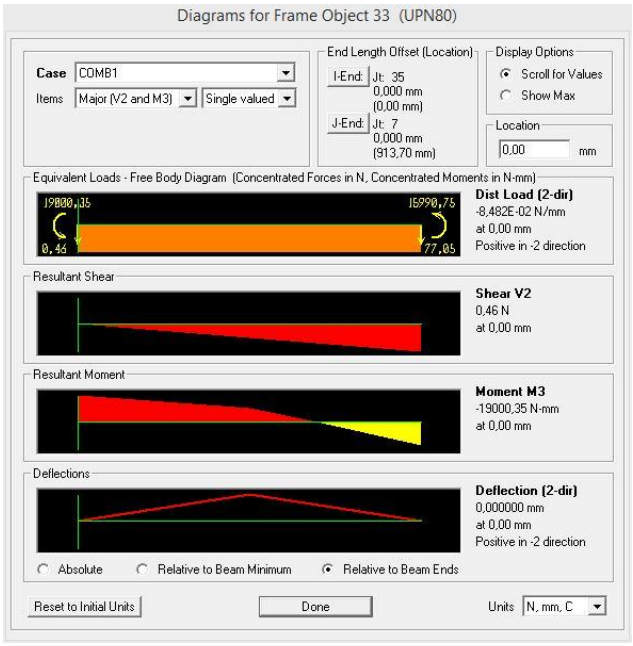


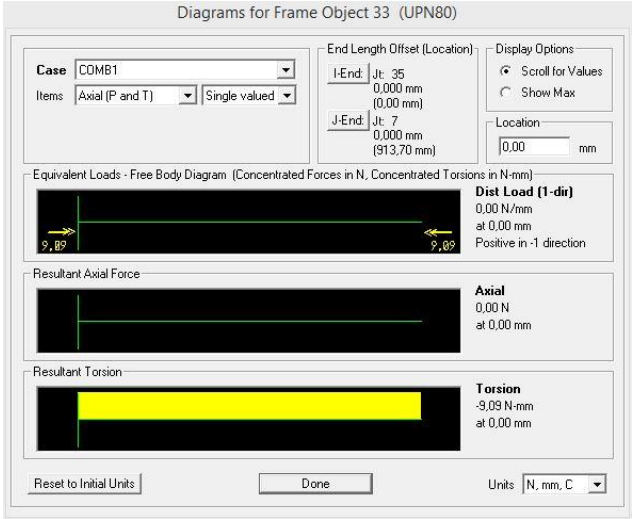




x = 0 mm :

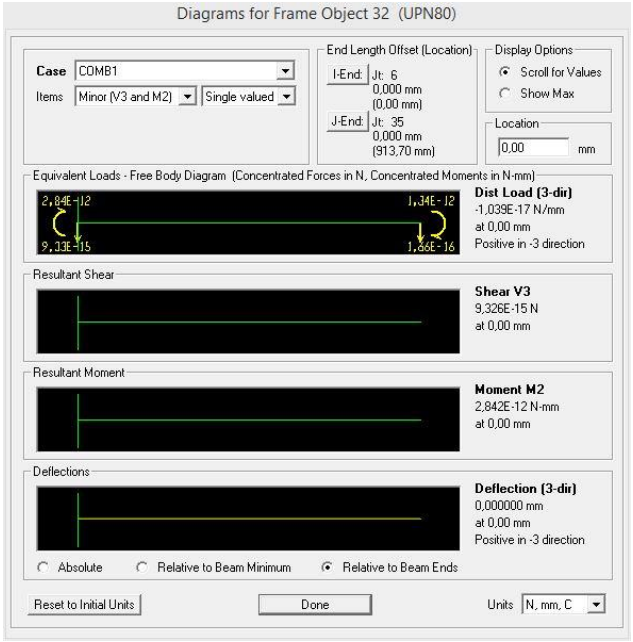


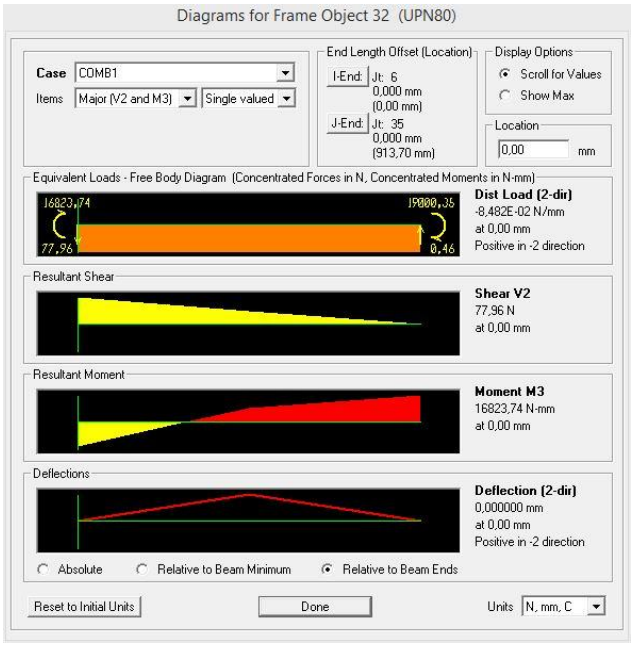


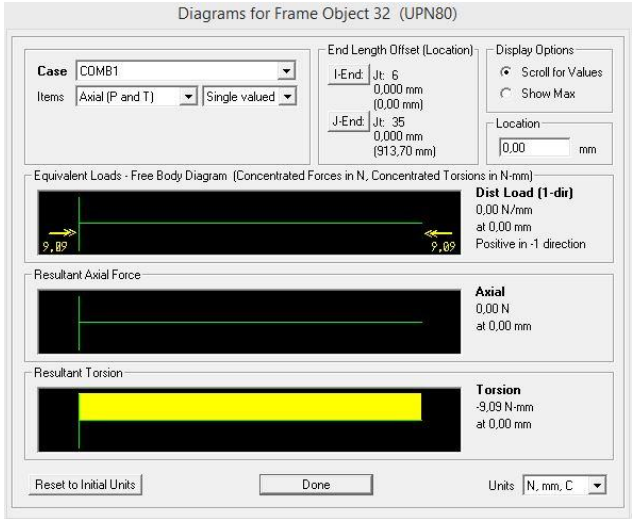


Barre n° = 9’

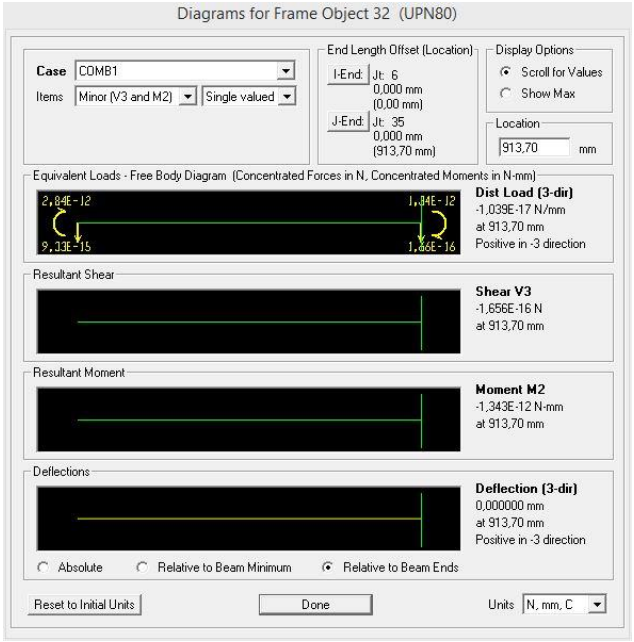
x = 0 mm :

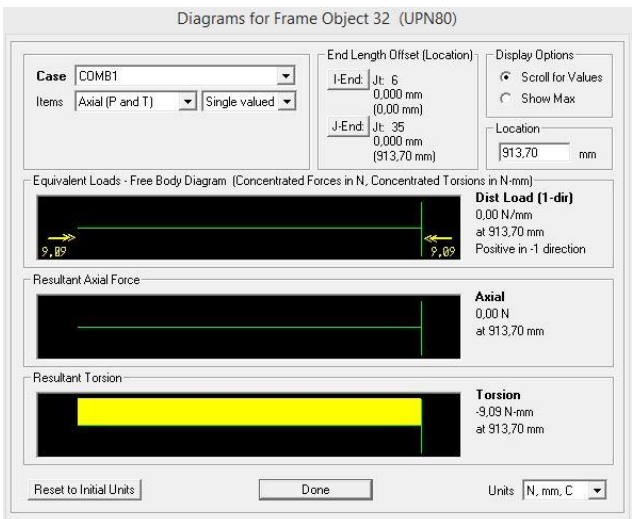






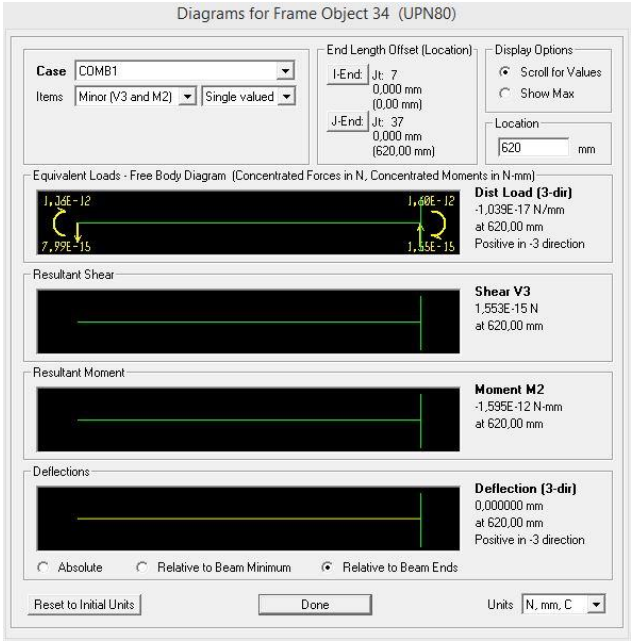
x = 913.7 mm :

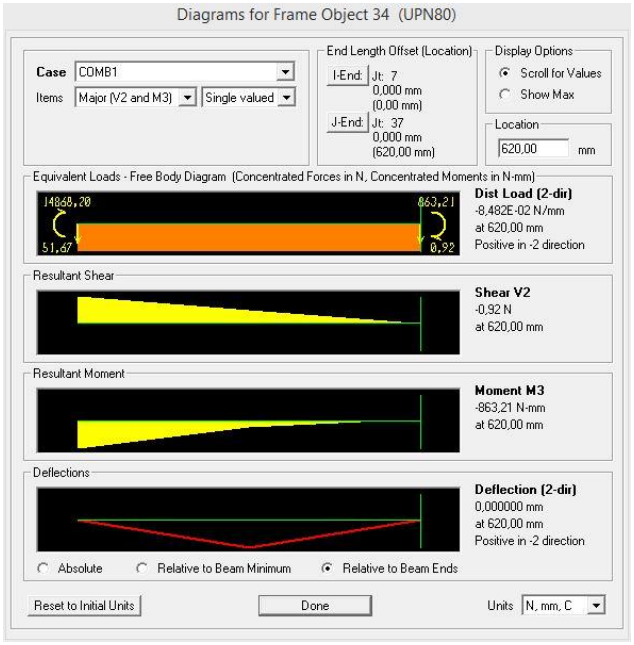


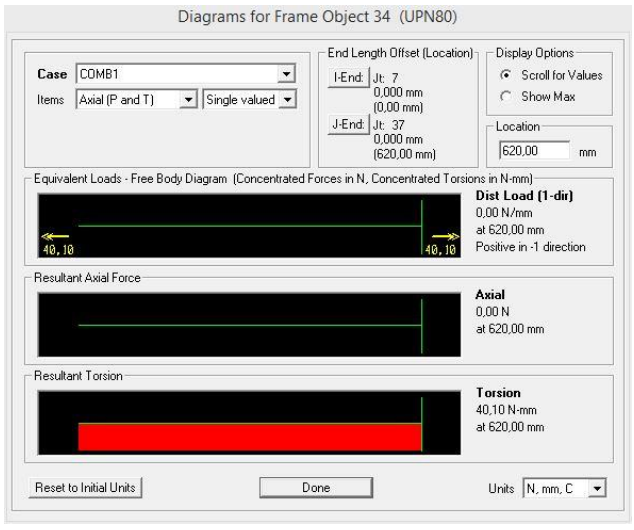


Barre n° = 10

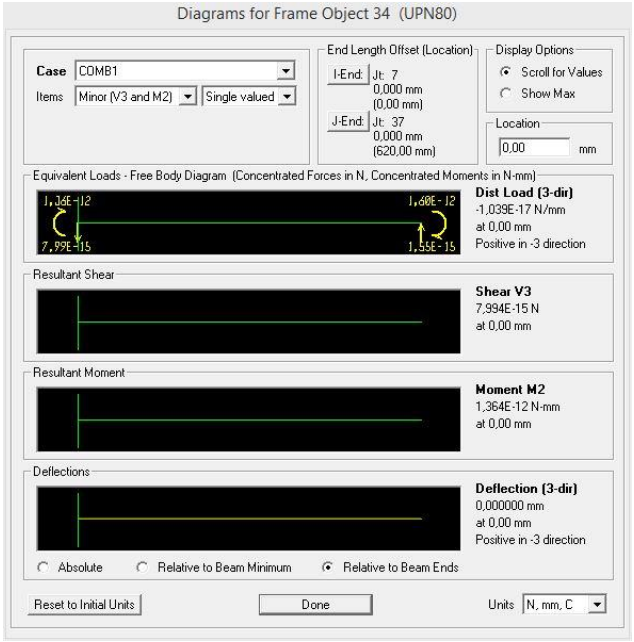
x = 620 mm :

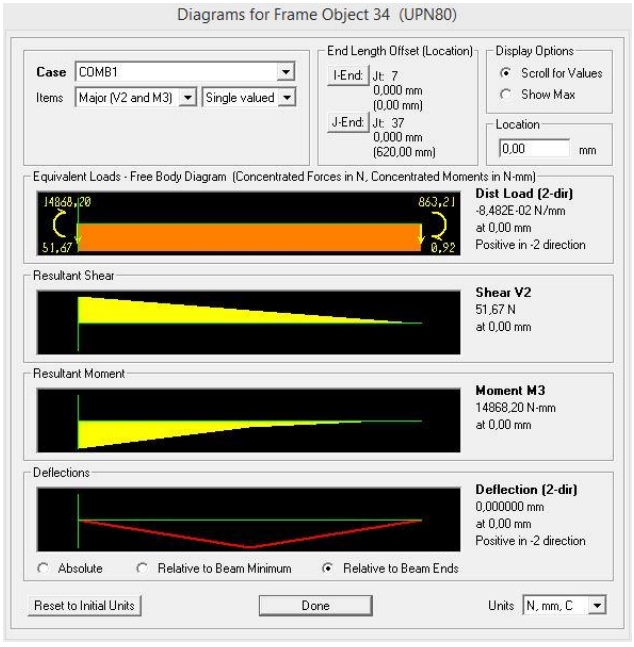


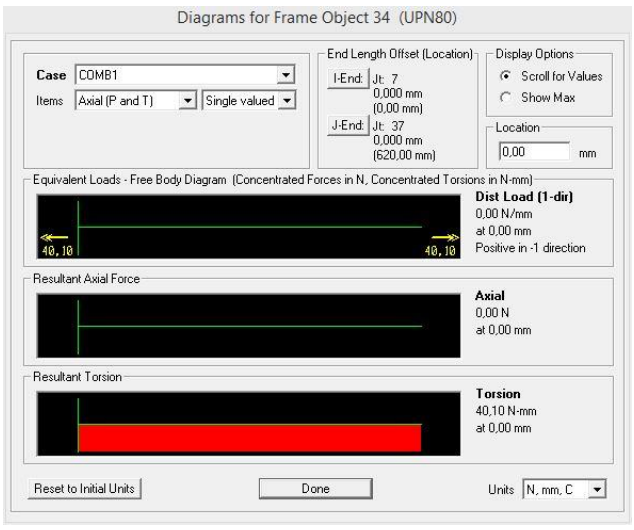




x = 0 mm :

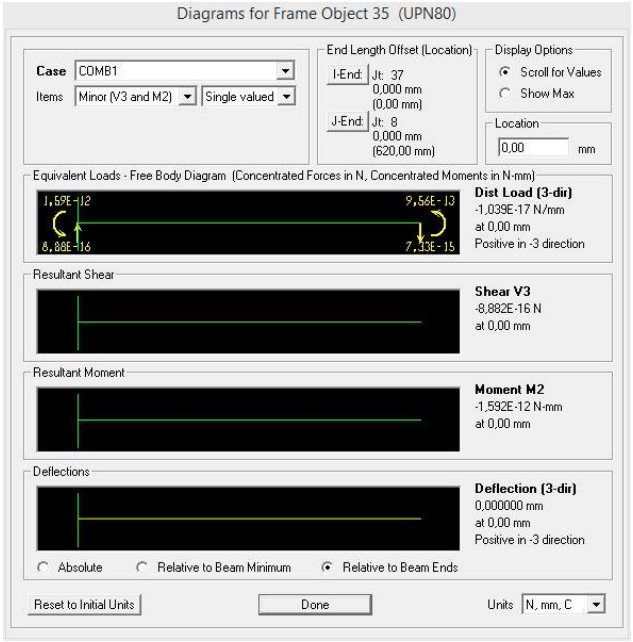


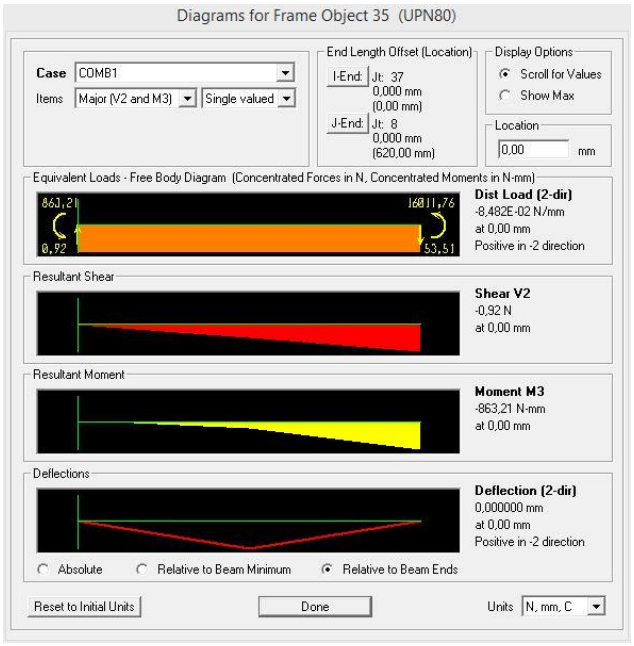


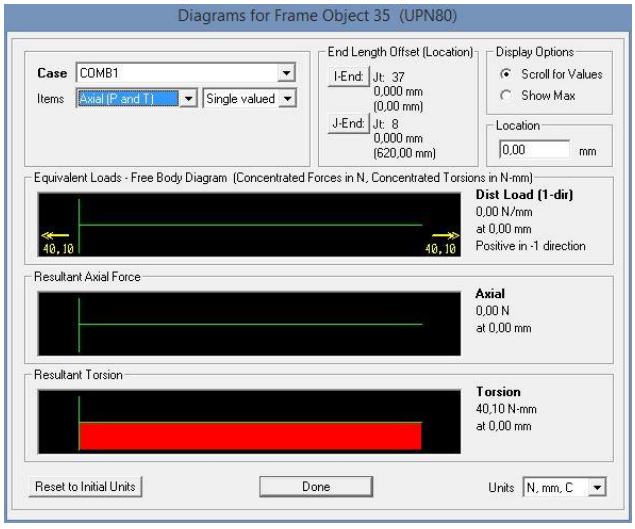


Barre n° = 10’

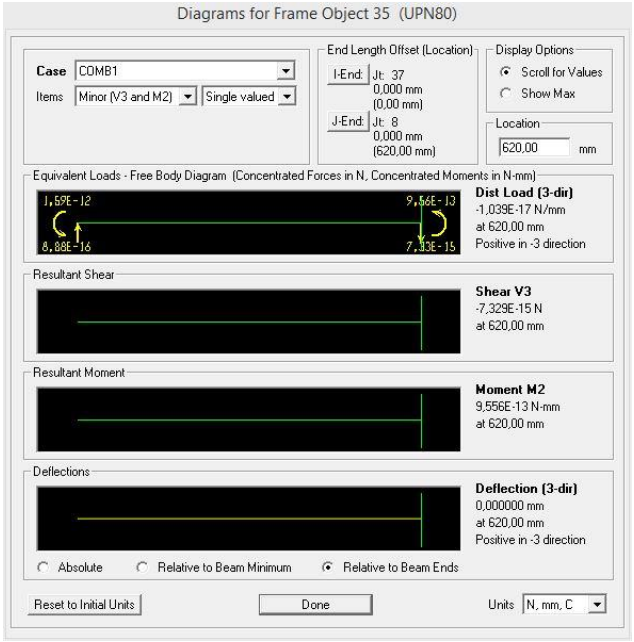
x = 440 mm :

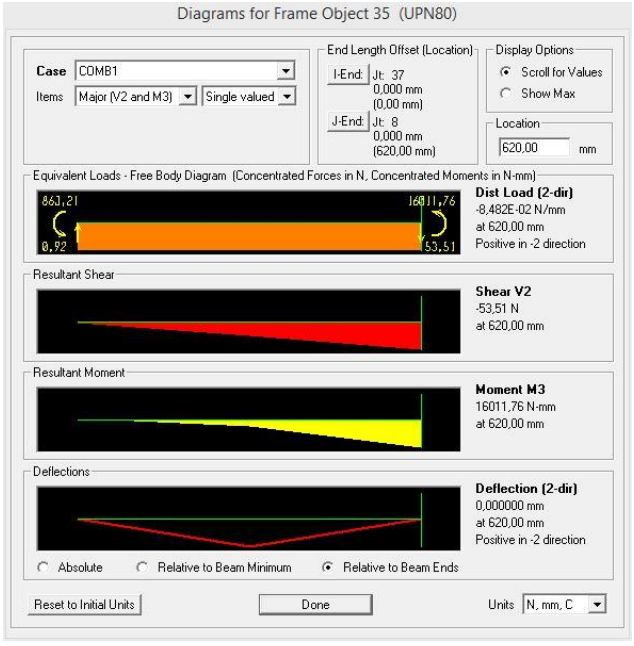


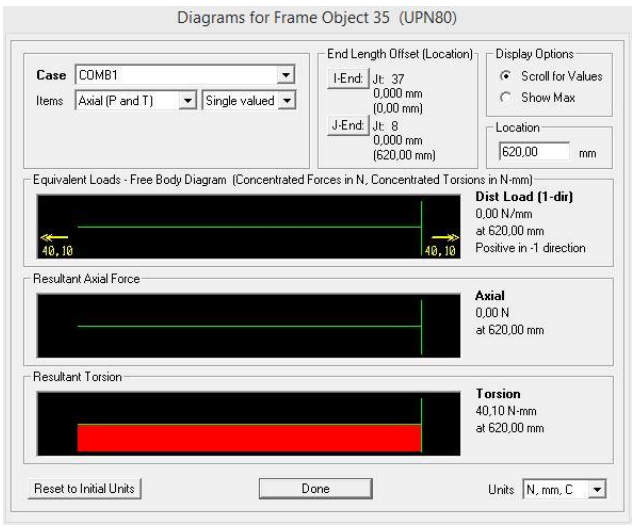




x = 1220 mm :

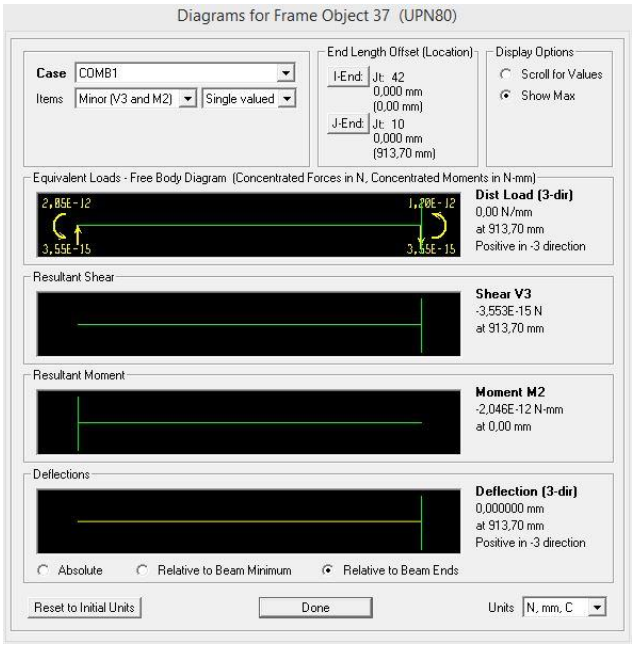


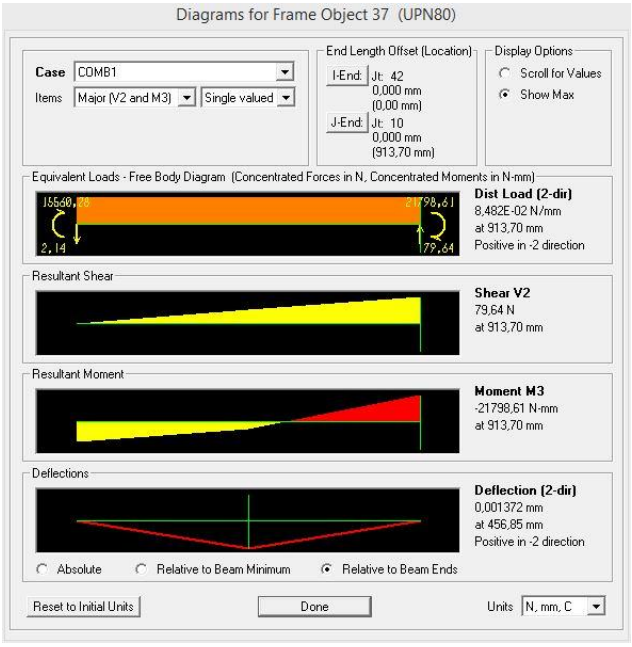


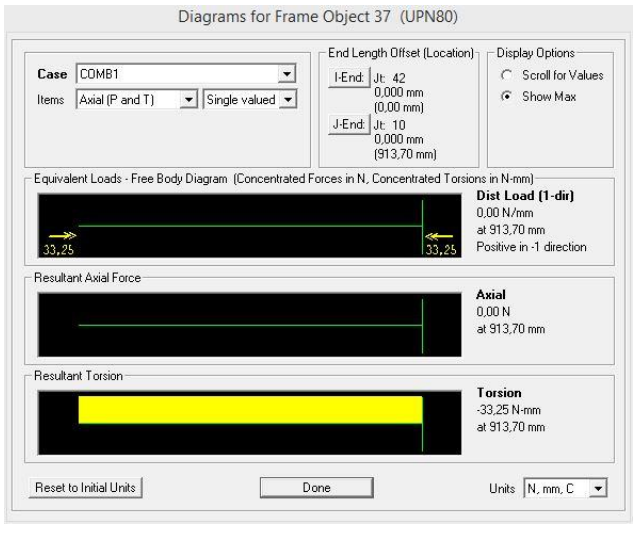


Barre n° = 11

x = 913.70 mm :

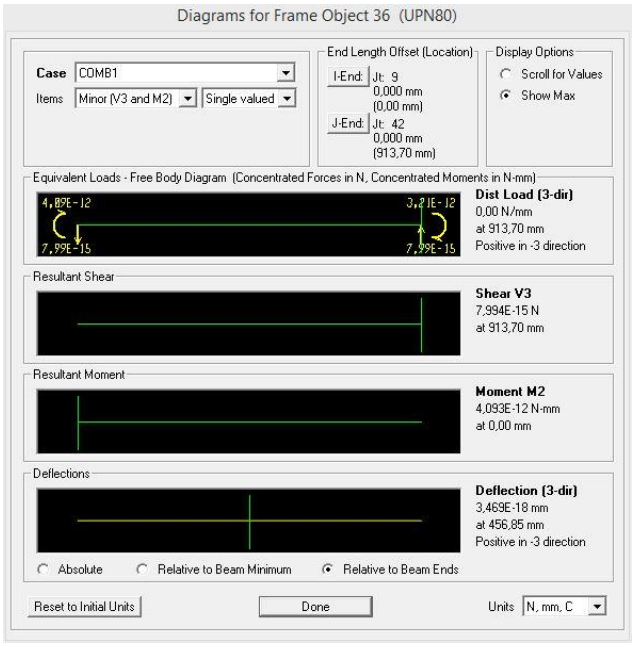


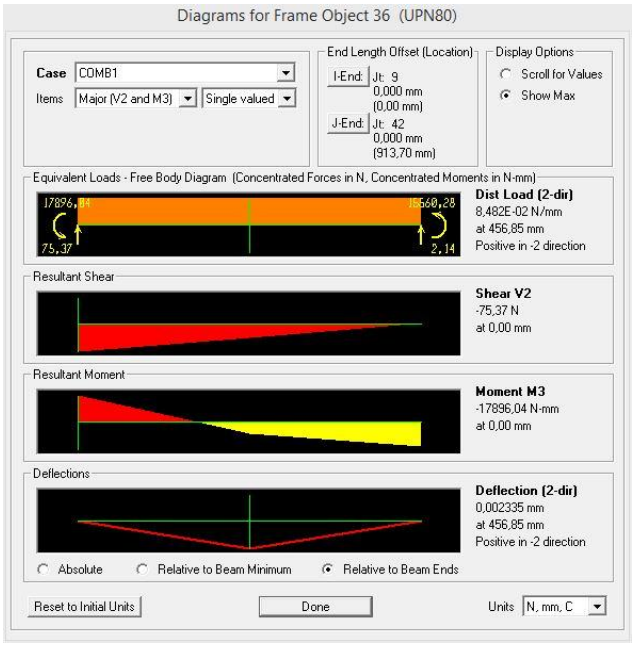


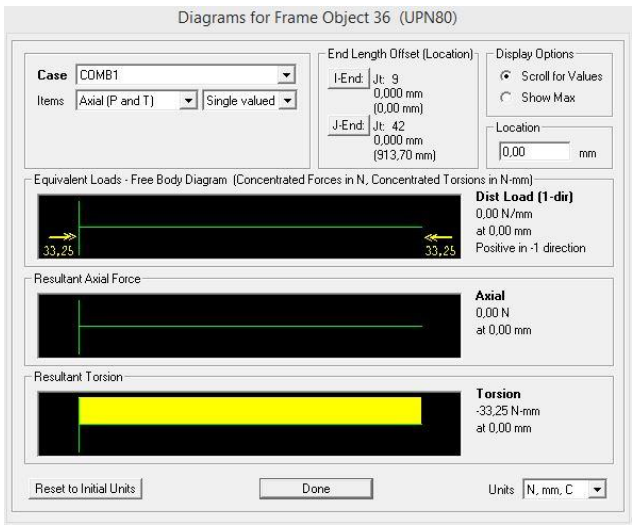


Barre n° = 11’

x = 0 mm :

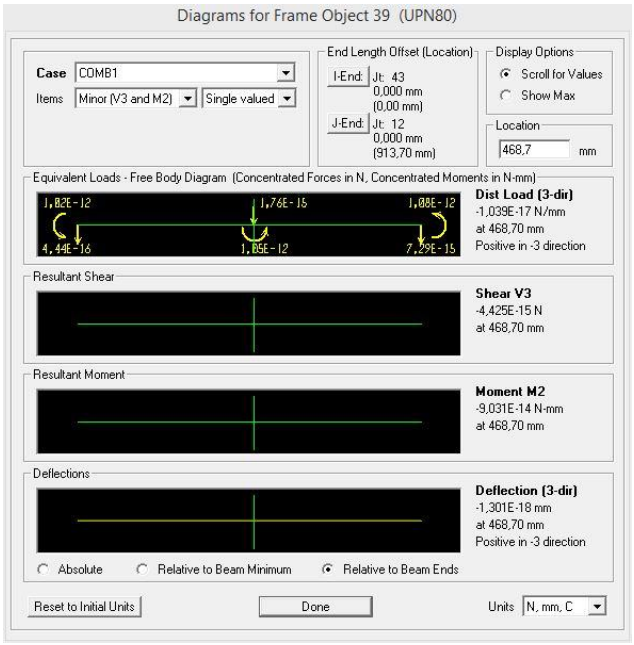


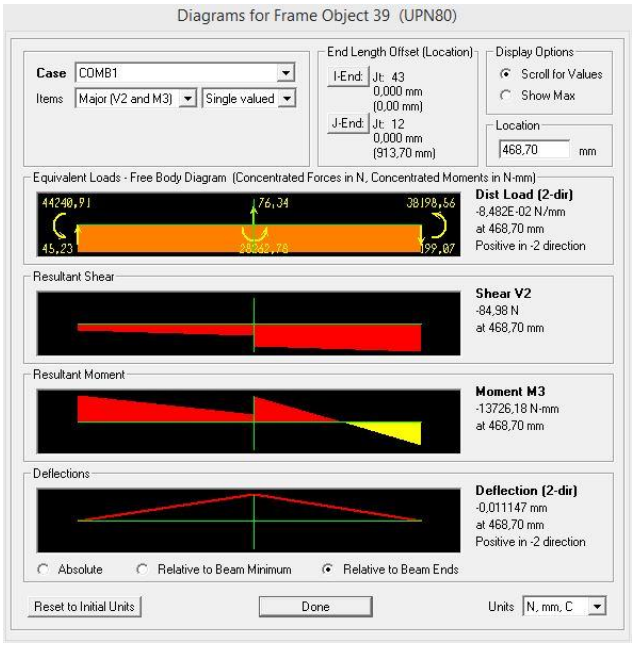


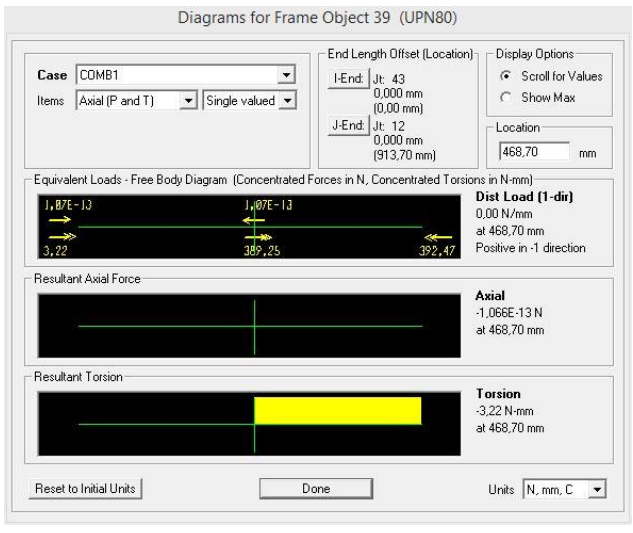


Barre n° = 12

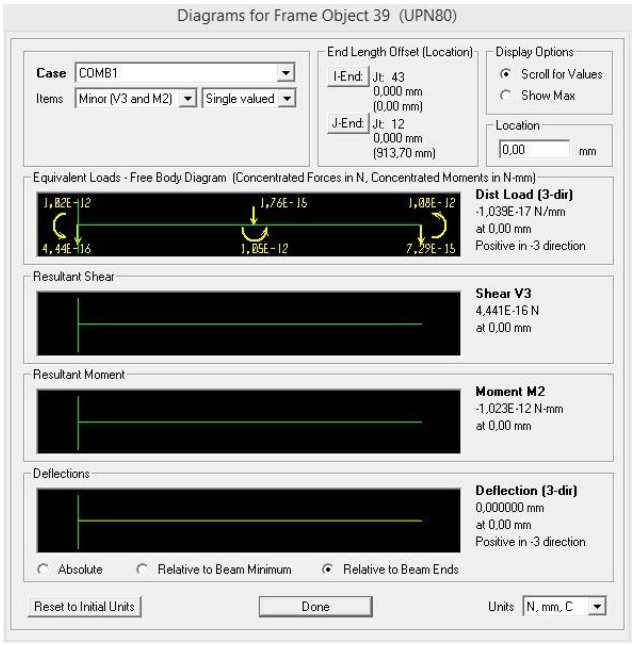
x = 468.70 mm :

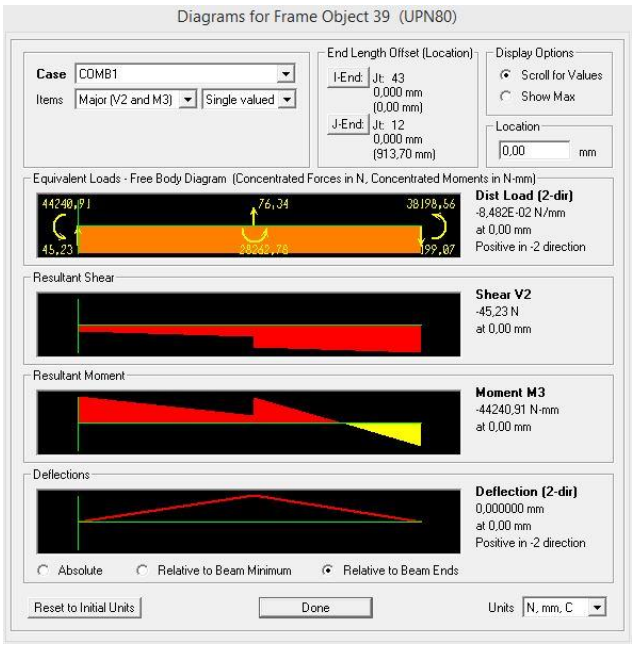


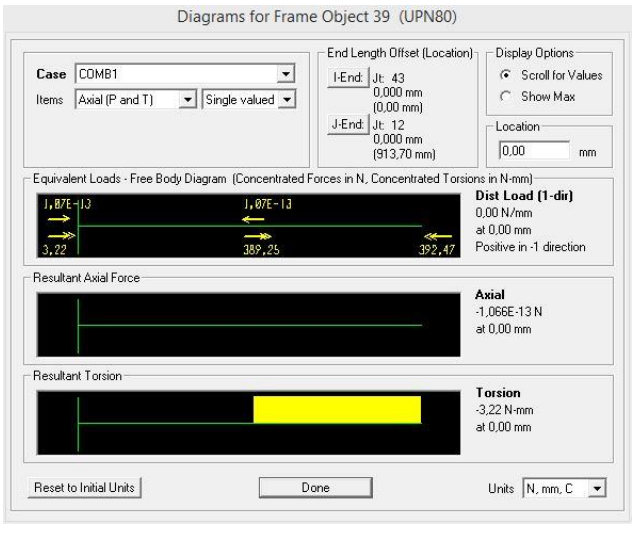




x = 0 mm :

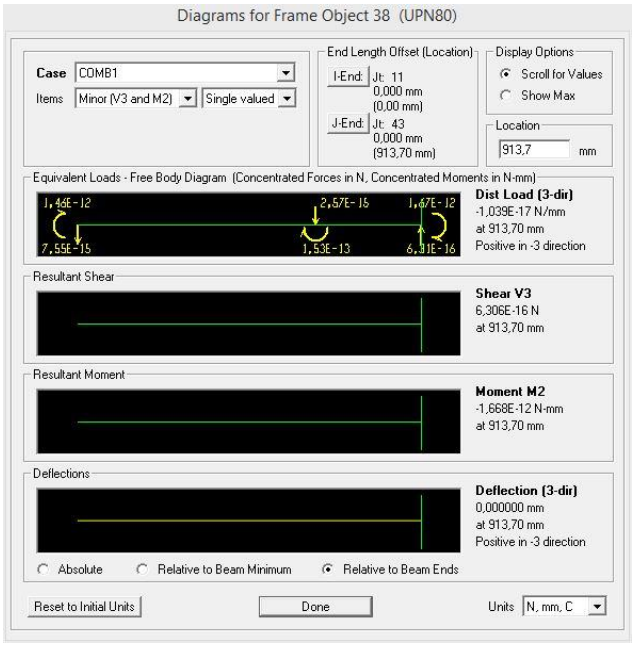


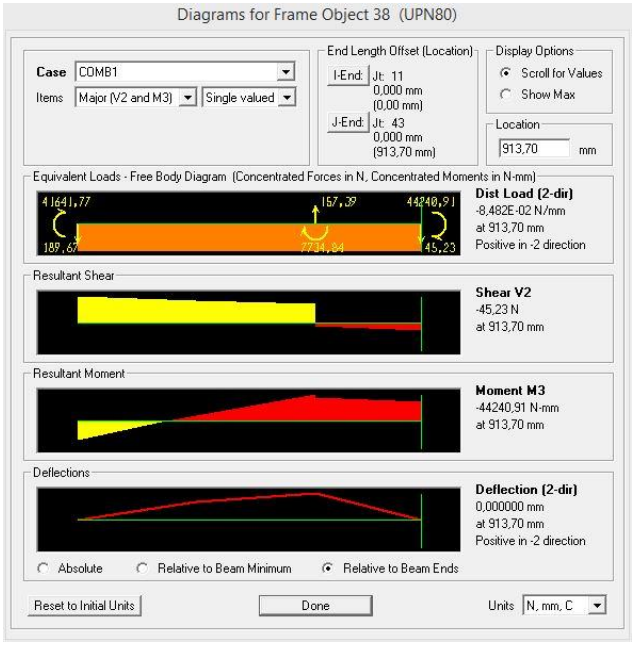


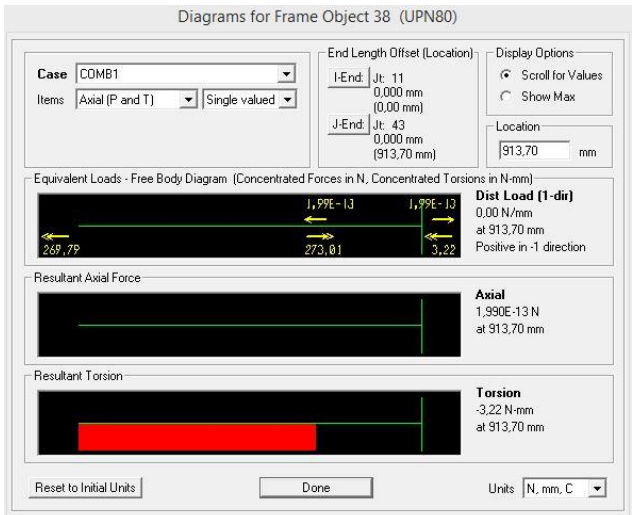


Barre n° = 12’

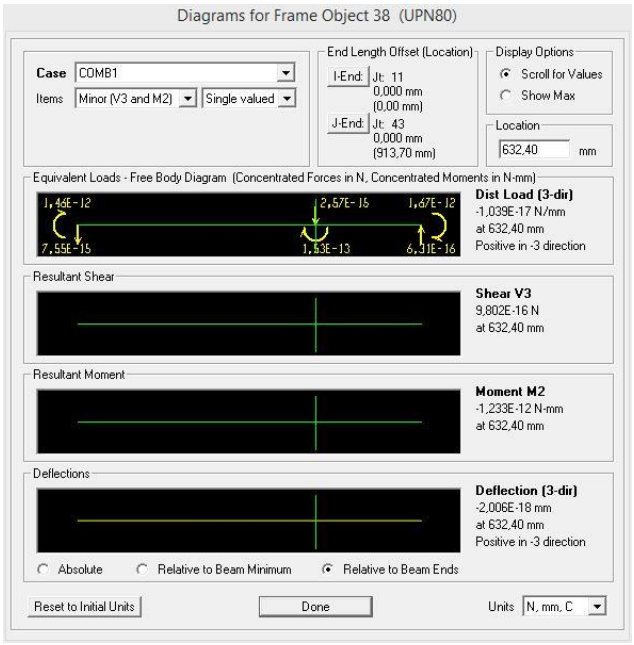
x = 913.70 mm :

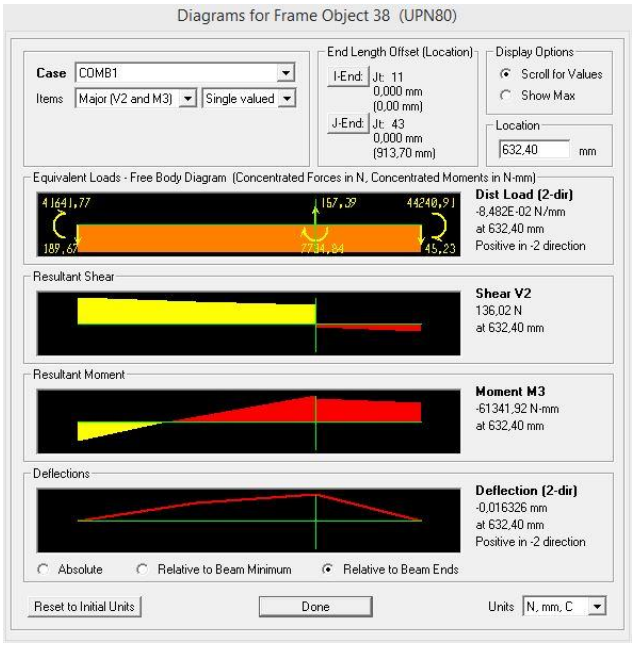


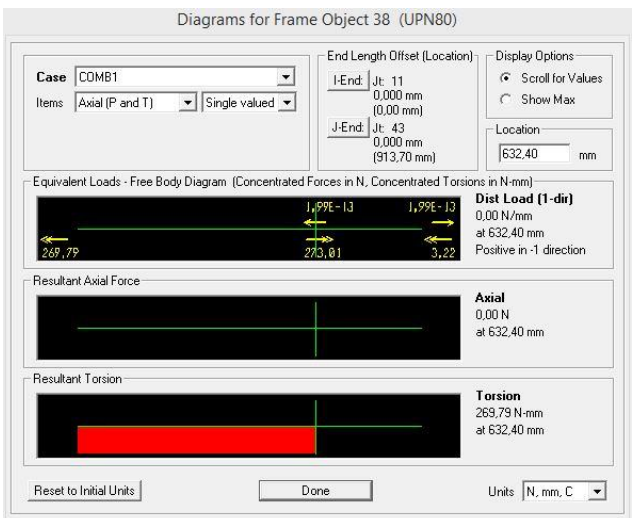




x = 632.40 mm :

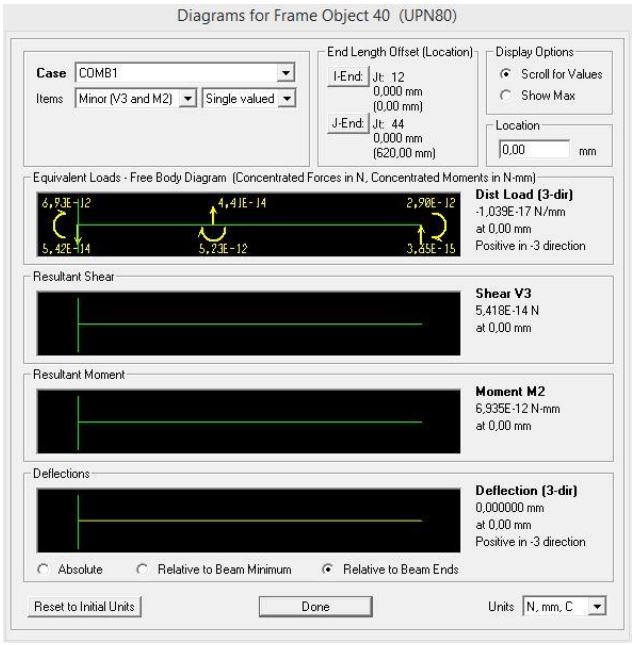


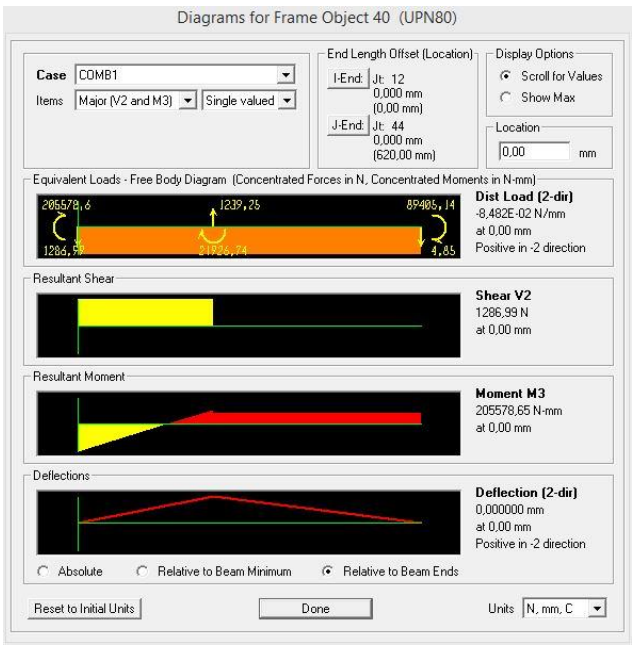


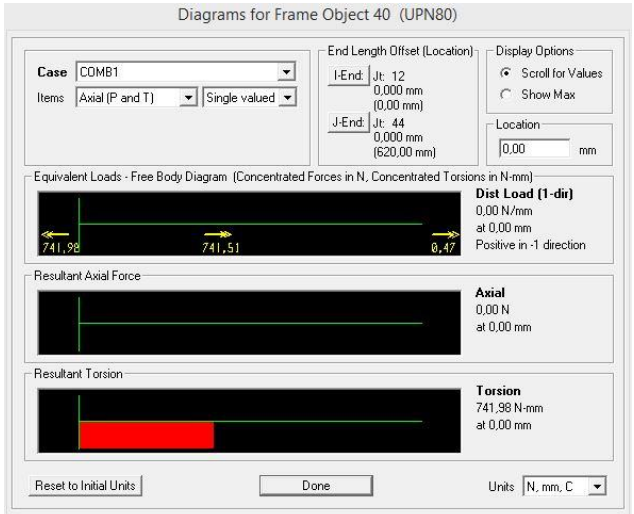


Barre n° = 13

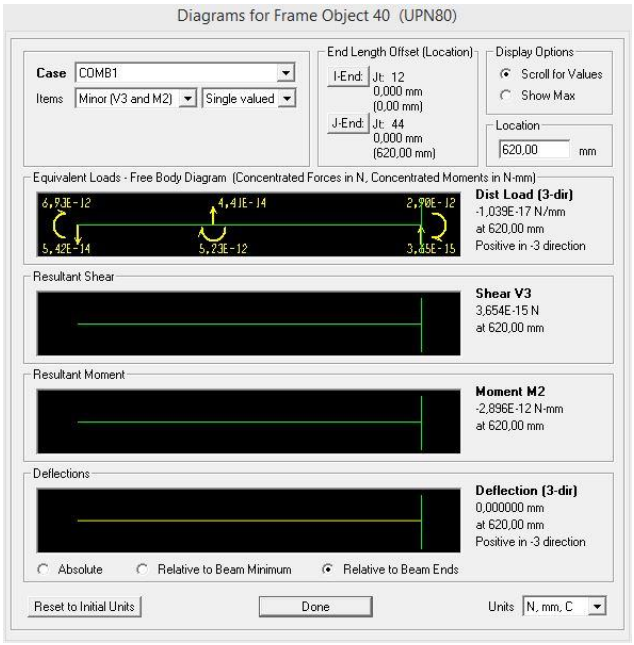
x = 0 mm :

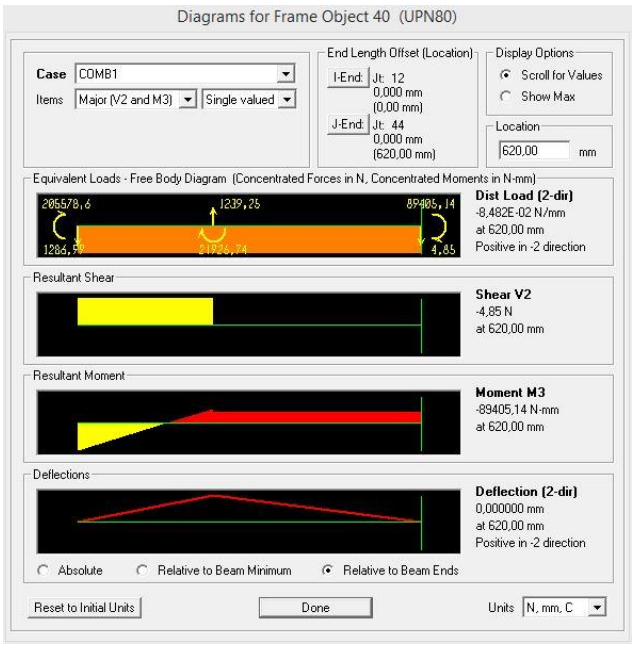


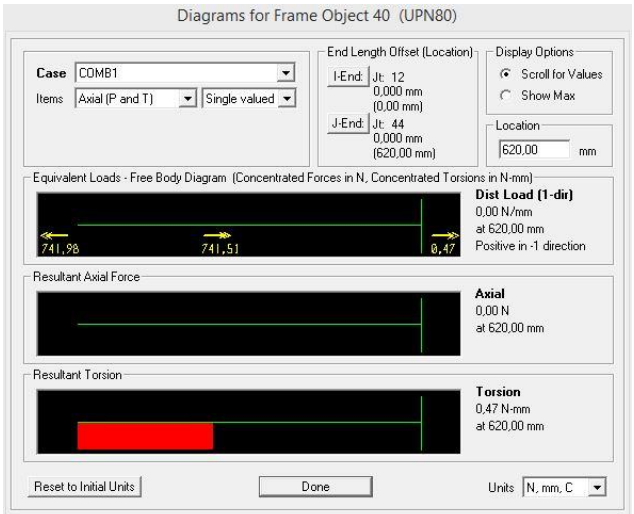




x = 620 mm :

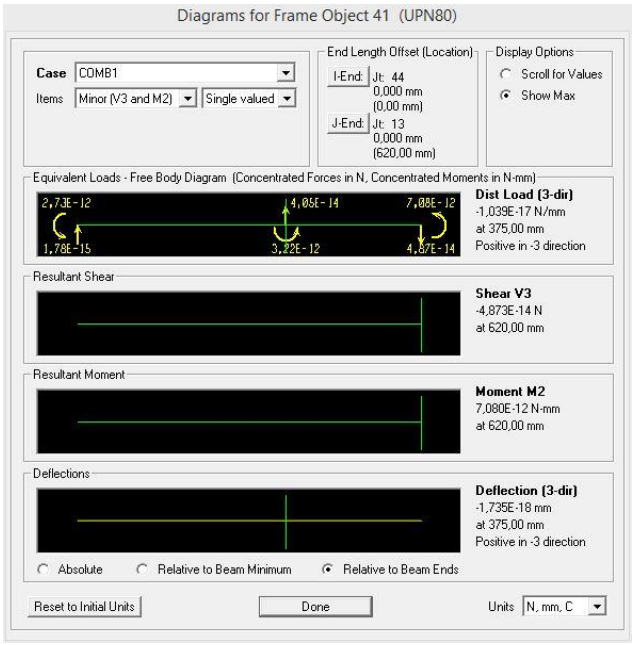


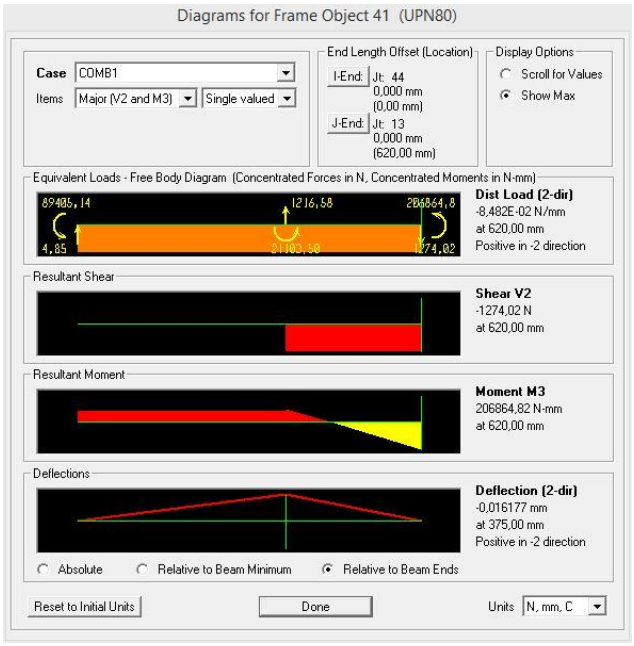


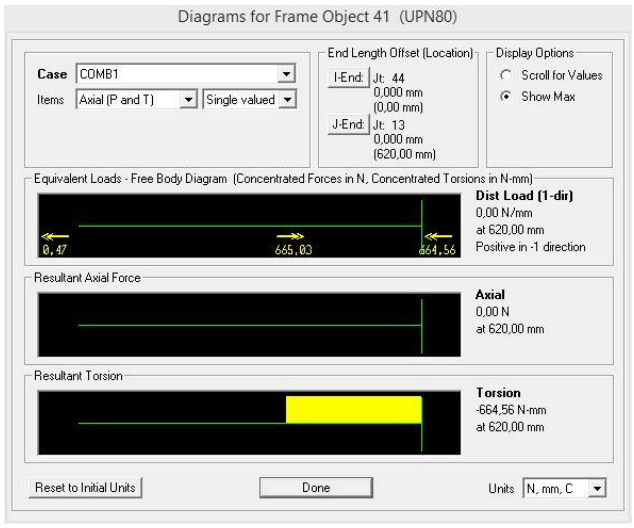


Barre n° = 13’

x = 620 mm :

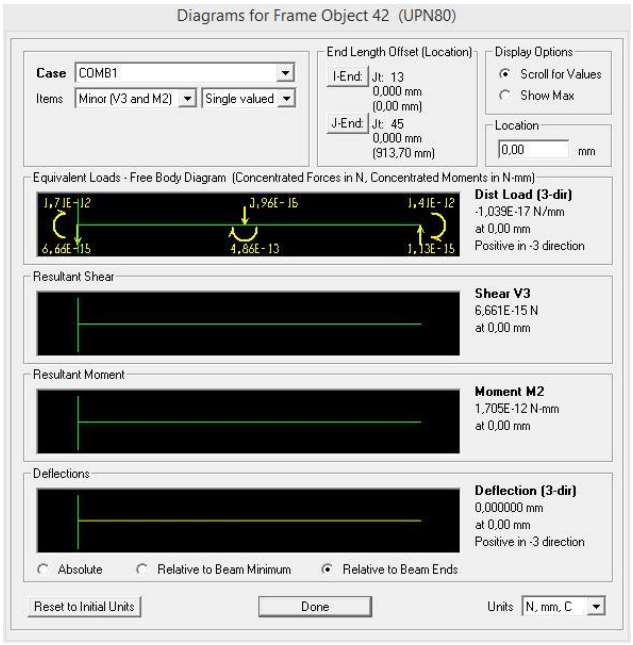


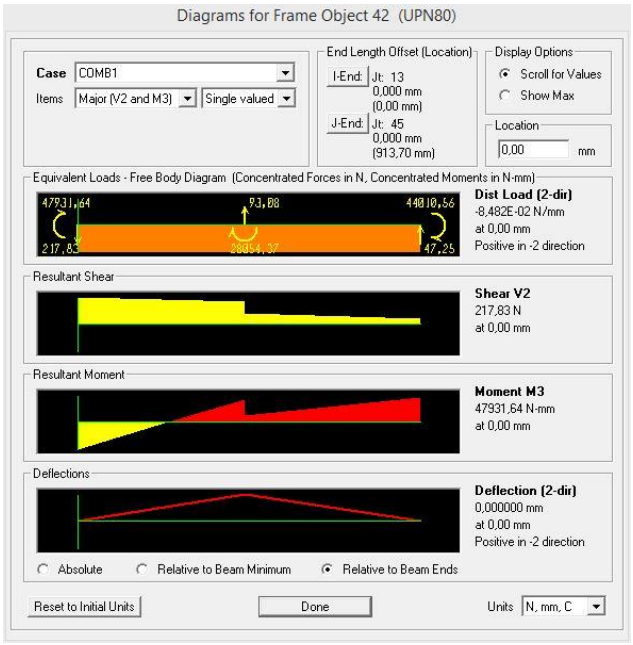


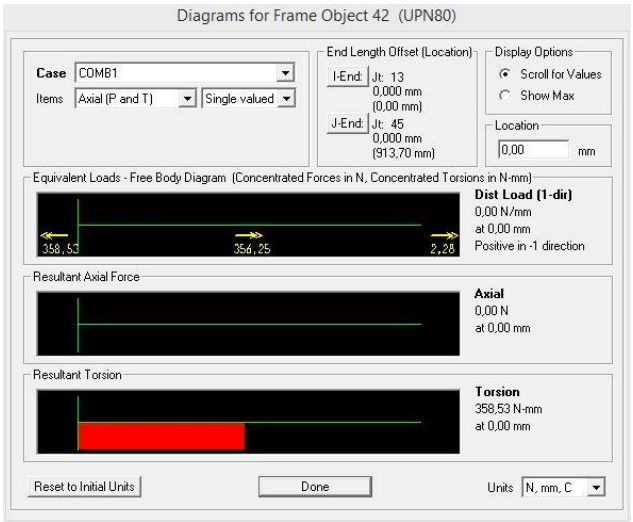


Barre n° = 14

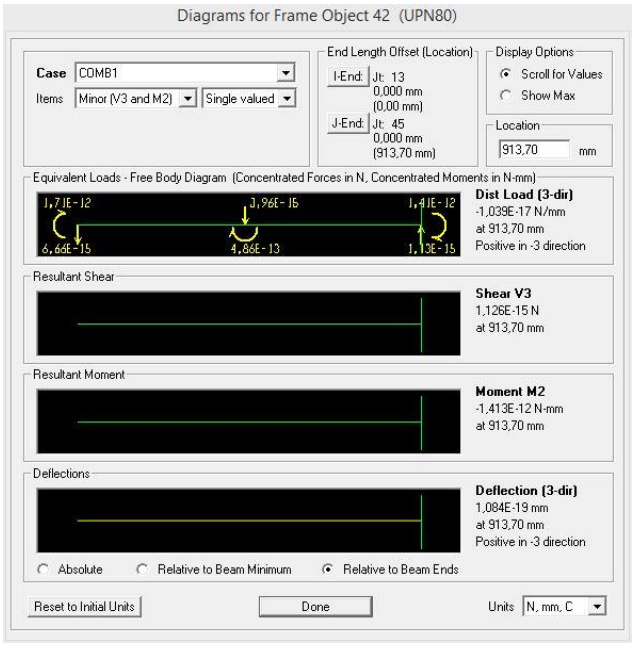
x = 0 mm :

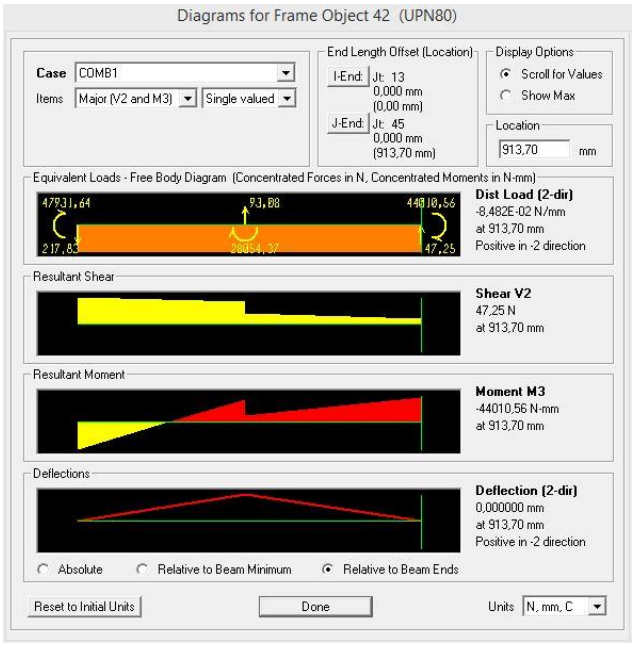


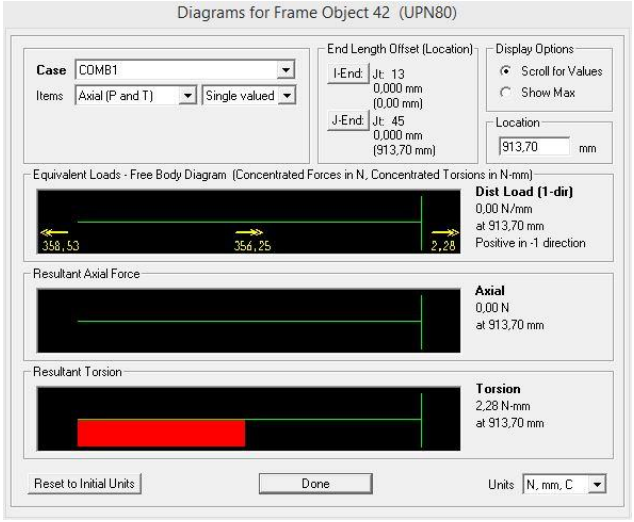




x = 913.70 mm :

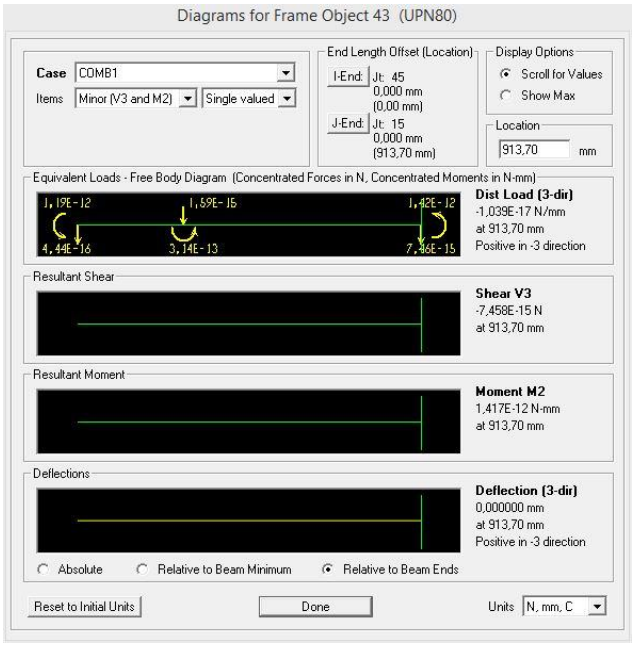


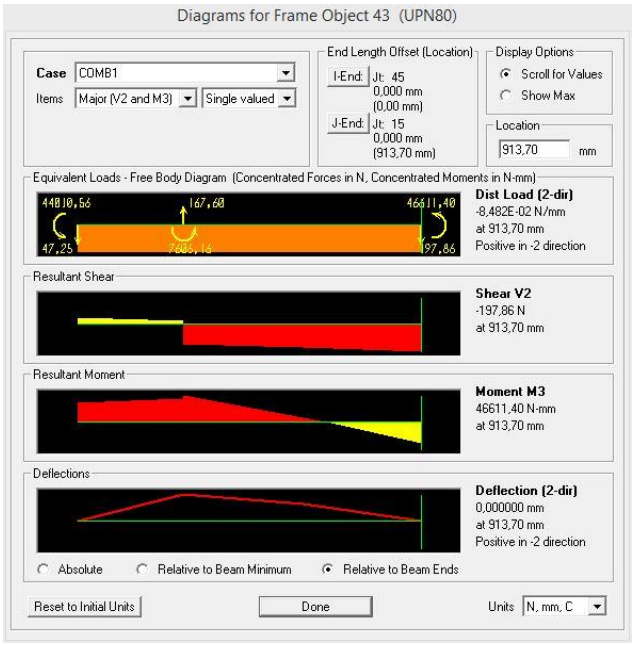


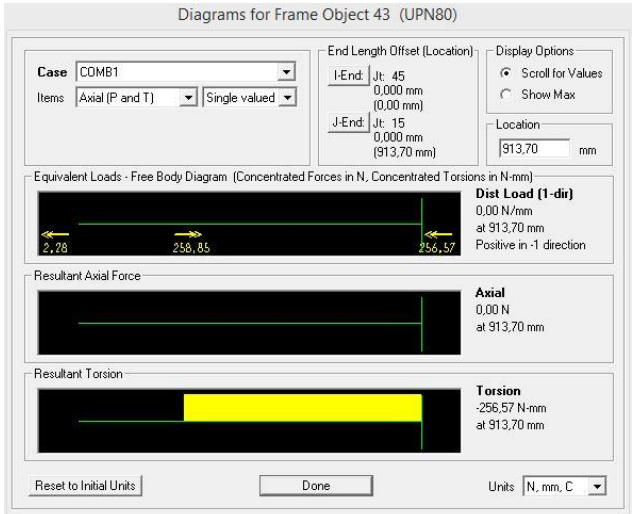


Barre n° = 14’

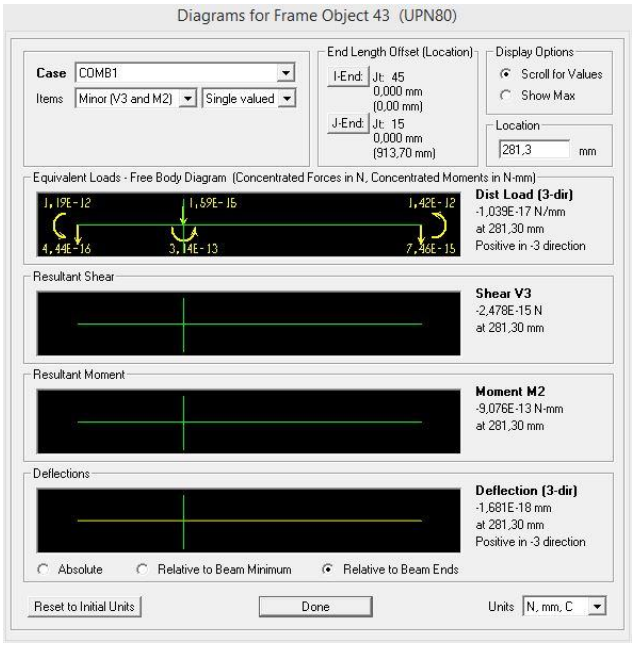
x = 913.70 mm :

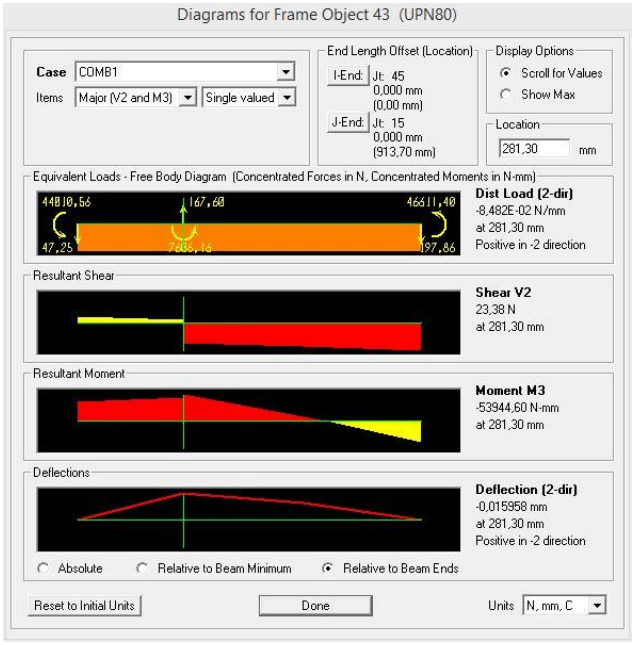


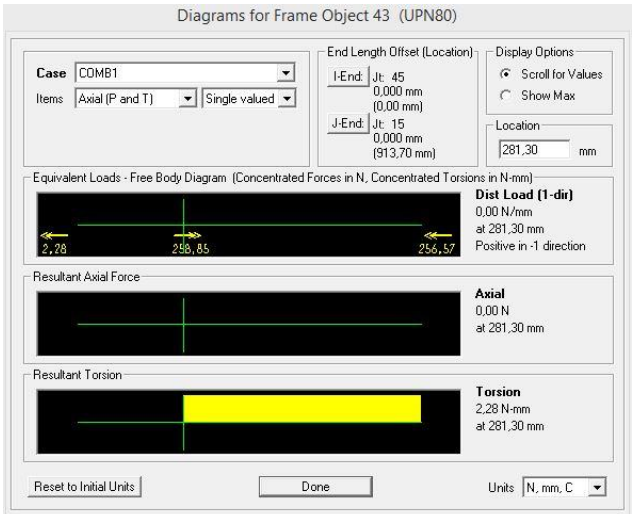




x = 281.30 mm :

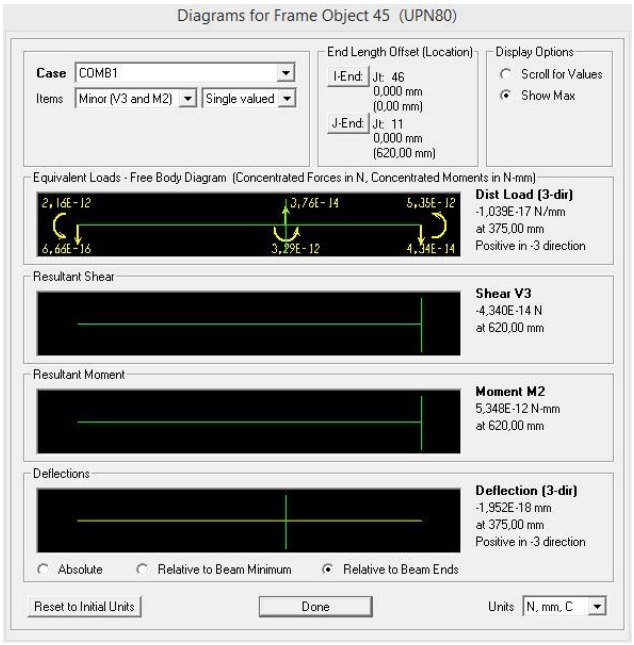


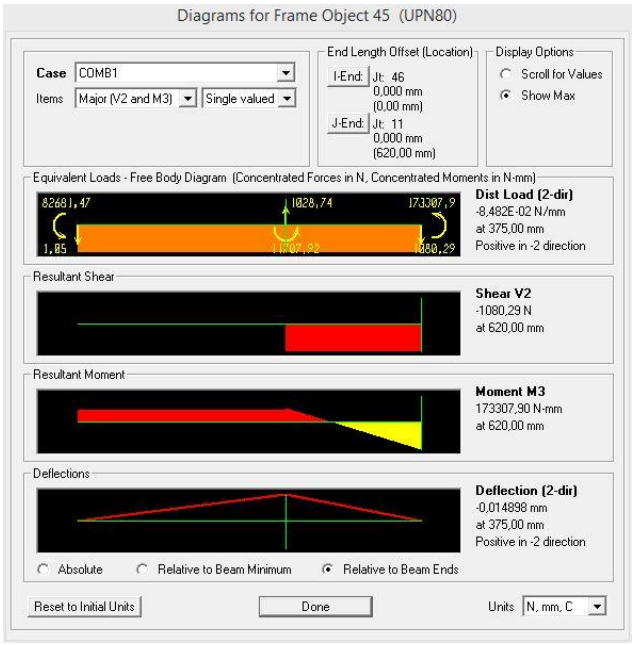


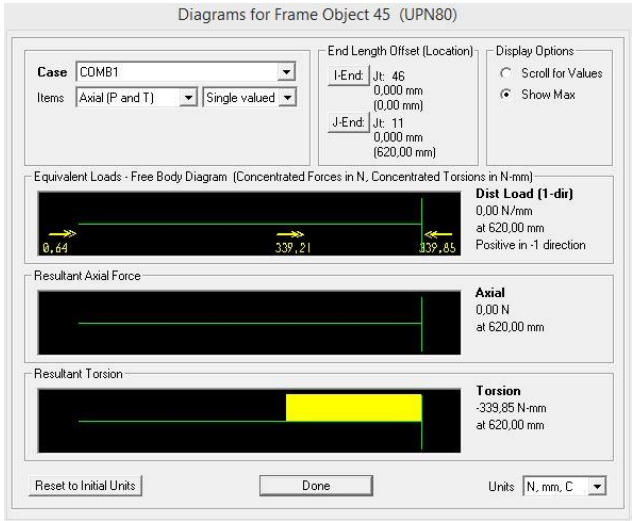


Barre n° = 15

x = 620 mm :

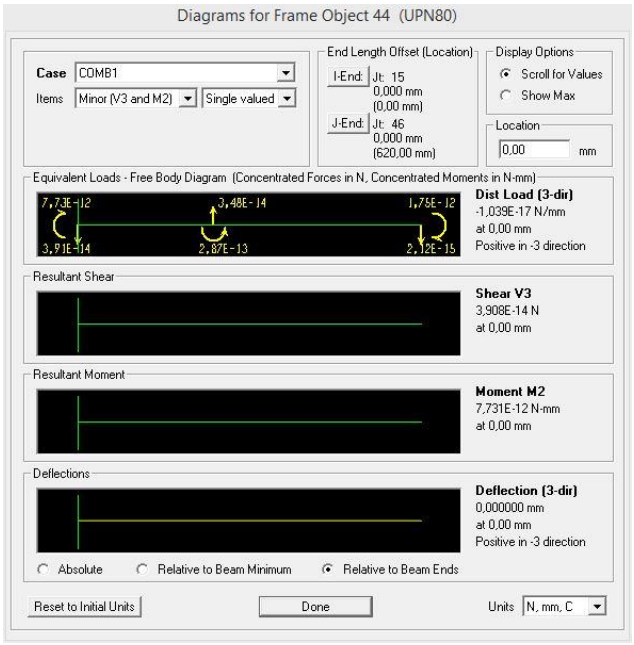


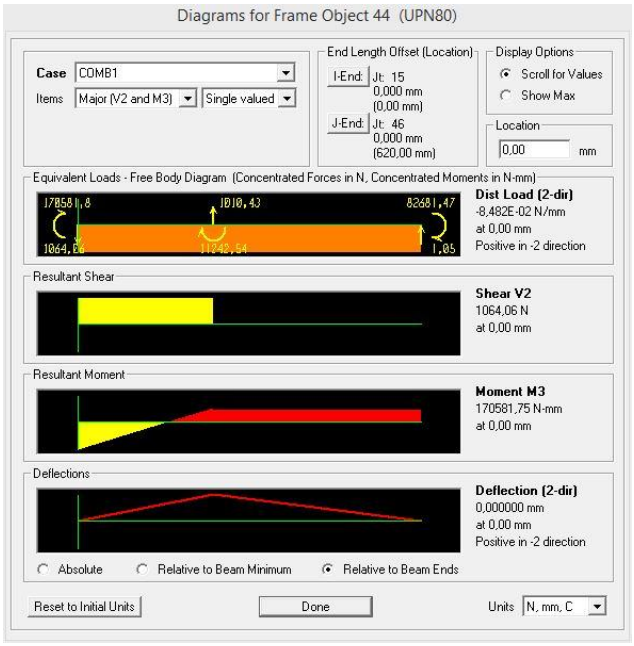


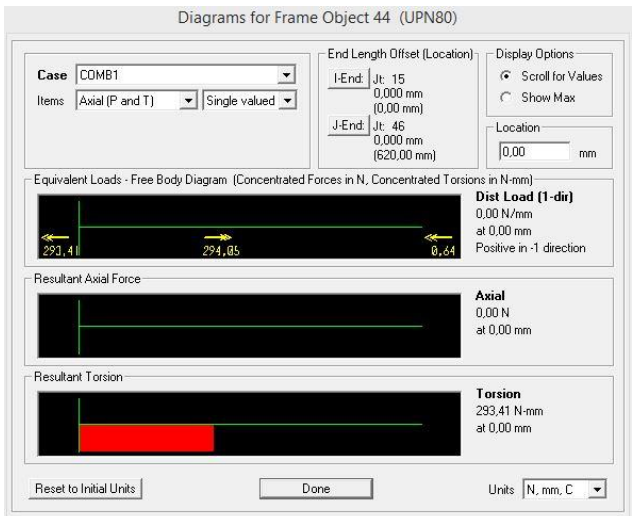


Barre n° = 15’

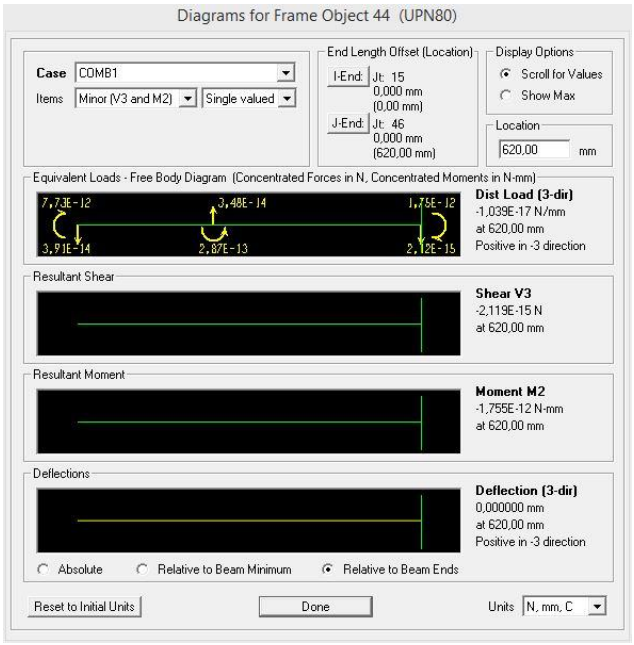
x = 0 mm :

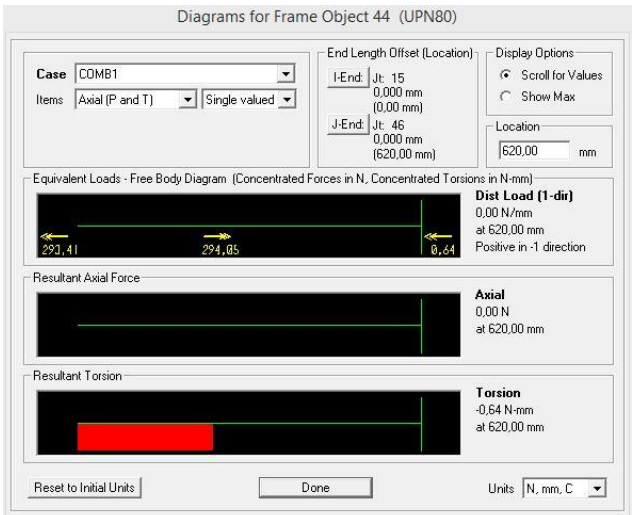






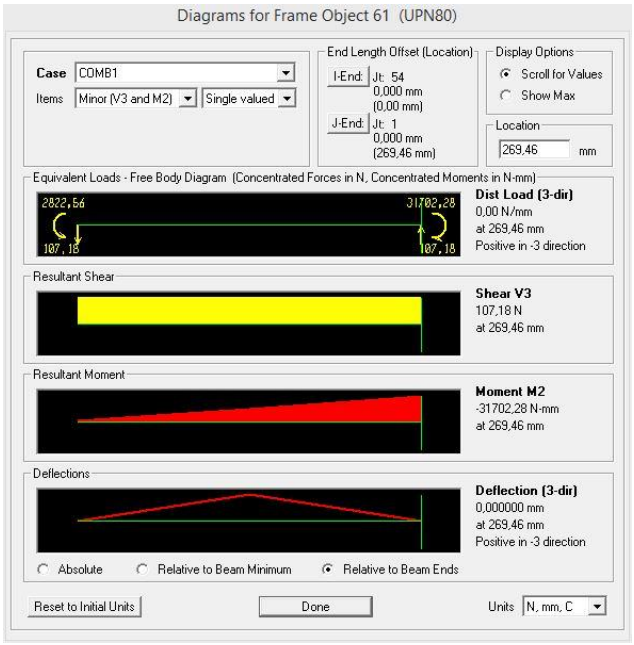
x = 620 mm :

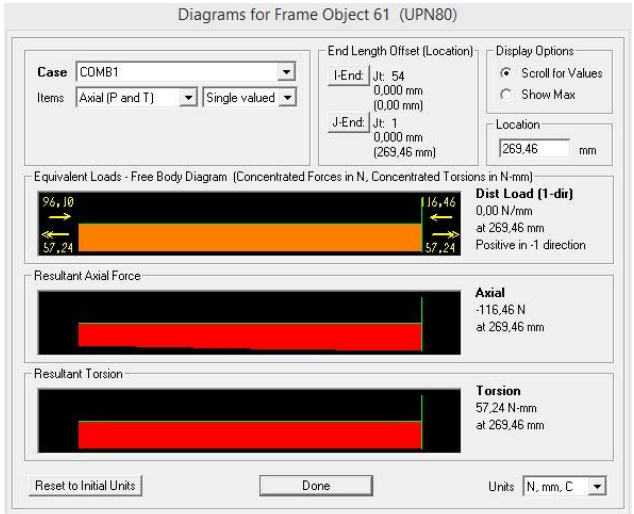




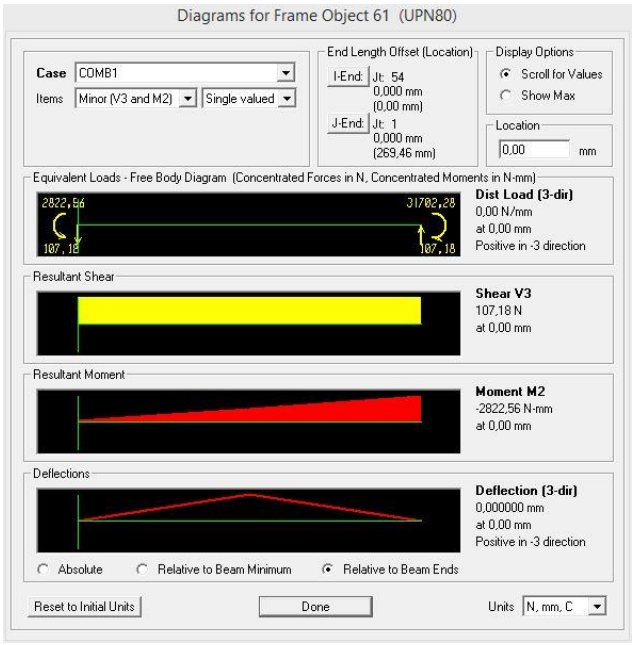
Barre n° = 16

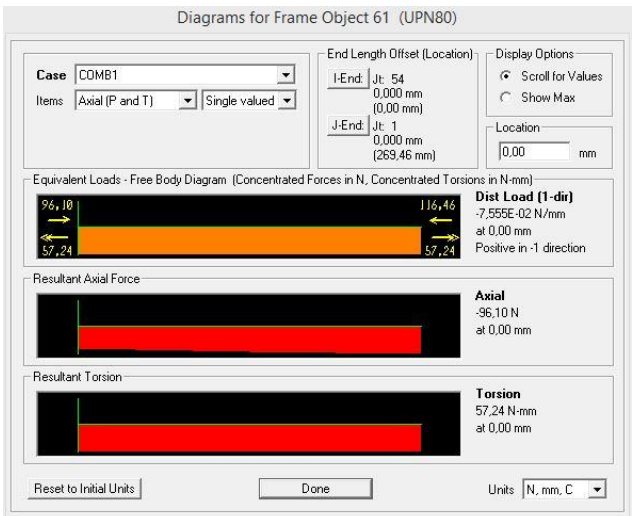
x = 269.46 mm :





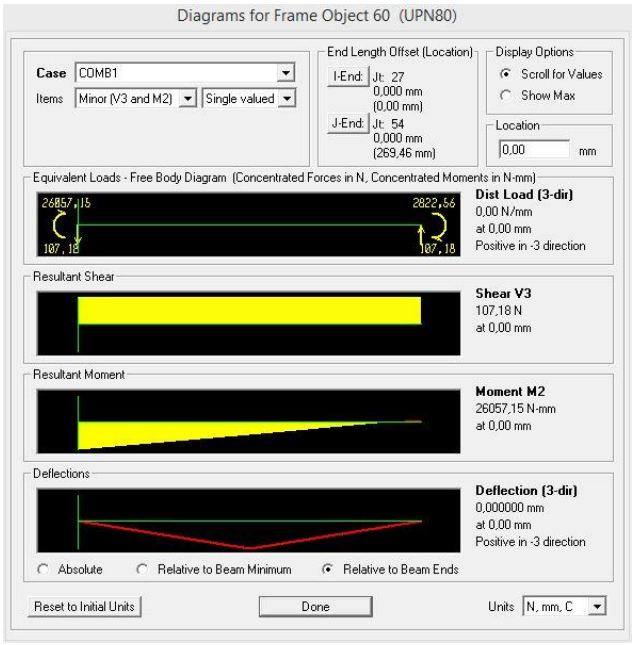
x = 0 mm :

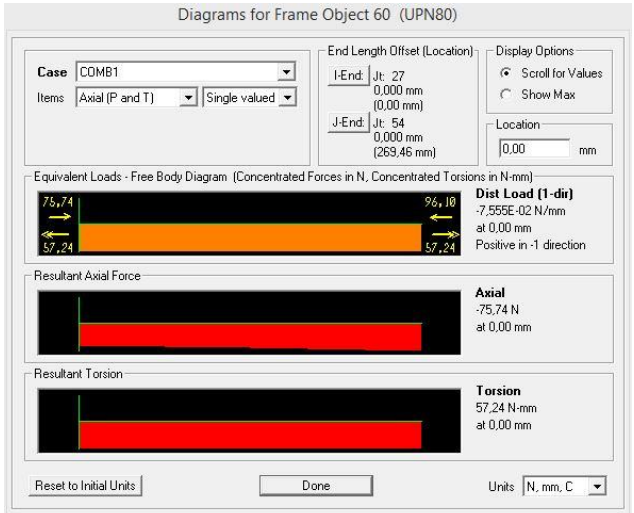




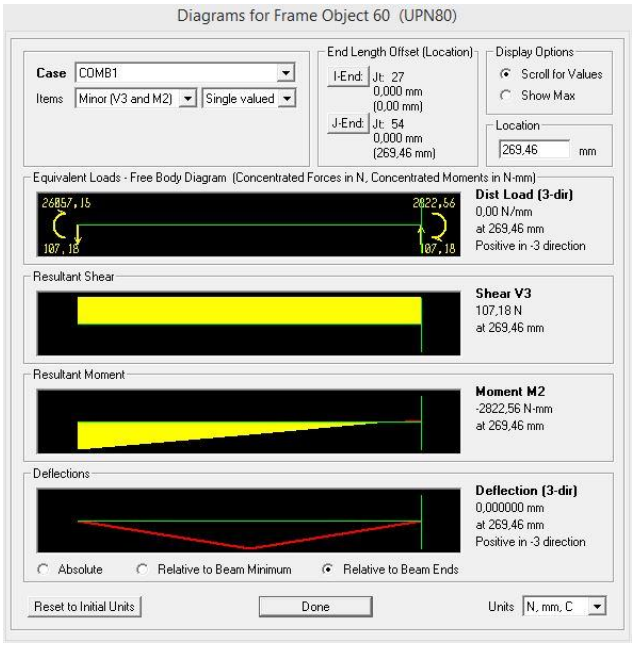
Barre n° = 16’

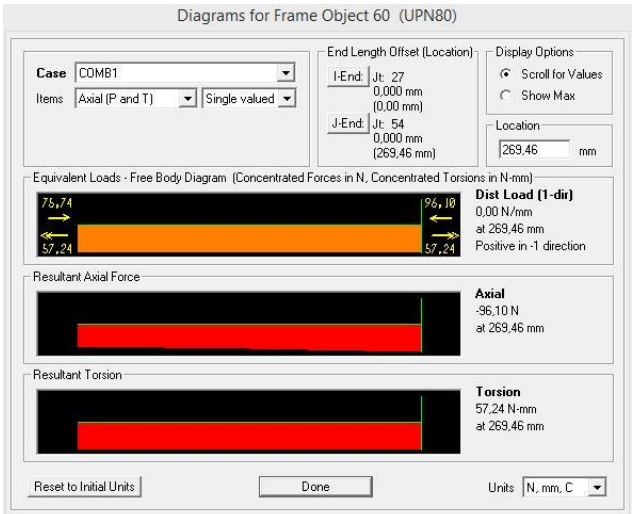
x = 0 mm :





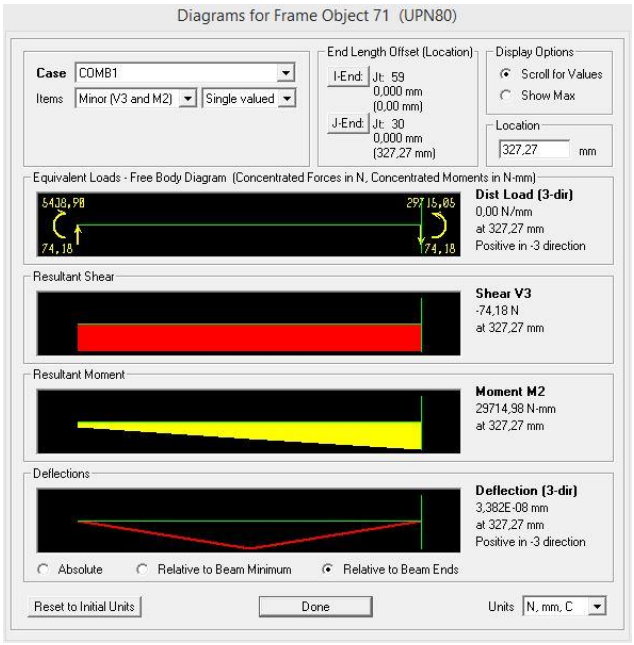
x = 269.46 mm :

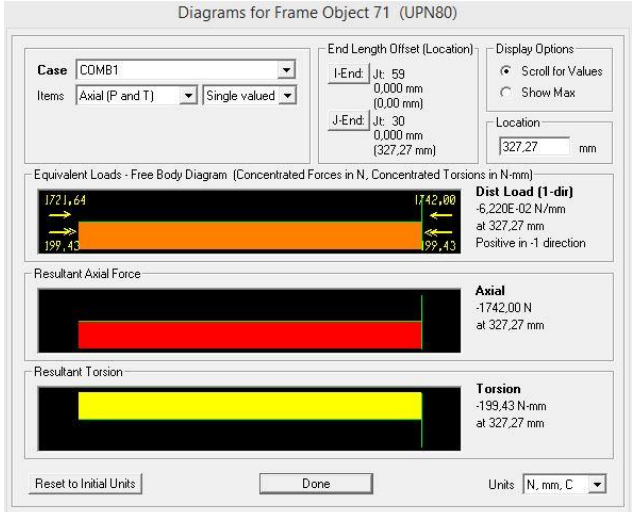




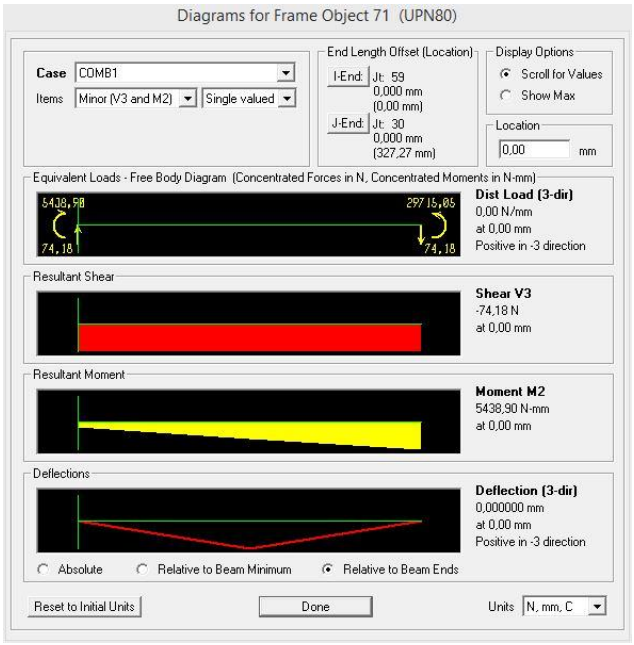
Barre n° = 17

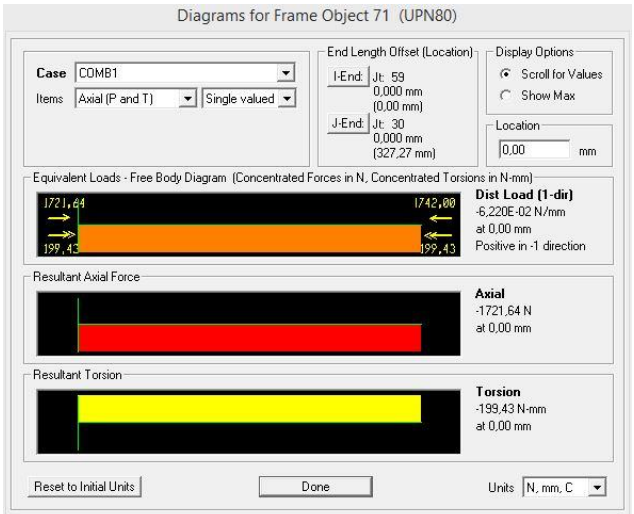
x = 327.27 mm :





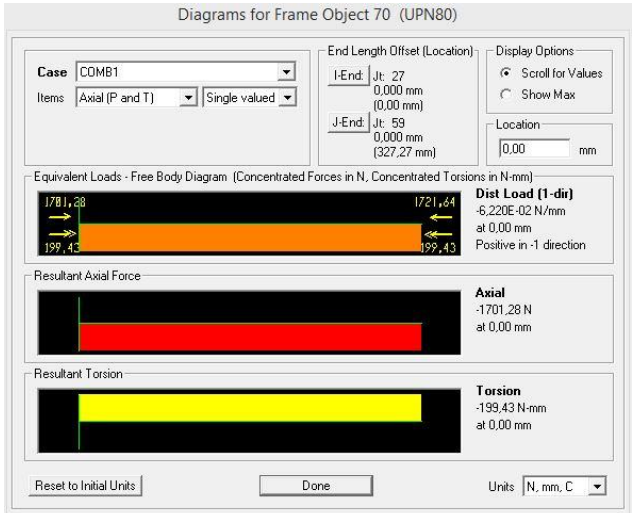
x = 0 mm :



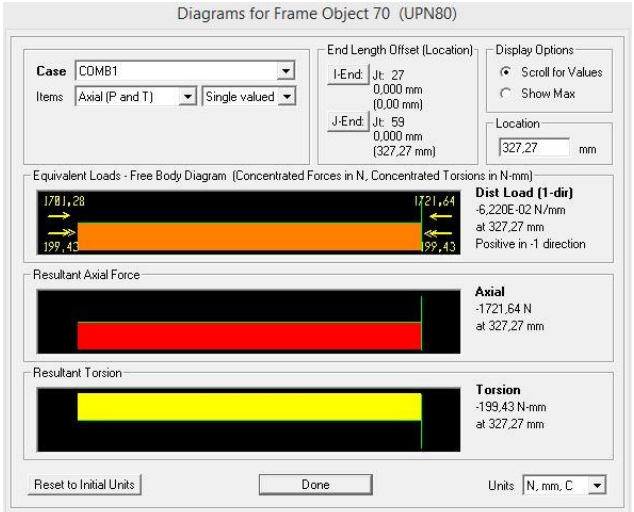


Barre n° = 17’

x = 0 mm :

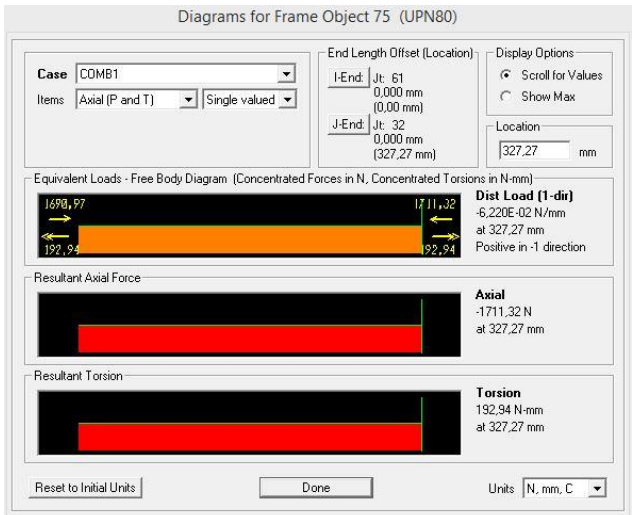


x = 327.27 mm :

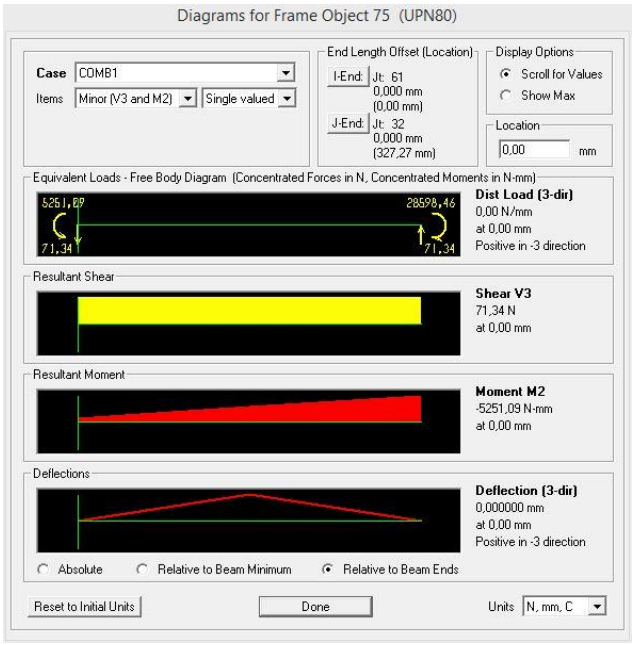


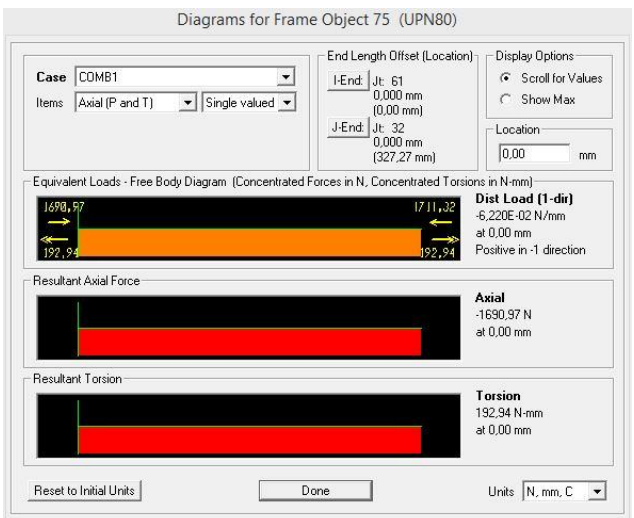
Barre n° = 18

x = 327.27 mm :



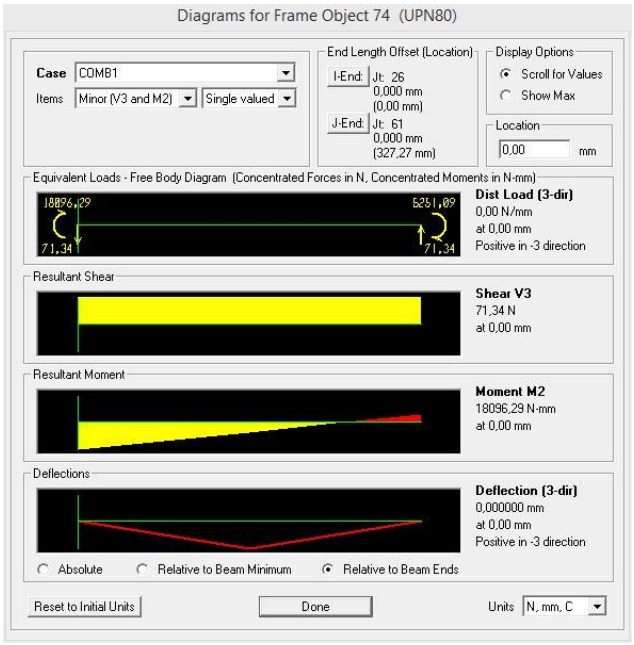
x = 0 mm :

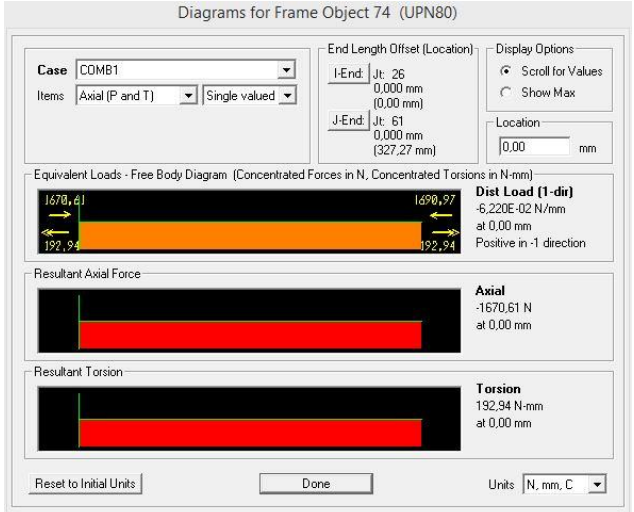




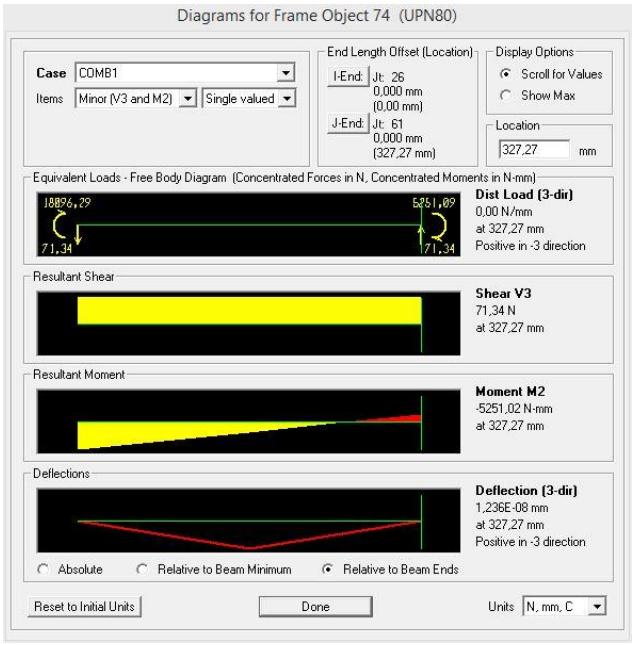
Barre n° = 18’

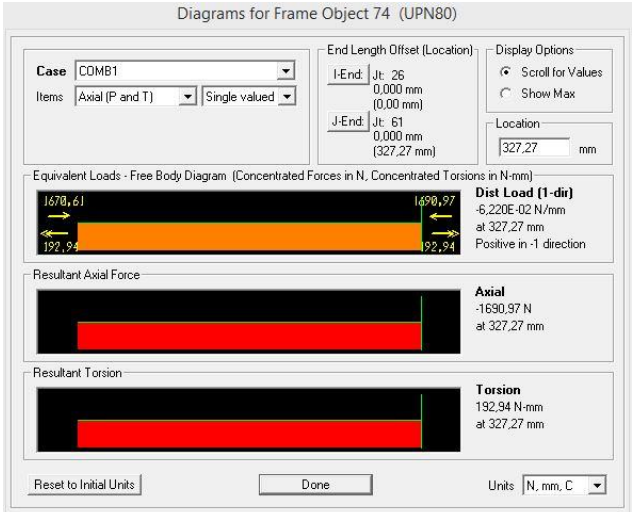
x = 0 mm :





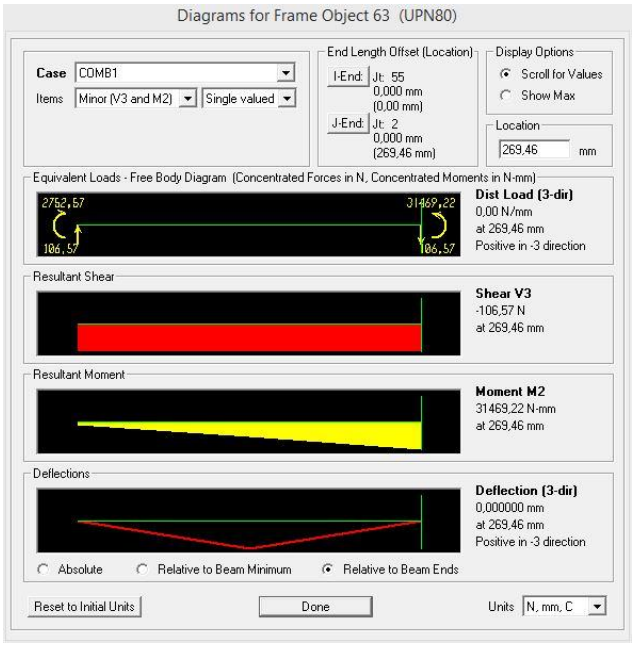
x = 327.27 mm :

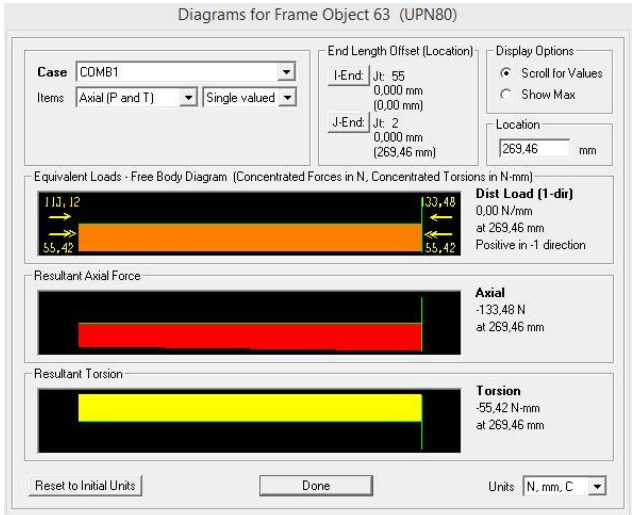




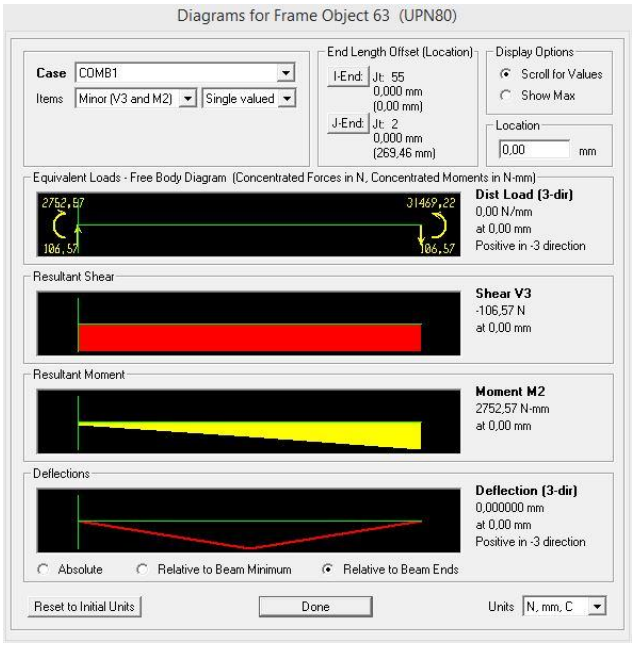
Barre n° = 19

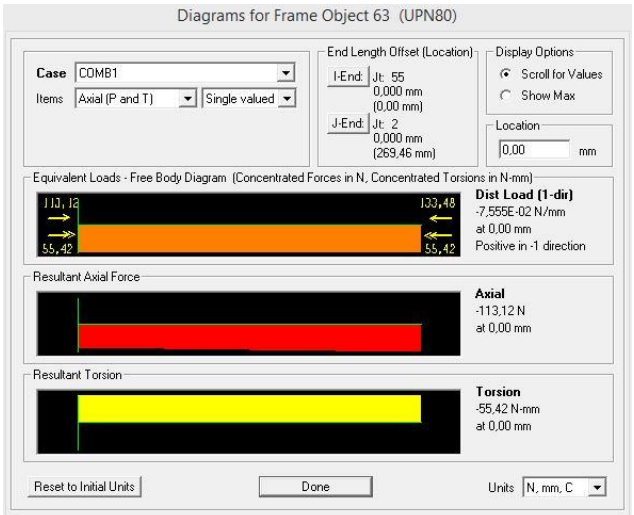
x = 269.46 mm :





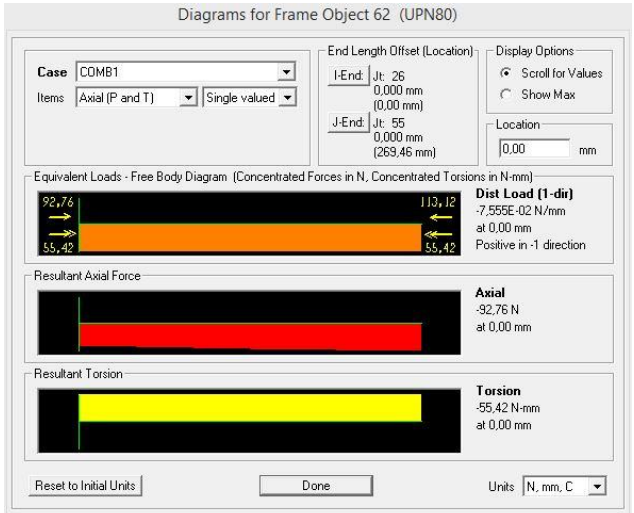
x = 0 mm :



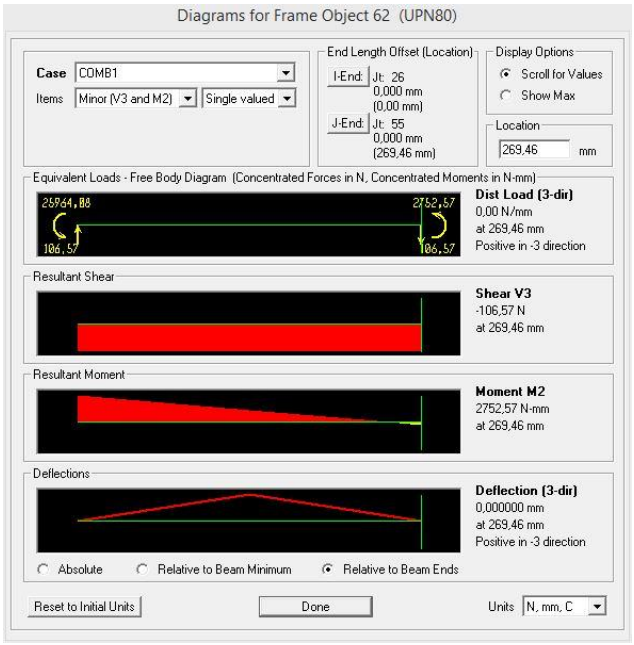


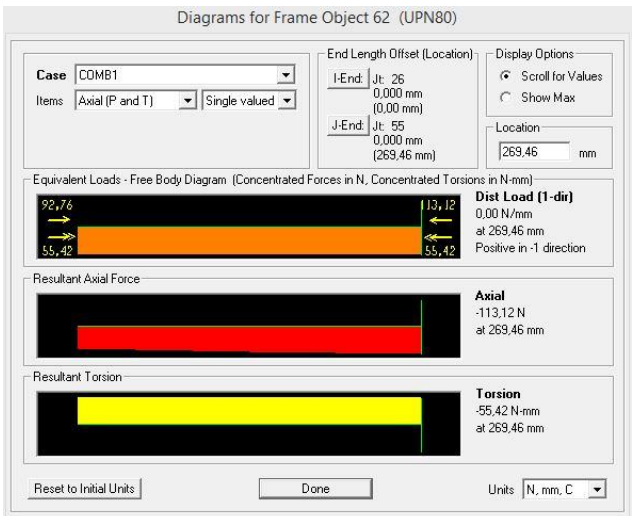
Barre n° = 19’

x = 0 mm :



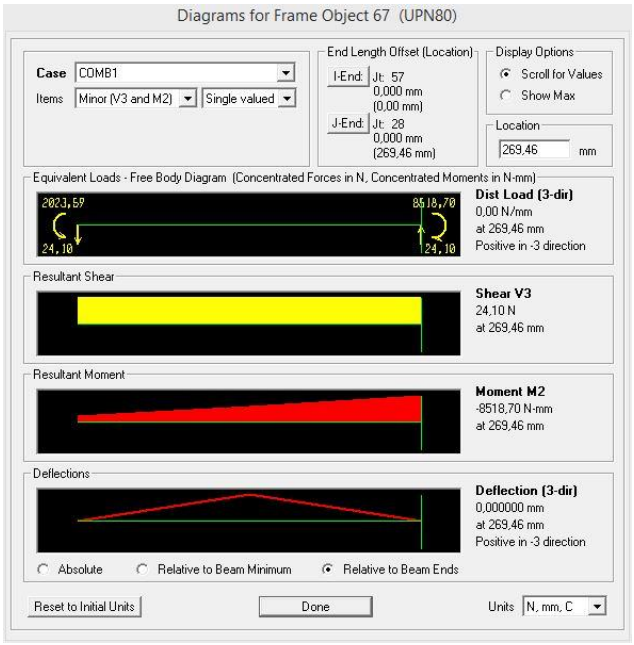
x = 269.46 mm :

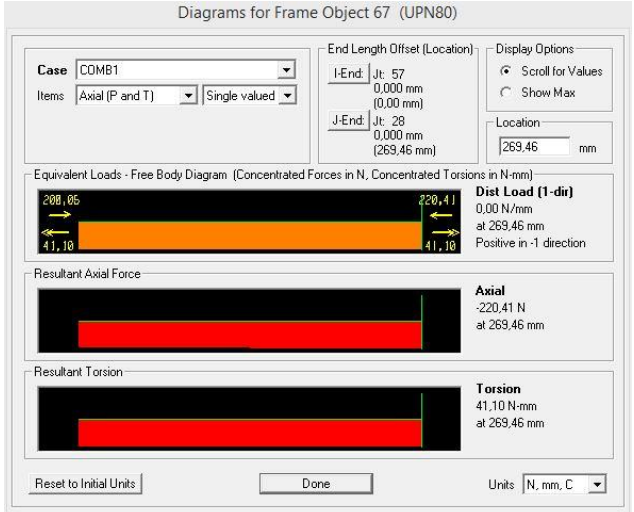




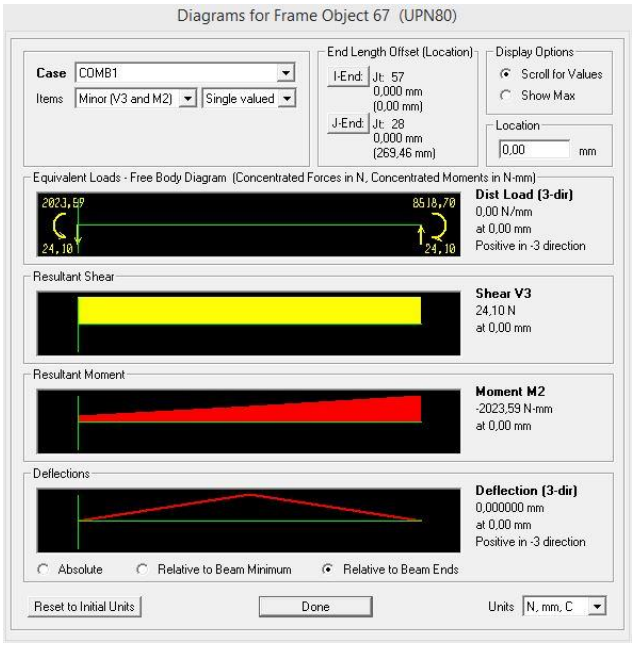
Barre n° = 20

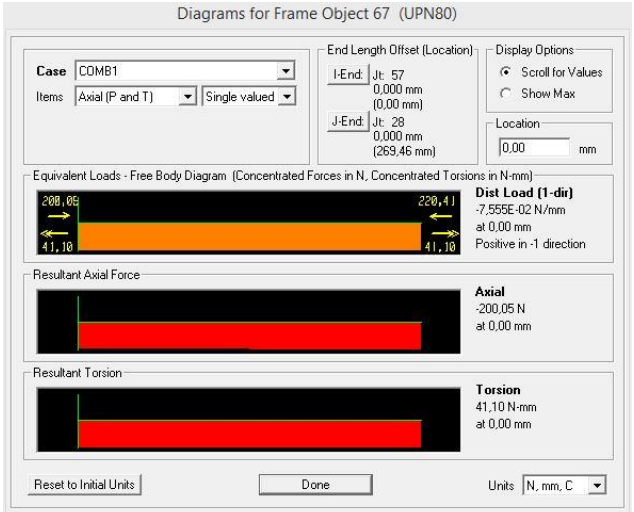
x = 269.46 mm :





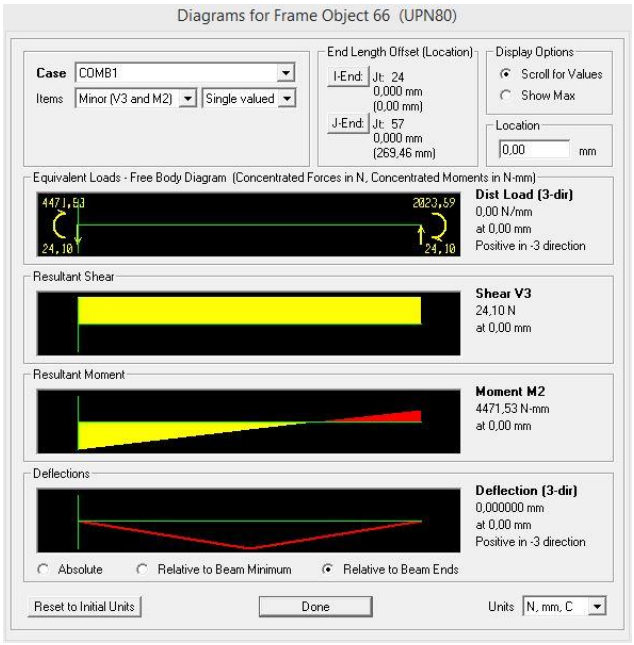
x = 0 mm :

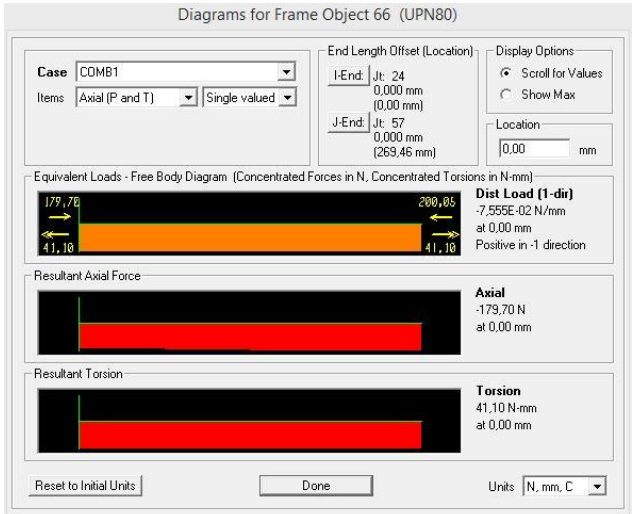




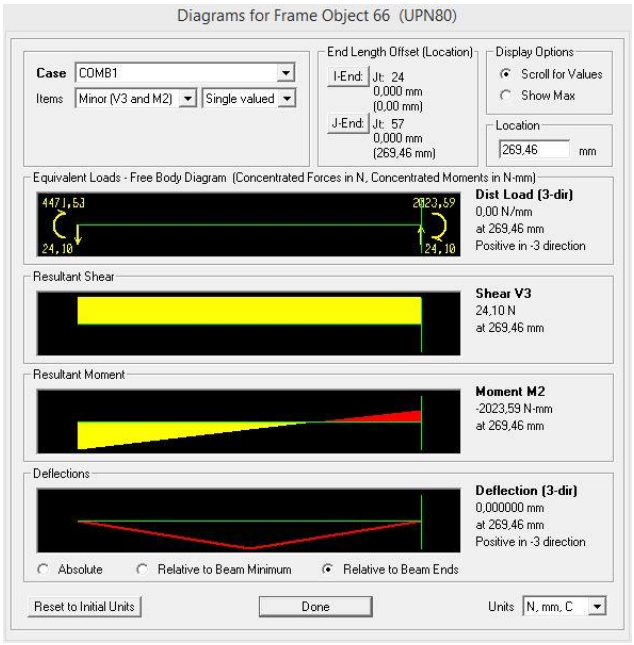
Barre n° = 20’

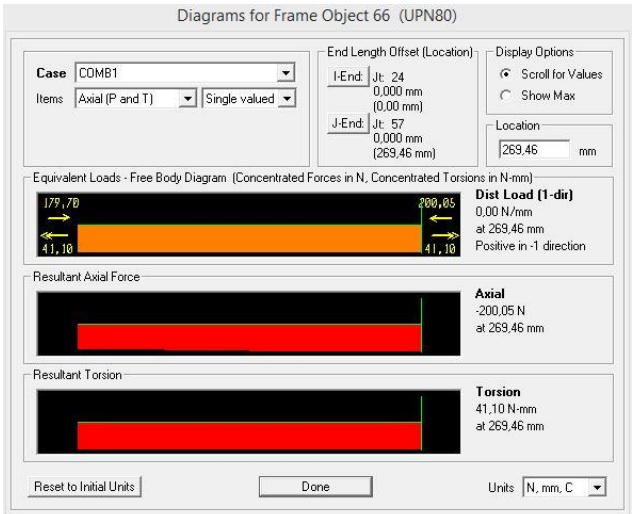
x = 0 mm :





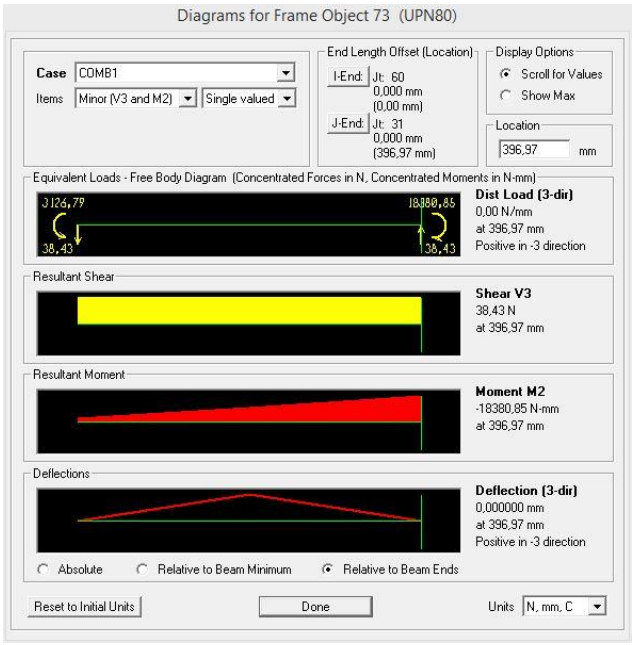
x = 269.46 mm :

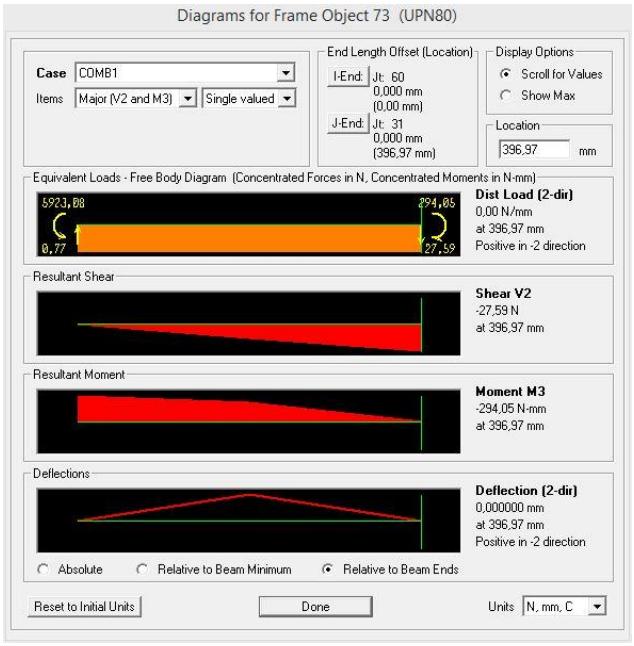


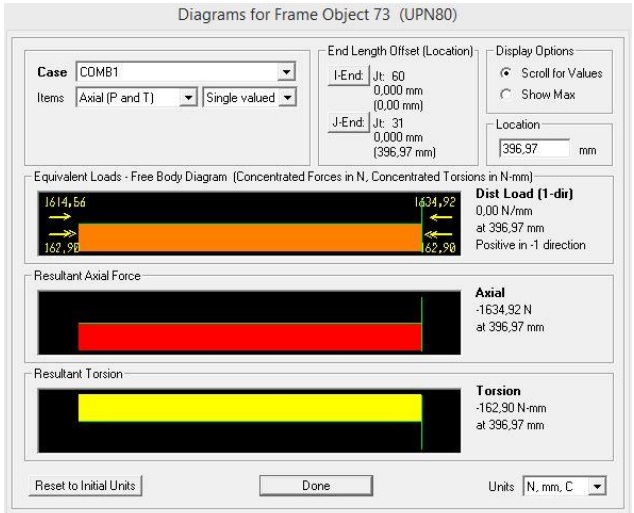


Barre n° = 21

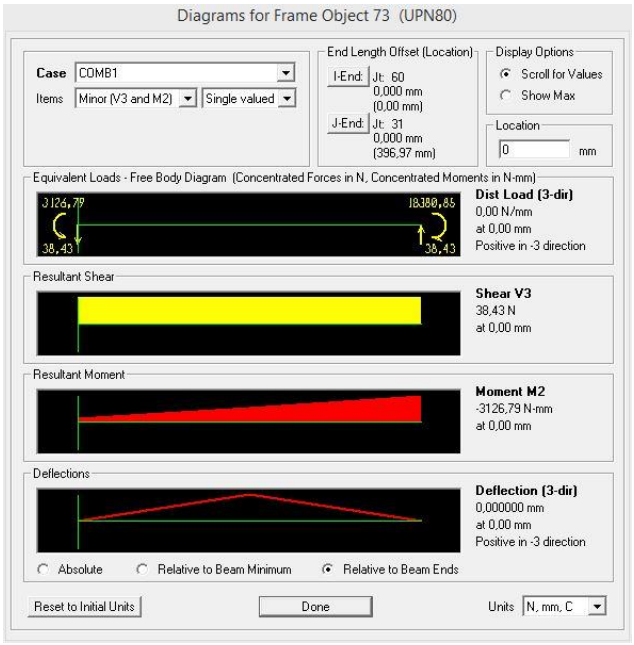
x = 396.97 mm :

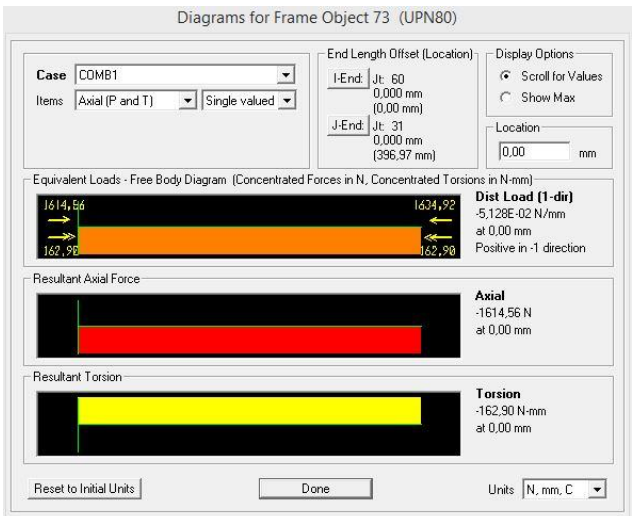






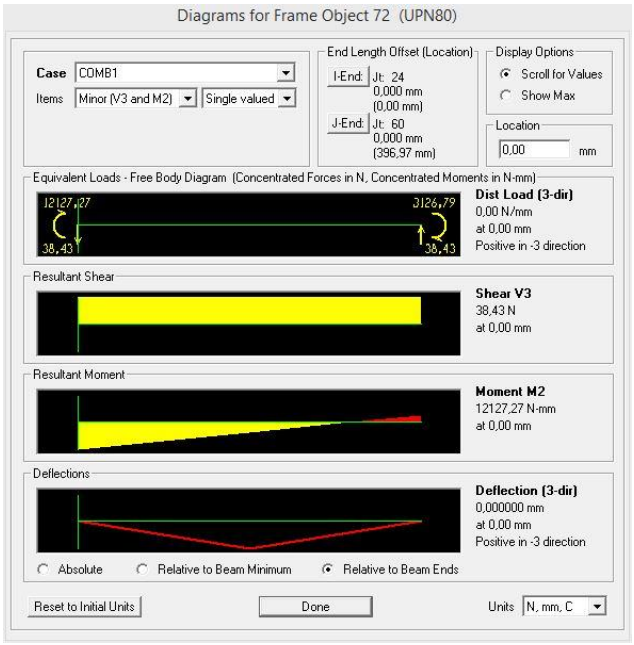
x = 0 mm :

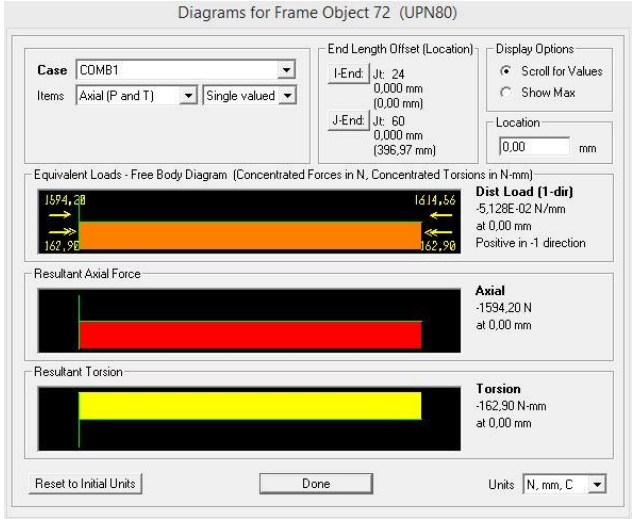




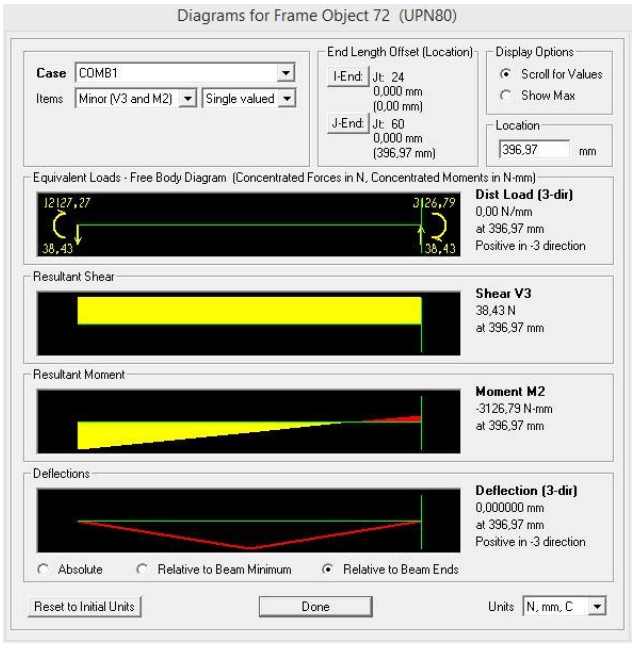
Barre n° = 21’

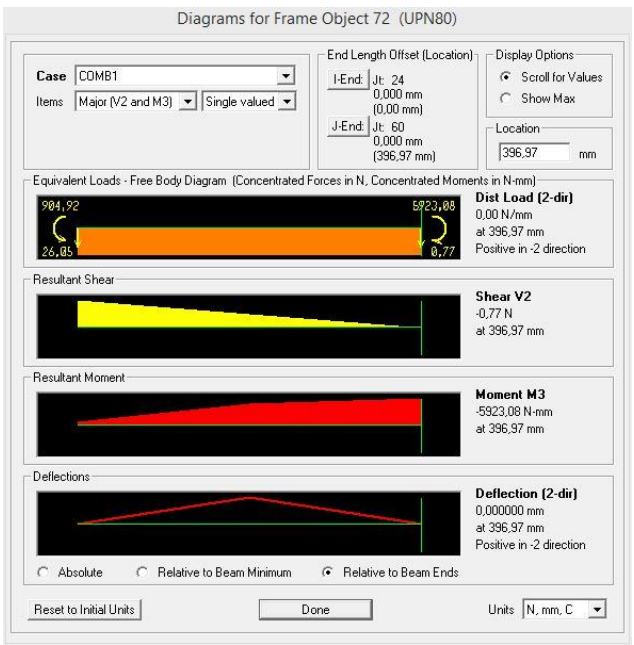
x = 0 mm :

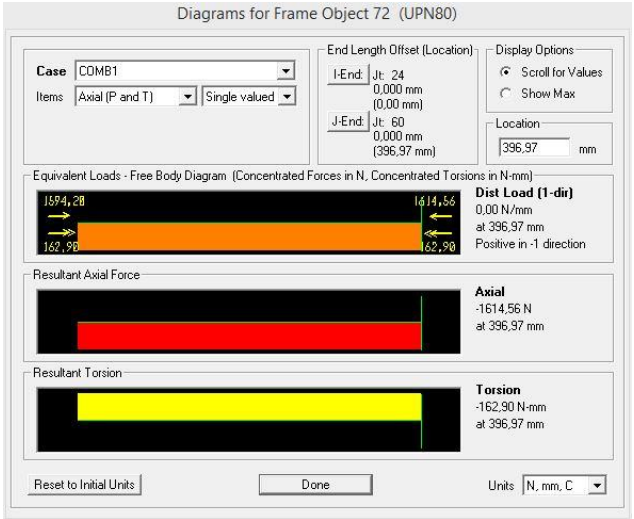




x = 396.97 mm :

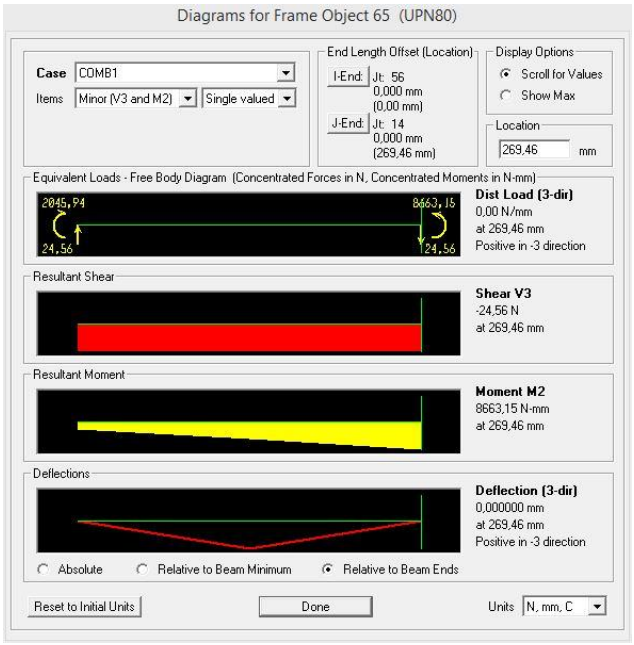


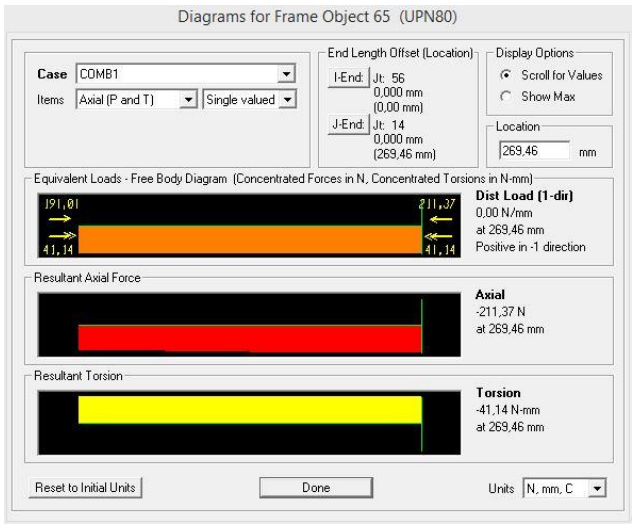




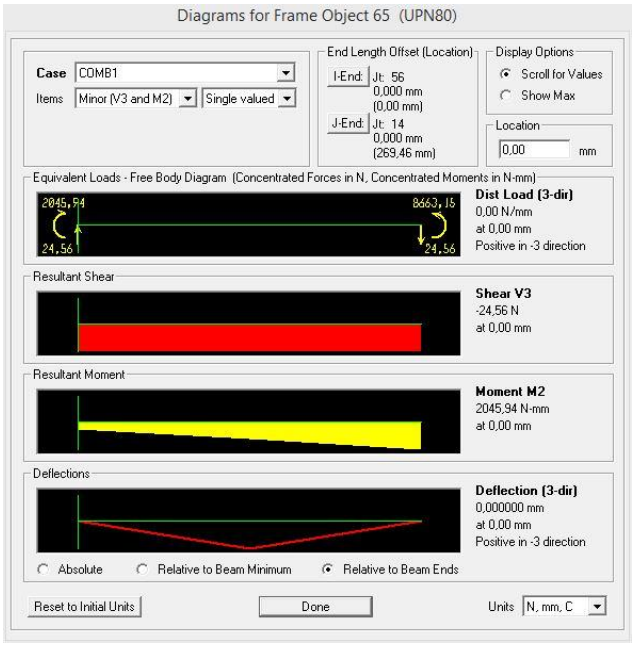
Barre n° = 22

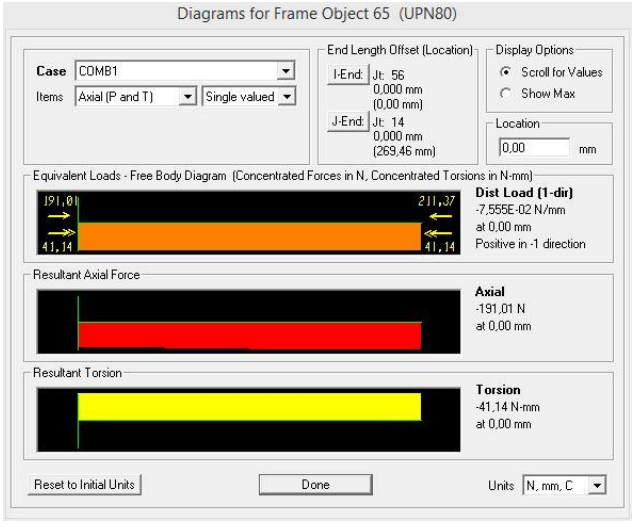
x = 269.46 mm :





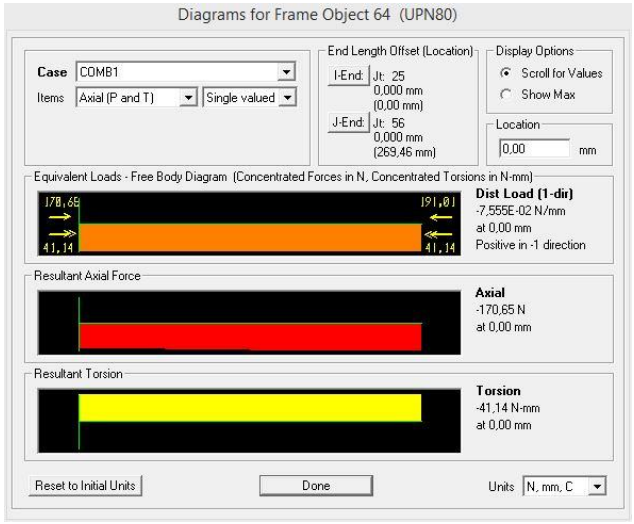
x = 0 mm :



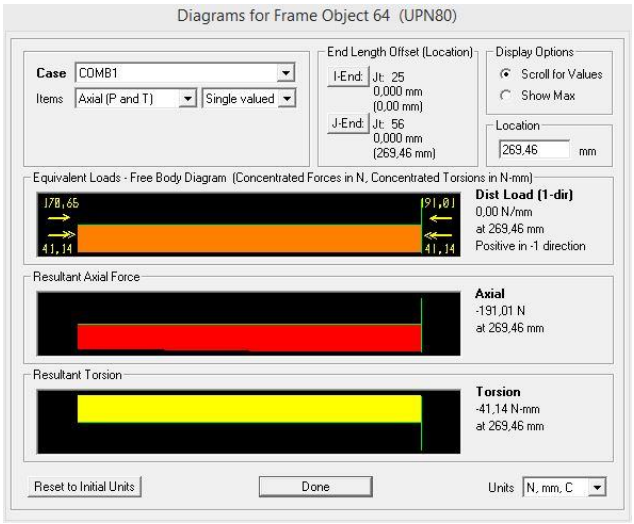


Barre n° = 22’

x = 0 mm :

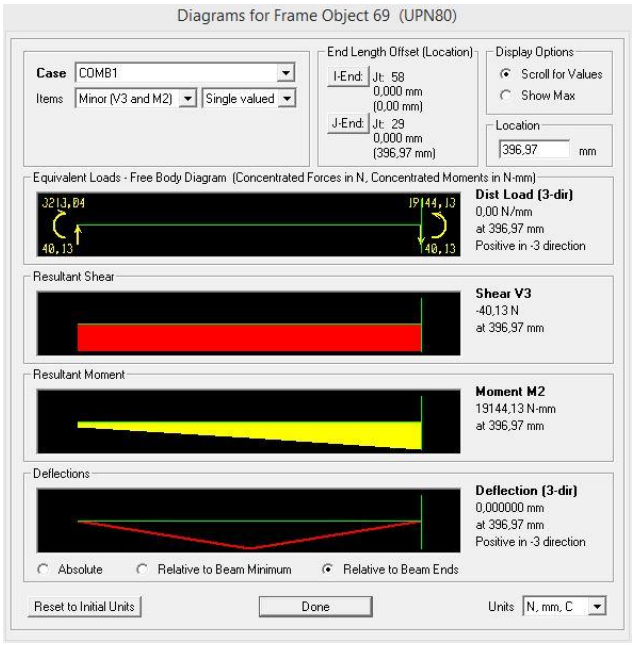


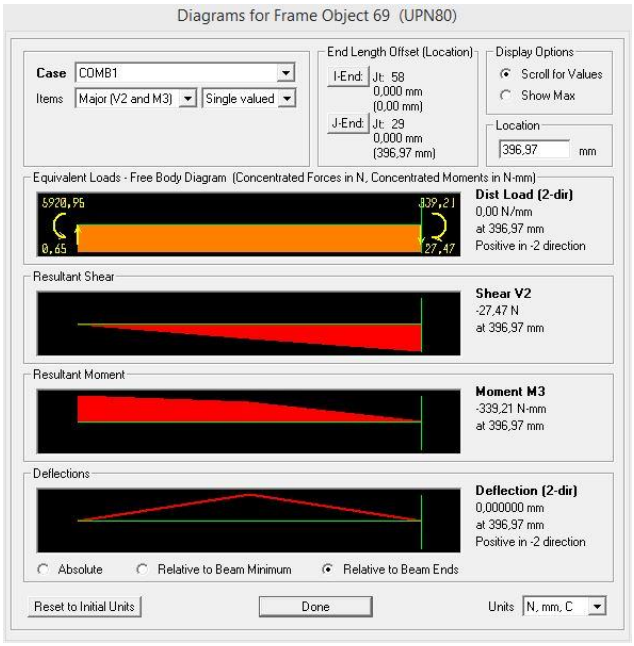
x = 269.46 mm :

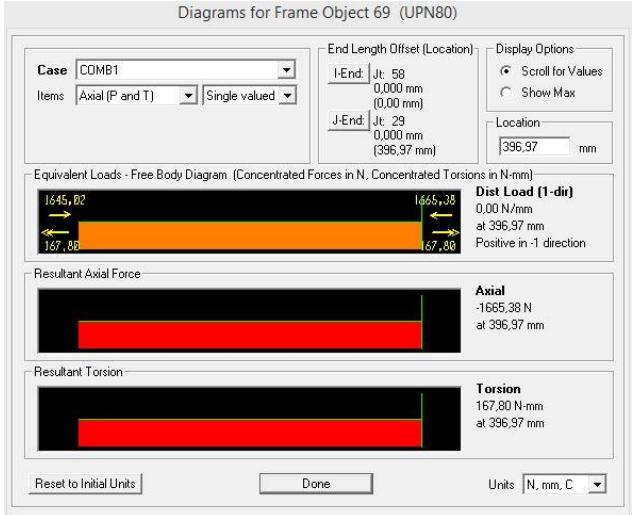


Barre n° = 23

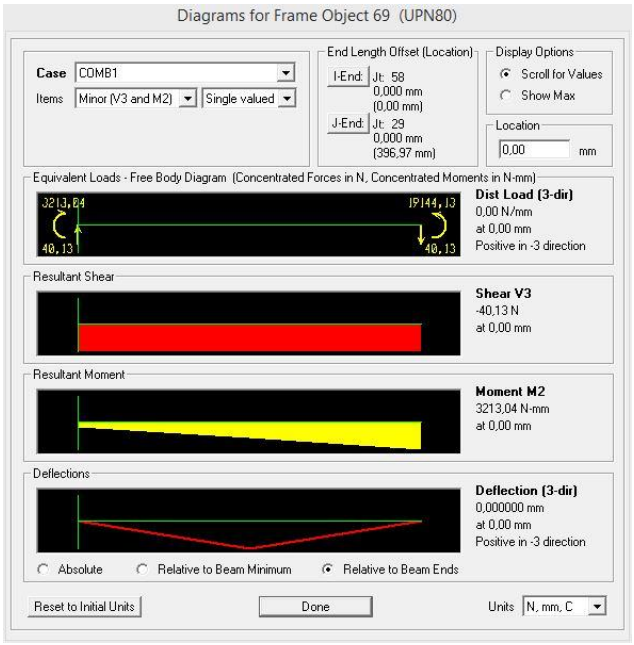
x = 396.97 mm :

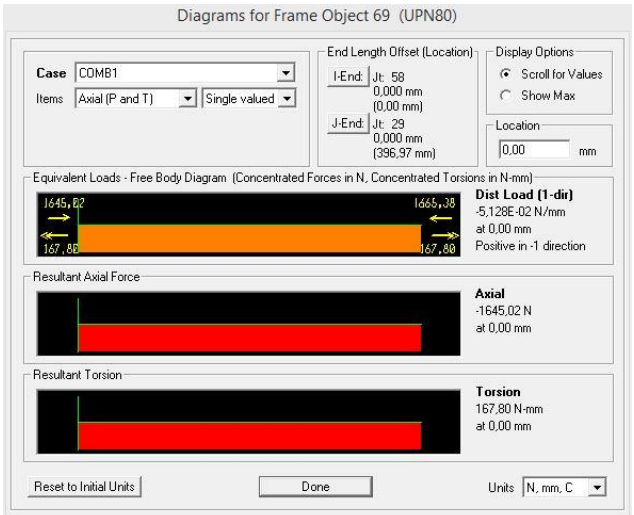






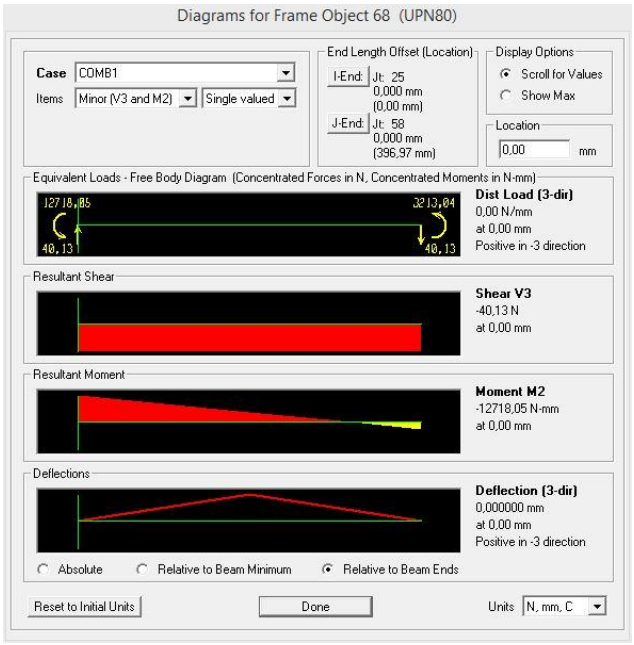
x = 0 mm :

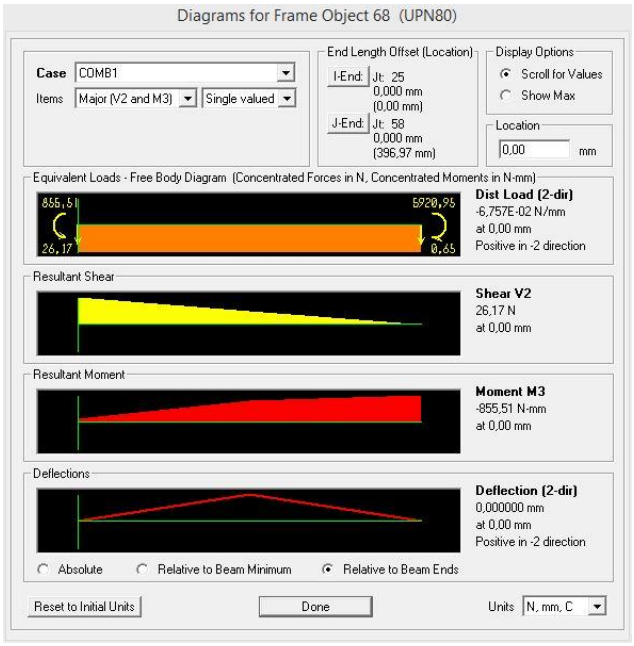


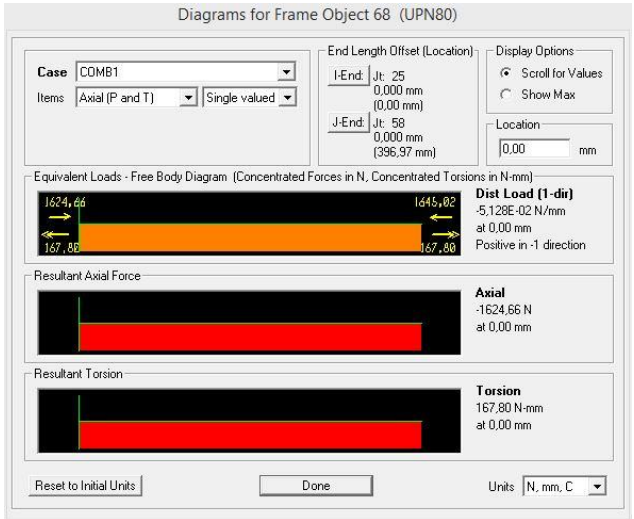


Barre n° = 23’

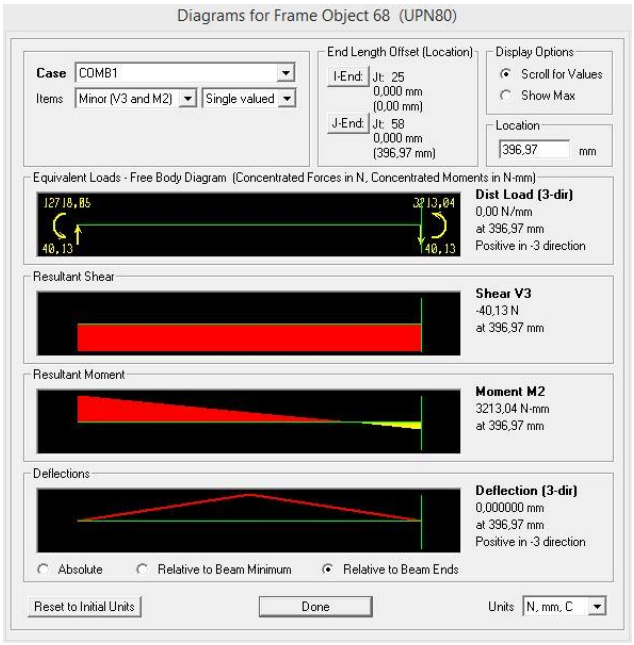
x = 0 mm :

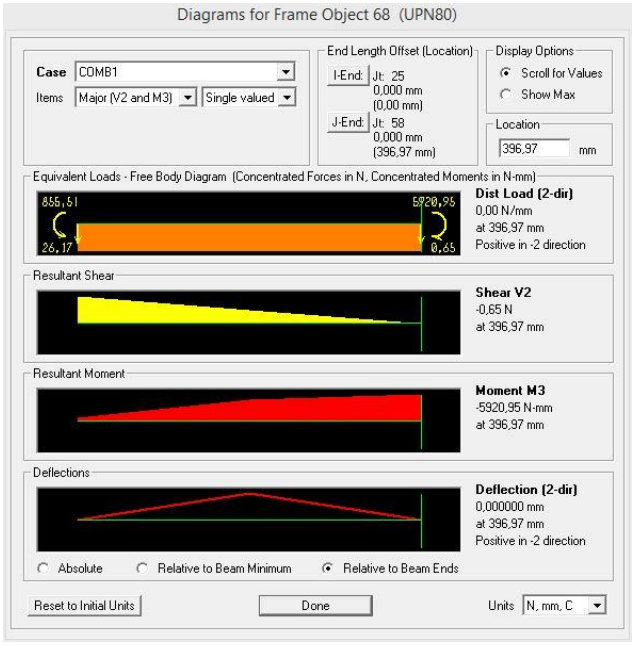


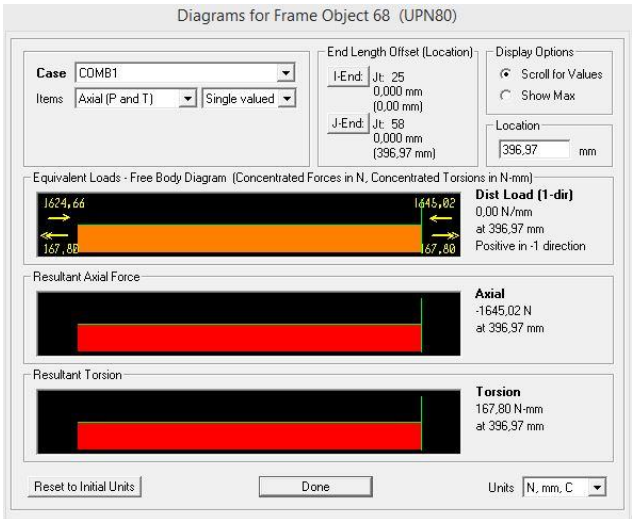




x = 396.97 mm :

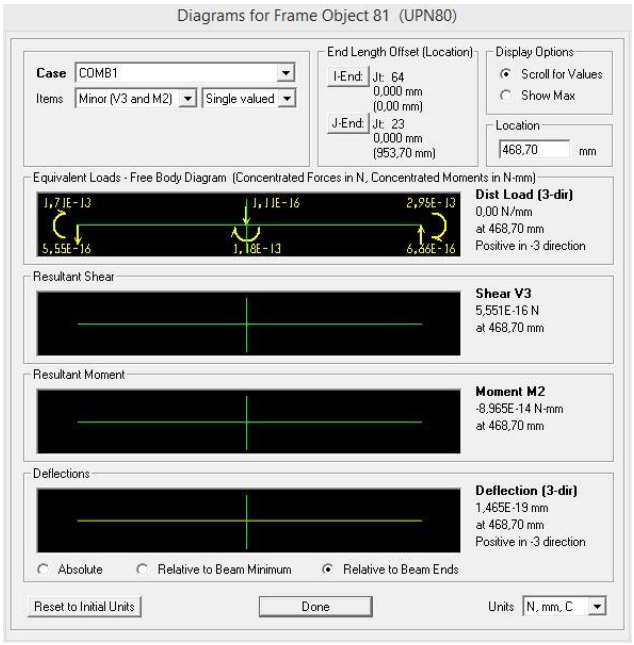


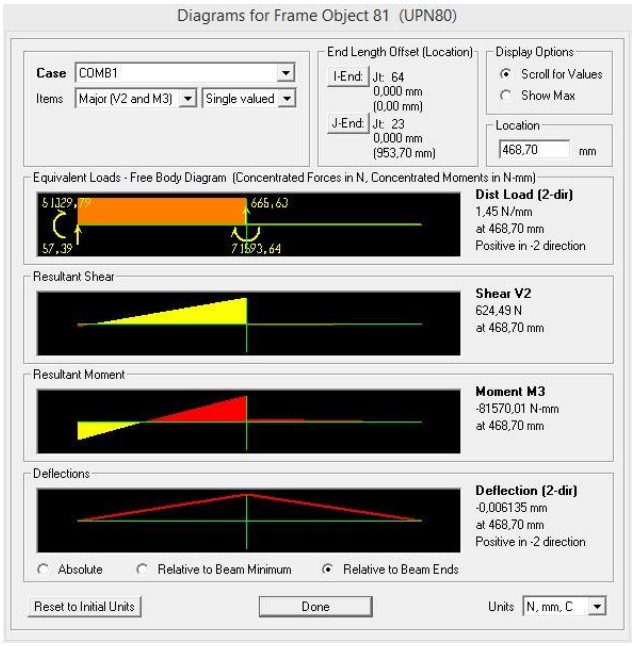


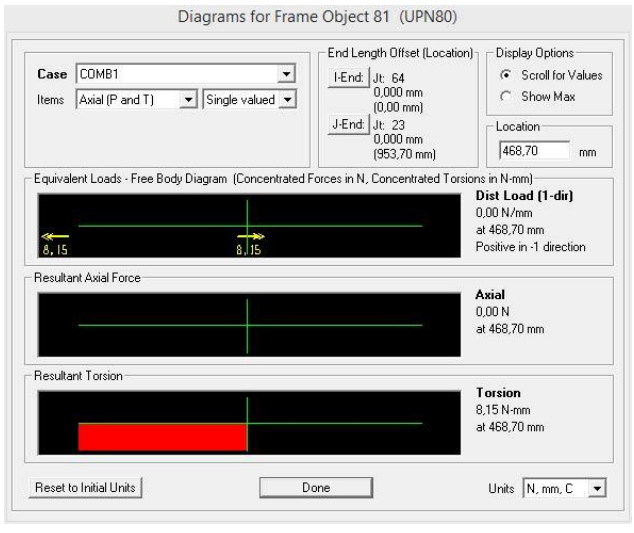


Barre n° = 24

x = 468.70 mm :

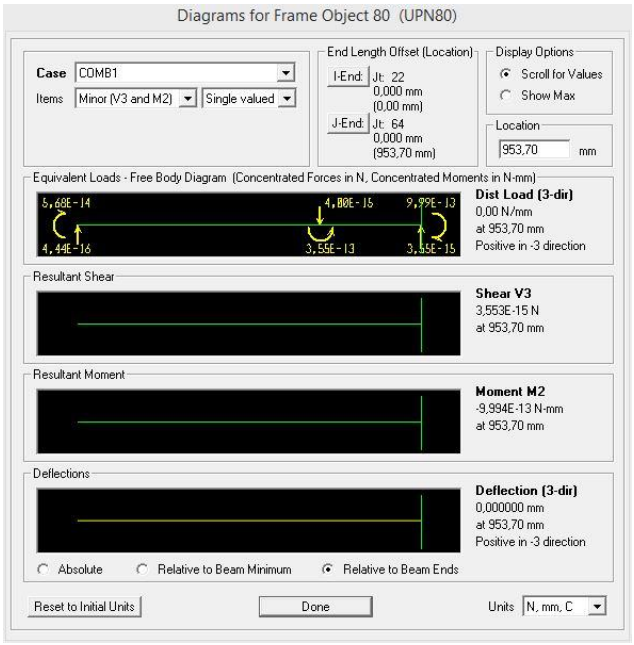


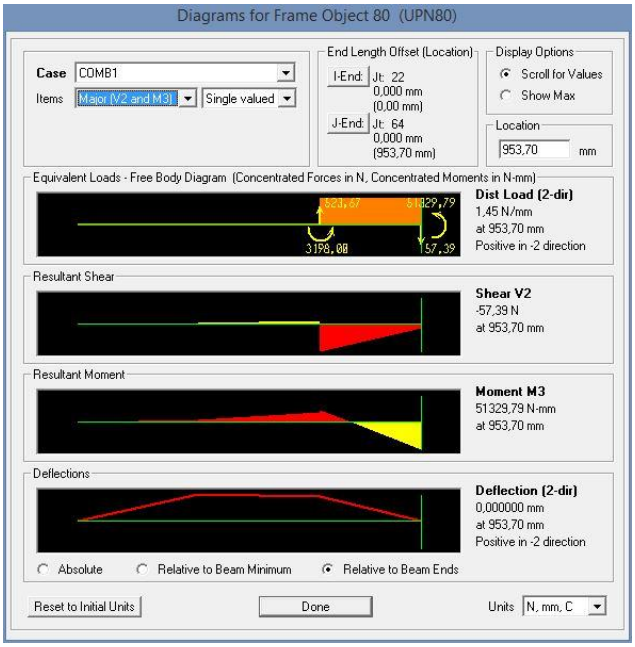


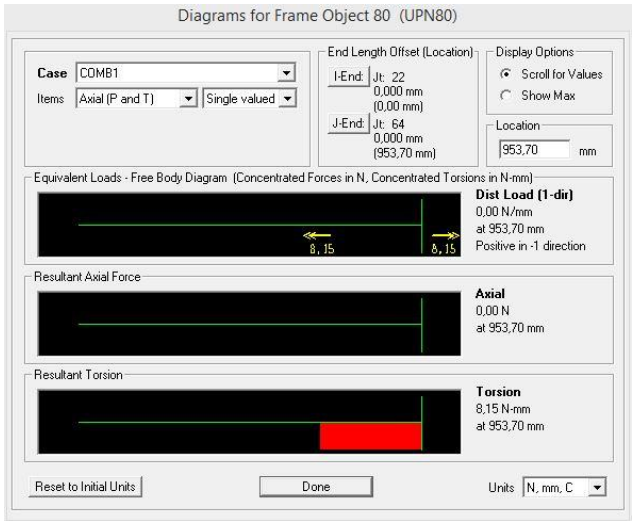


Barre n° = 24’

x = 440 mm :

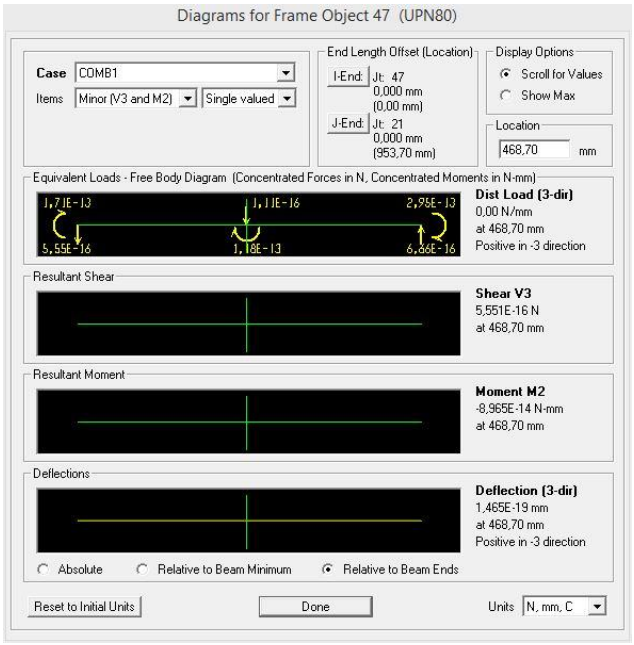


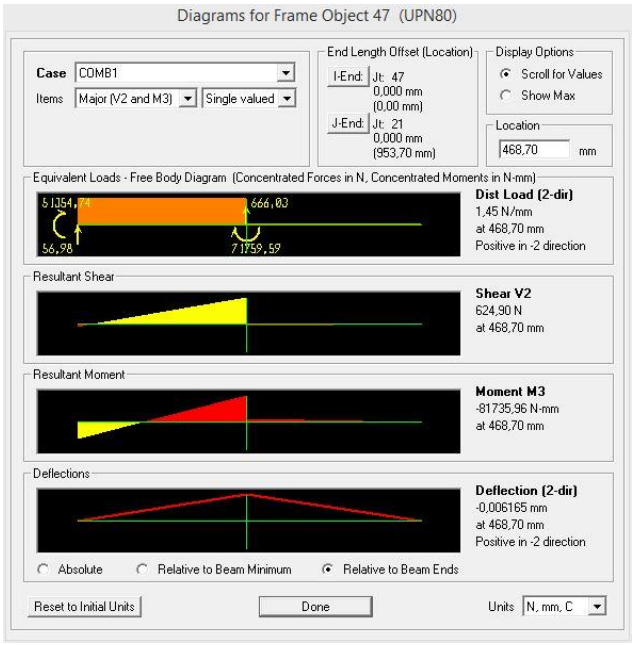


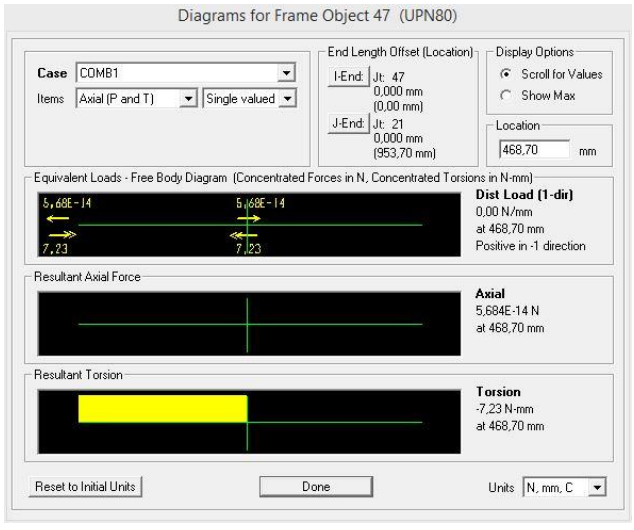


Barre n° = 25

x = 468.70 mm :

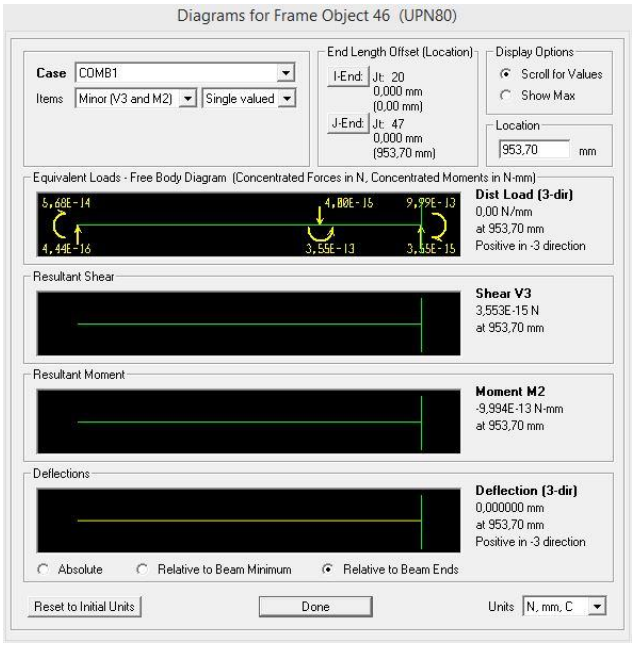


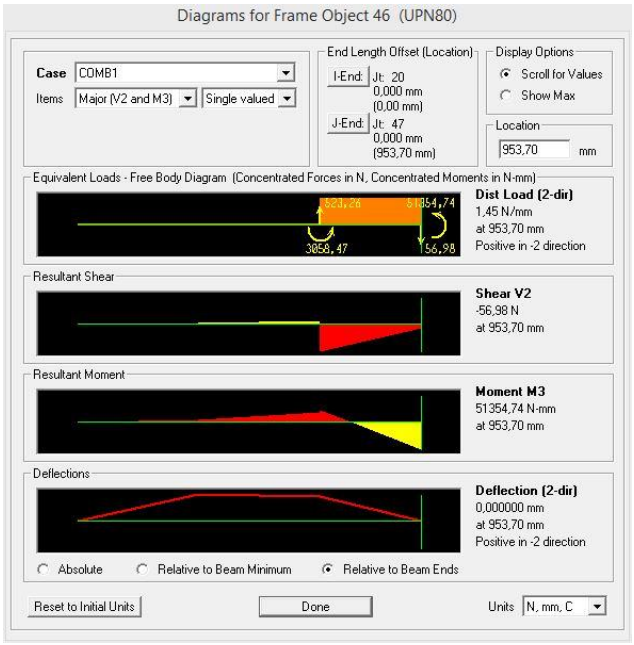


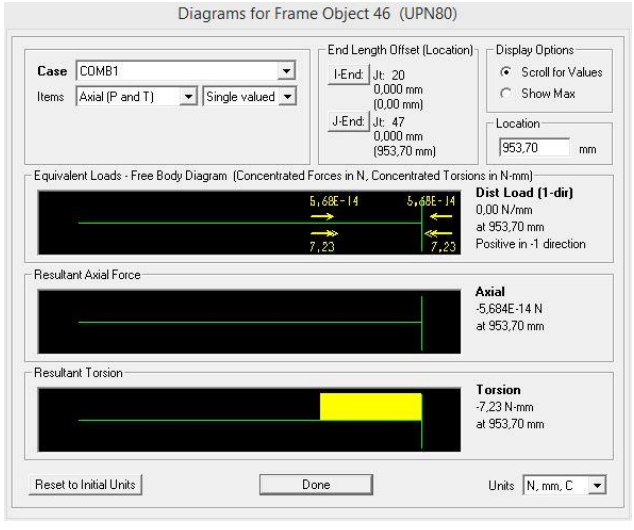


Barre n° = 25’

x = 953.70 mm :

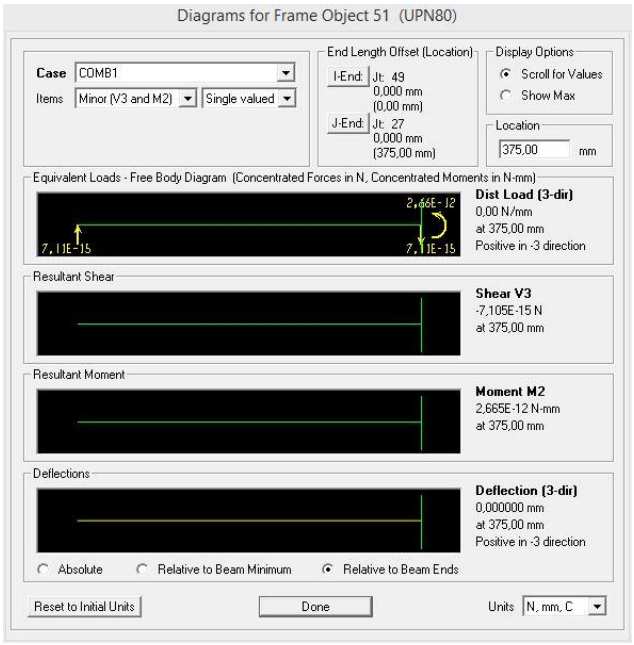


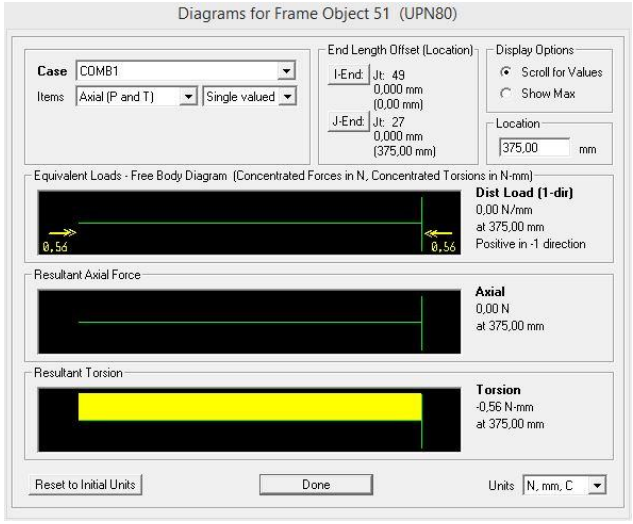




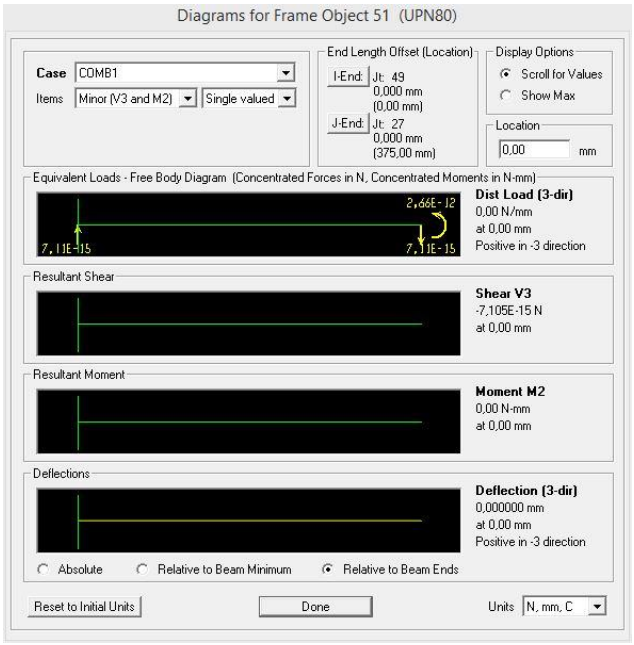
Barre n° = 26

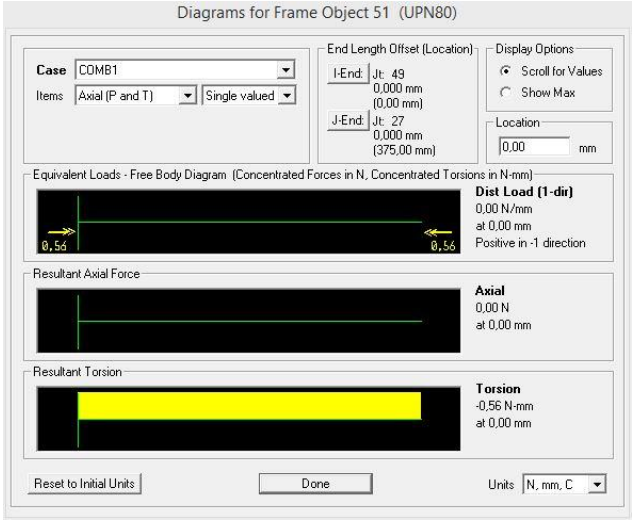
x = 375 mm :





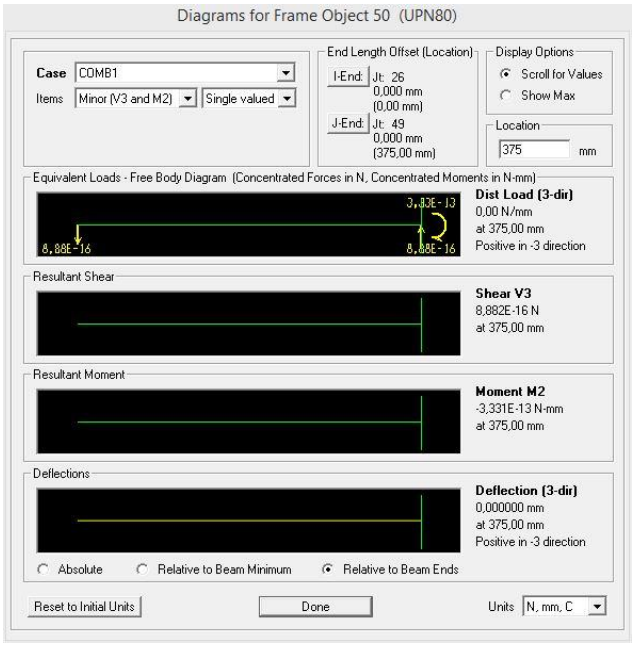
x = 0 mm :

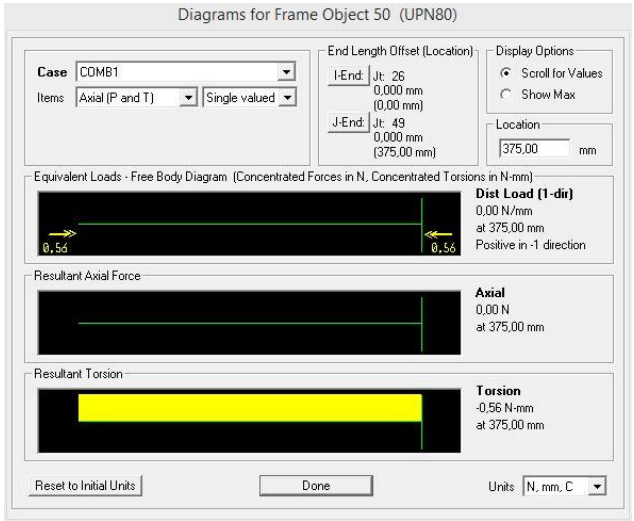




Barre n° = 26’

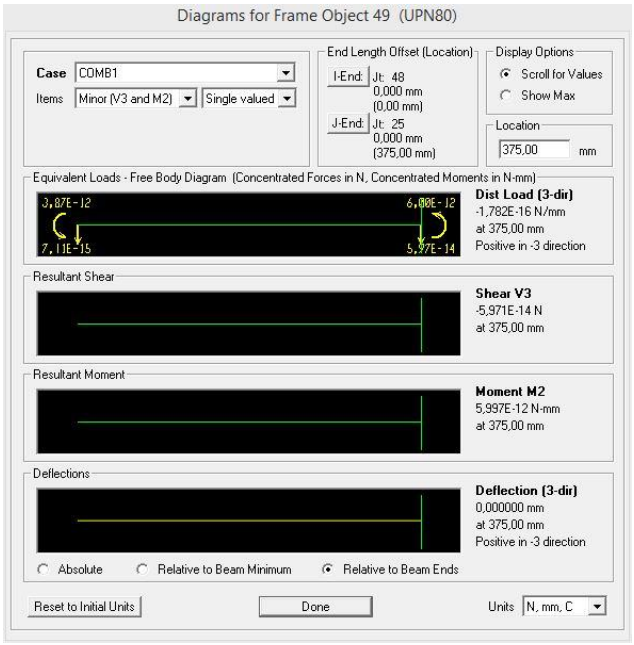
x = 375 mm :

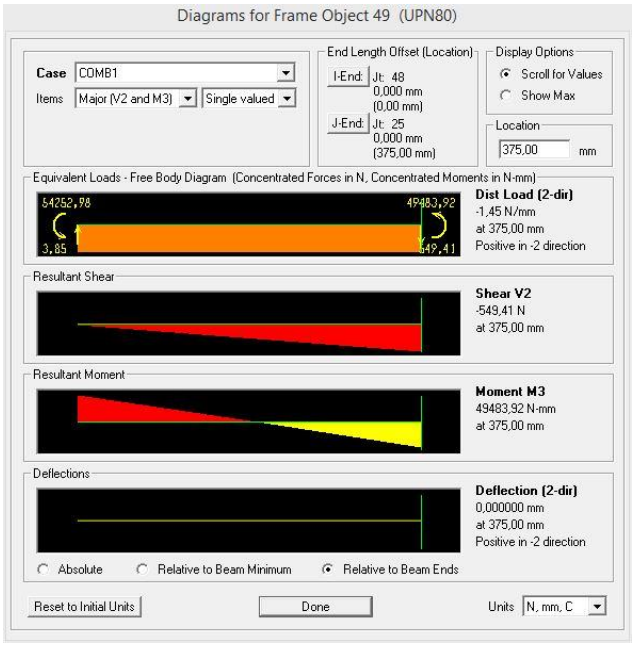


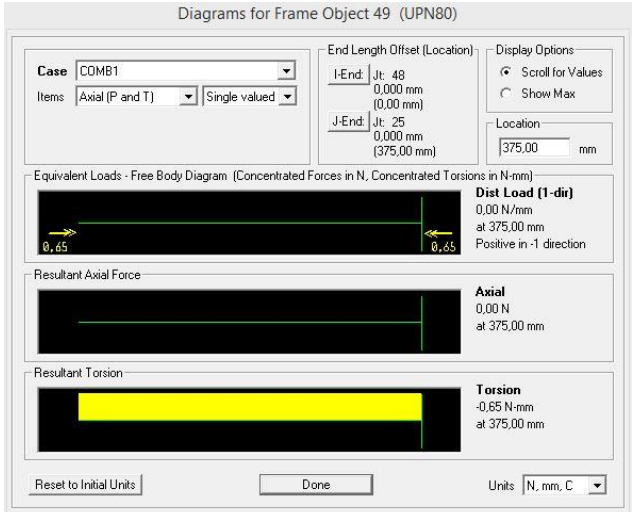


Barre n° = 27

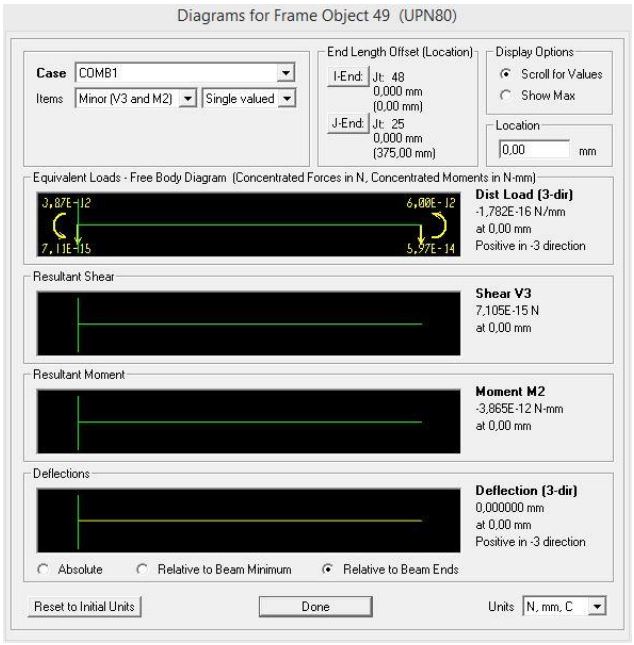
x = 375 mm :

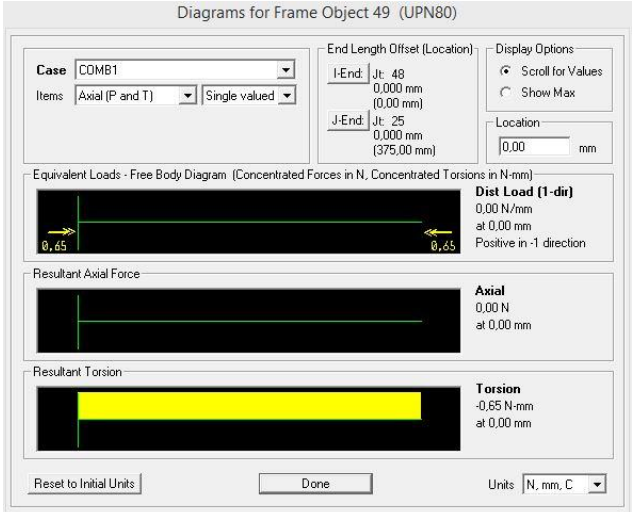






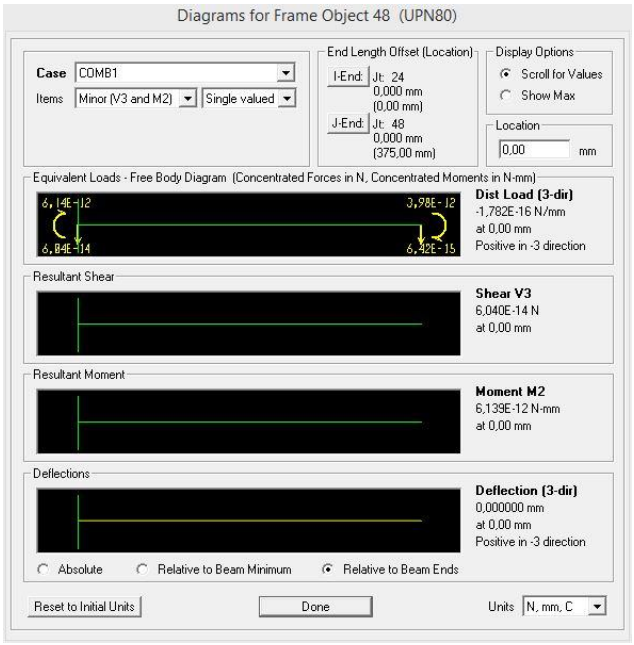
x = 0 mm :

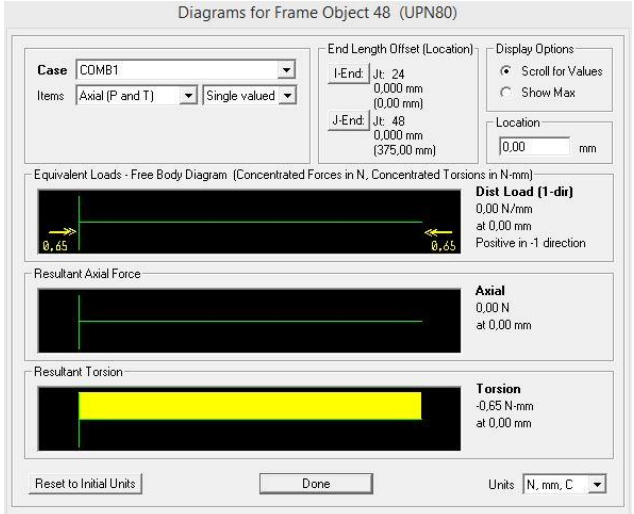




Barre n° = 27’

x = 0 mm :





x = 375 mm :