

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



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

Laboratoire de Structures

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

Titre

CALCUL DU SUPPORT D'UNE ENSACHEUSE PESEUSE AVEC
SAP2000 AVEC REDUCTION DE LA SECTION

Proposé et encadré par :
Pr H.Ferdjani

Réalisé par :
B.Mokrane
A.E.Meziane
A.Alloune

Année universitaire 2019/2020

Remerciements :

*Au terme de ce modeste travail, Nous tenons à remercier **Dieu** tout puissant de nous 'avoir donné le courage et la volonté pour terminer ce travail.*

Nous tenons à exprimer nos profonds remerciements et notre sincère gratitude à notre encadreur *Mr H. FERDJANI* à qui revient le mérite de ce travail.

Nous remercions aussi les membres de notre jury pour avoir accepté d'assister à la présentation de notre projet, prouvant ainsi l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	01
CHAPITRE I : Présentation de l'ensacheuse peseuse et des anciens travaux.....	02
I.1 Présentation de l'Ensacheuse peseuse.....	02
I.2 Géométrie et les dimensions.....	05
I.3 Propriétés du profilé utilisé dans les anciens travaux.....	08
I.4 Présentation des anciens travaux.....	08
I.4.1 Travail de Hennane [1].....	09
I.4.2 Travail de Midoune [2].....	12
I.4.3 Travail de Hanini [3].....	15
Chapitre II : Réduction de la Section du Support.....	20
II.1 Introduction.....	20
II.2 Propriété de nouveau profilée utilisée.....	20
II.3 Modélisation de la structure par SAP2000.....	21
II.3.1 Structure modélisée.....	21
II.3.2. Vérification de l'orientation des axes locaux.....	22
II.3.3. Condition des appuis.....	29
II.3.4. Application des charges.....	30
II.3.5. Introduction des articulations.....	31
II.3.6. Maillage.....	31
CHAPITRE III : Vérification de la résistance du support.....	32
III.1 Introduction.....	32
III.2 Les efforts internes dans sap2000.....	32
III.3 Propriétés de la section et efforts internes.....	35
III.4 Calcul des contraintes et vérification de la résistance.....	36
III.5 Exemple de calcul.....	37

Sommaire

III.6 Les contraintes équivalentes maximales.....	45
III.7 Les déplacements.....	47
III.8 Comparaison entre ancien travail.....	49
Chapitre IV : Vérification du flambement.....	50
IV.1 Vérification de la résistance au flambage.....	50
IV.2 Présentation des résultats.....	51
IV.3 Calcul de la charge critique.....	52
CONCLUSION GENERALE.....	53

Liste des figures

Liste Des Figures :

CHAPITRE I :

Figure I.1 : Composants de l'ENSACHEUSE PESEUSE.

Figure I.2 : Dimensions de la structure

Figure I.3: vue de face du support [1]

Figure I.4 : vue de droite du support [1]

Figure I.5 : vue de dessus du support [1]

Figure I.6 : structure en 3D

Figure I.7 : Forme finale de l'ancien support

Figure I.8 : Zone de rétrécissement du support.

Figure I.9 : Maillage final.

Figure I.10 : Contraint de Von mises de la structure.

Figure I.11 : Déplacement globale maximal dans la structure.

Figure I.12 : Déplacement maximal suivant X dans la structure.

Figure I.13 : Déplacement suivant Y dans la structure.

Figure I.14: Déplacement maximal suivant Z dans la structure .

Figure I.15 : le maillage final

Figure I.16: Déformée et déplacement maximal suivant X

Figure I.17: Déformée et déplacement maximal suivant Y

Figure I.18: Déformée et déplacement maximal suivant Z.

Figure I.19 : facteurs de flambement

Figure I.20 : premier mode de flambement

Figure I.21 : Déformée et déplacement maximal suivant X

Figure I.22: Déformée et déplacement maximal suivant Y

Figure I.23 : Déformée et déplacement maximal suivant Z

Figure I.24: Facteurs de flambement

Figure I.25: premier mode du flambement

CHAPITRE II :

Figure II.1 : Dessin final de la structure modélisée par SAP2000.

Figure II.2 : orientations des axes 2 et 3.

Figure II.3 : Les axes locaux. (1 rouge, 2 blanc, 3 bleu).

Figure II.4 : sélections des barres mal orientées.

Figure II.5 : Changement d'orientation des axes locaux (barres 1 et 4) (verticales)

Figure II.6 : l'orientation finale des barres.

Figure II.7: l'orientation finale des barres.

Figure II.8 : condition des appuis

Figure II.9 : Charge appliquée sur la structure.

Figure II.10: Sélection des barres articulées-articulées.

CHAPITRE III :

Figure III.1 : diagramme du moment de torsion M_t

Figure III.2 : diagramme de l'effort normal.

Figure III.3: diagramme du moment fléchissant M_2 .

Figure III.4: diagramme du moment fléchissant M_3 .

Figure III.5: Dimensions de la section [3]

Figure III.6: valeur de M_3

Figure III.7: valeur de M_2

Figure III.8: valeur de N et M_t

Figure III.9: valeur de M_3

Figure III.10 : valeur de M_2

Figure III.11: valeur de N et M_t .

Figure III.12: valeur de M_3 .

Figure III.13: valeur de M_{2max} .

Figure III.14: valeur de N et M_t .

Figure III.15: contrainte équivalente MAX (barre 15).

Figure III.16 : Déformée et déplacement maximal suivant X.

Figure III.17: Déformée et déplacement maximal suivant Y.

Figure III.18: Déformée et déplacement maximal suivant Z.

CHAPITRE IV :

Figure IV.1: Facteurs de flambement.

Figure IV.2: premier mode de flambement.

Liste des tableaux :

CHAPITRE I :

Tableau I.1 : Dimensions de la section droite de ce profilé.

Tableau I.2 : comparaison des déplacements.

CHAPITRE II :

Tableau II.1 : dimensions de la section droite du profilé utilisé.

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

CHAPITRE III :

Tableau III.1: Contrainte équivalente maximale de chaque barre .

Tableau III.2 : comparaison des déplacements.

INTRODUCTION GENERALE

L'ensacheuse-peseuse est un mécanisme utilisé pour la pesée et la mise en sac de divers produits poudreux et granuleux. L'entreprise 'SARL HALLOUYA MOUSSAOUI' a conçu un support pour ce mécanisme. Dans un premier travail, Hennane[1] a utilisé le logiciel AUTODESK pour modéliser la structure et tester sa résistance. La résistance s'est avérée insuffisante. Un renforcement du support a été proposé et testé positivement. Afin de confirmer les résultats de Hennane[1], et de vérifier la stabilité de la structure par rapport au phénomène du flambement, Midoune[2] a utilisé le logiciel SAP2000 en supposant que tous les éléments de la structure sont parfaitement collés. Les tests de résistance et de flambement se sont avérés positifs. Cependant les résultats ont montré que la structure est très largement surdimensionnée. Nous précisons que dans tous les précédents travaux la section choisie est l'UPN80. L'hypothèse de liaison parfaite étant trop forte, Hanini[3] a refait les calculs de Midoune[2] en supposant que toutes les liaisons de la structure sont articulées. Les tests de résistance et de flambement se sont avérés positifs, et ils ont montré qu'avec cette hypothèse la structure est beaucoup moins résistante.

L'objet de ce travail, est de redimensionner et de tester la structure en réduisant sa section, et en utilisant SAP2000. Nous utilisons la section UPN50. Afin de se mettre dans le cas le plus défavorable, nous supposons que toutes les liaisons sont articulées.

Notre mémoire se divise en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présentons l'ensacheuse Peseuse et un résumé des l'ancien travail.
- Dans le deuxième chapitre, nous détaillons la modélisation du support avec SAP2000 avec une section UPN50 et les articulations. Nous vérifions également les orientations des axes locaux pour chaque élément.
- Dans le troisième chapitre, on présente les efforts internes calculés par SAP2000. On calcule également la contrainte équivalente de Von Mises pour chaque barre. Nous vérifions également la résistance de la structure.
- Dans le quatrième chapitre, nous vérifions la stabilité de la structure par rapport au flambement.
- Nous terminons par une conclusion générale.

CHAPITRE I

Présentation de l'Ensacheuse Peseuse et des anciens travaux

I.1 Présentation de l'ENSACHEUSE PESEUSE : [1]

Cet appareil est conçu pour le remplissage automatique de sacs de 5 à 50 kilos. Il peut traiter aussi bien des poudres que des granulés. Cette ensacheuse est équipée de 2 trémies de pesage en acier ordinaire, chacune d'un volume de 50 kg. L'ensacheuse fonctionne automatiquement et est dirigée par l'indicateur de poids (réglable). En cas de panne, elle peut également fonctionner manuellement. L'opérateur présente le sac autour de la goulotte et dès que le sac est serré autour de cette goulotte, le produit, pesé dans la trémie peseuse, tombe dans le sac. Du moment que le sac est rempli, il est libéré de la goulotte et il est posé sur le convoyeur qui l'évacue vers la machine à coudre ou à souder (Figure I.1).

I.1.1 Produits traités :

Poudre et granulés : pellets, aliments bétail, pré-mix, céréales, farine, lessive en poudre, plâtre, enduits, produits chimiques...

I.1.2 Structure :

La majorité de la structure est en acier ordinaire, le Poids total de la machine (peseuse et cône) est de 310 Kg.

I.1.3 Composants :

- **Peseuse :** la partie supérieure de la machine est destiné au pesage du produit. Elle est principalement équipée d'une trémie de réception, avec système d'ouverture/fermeture par vérin, de deux capteurs de poids liés à une autre trémie, qui s'ouvre par le biais de deux vérins pneumatiques, pour contrôler la quantité du produit à verser.
- **Cône pour versement du produit :** après avoir dosé le poids, la matière est versée dans les sacs par le biais d'un cône, muni d'un système de vérins pour maintenir les bouches des sacs en position d'ouverture.
- **Banc de couture :** est principalement constitué d'une machine à coudre, de hauteur réglable, et d'un convoyeur de 2,8 m de longueur.

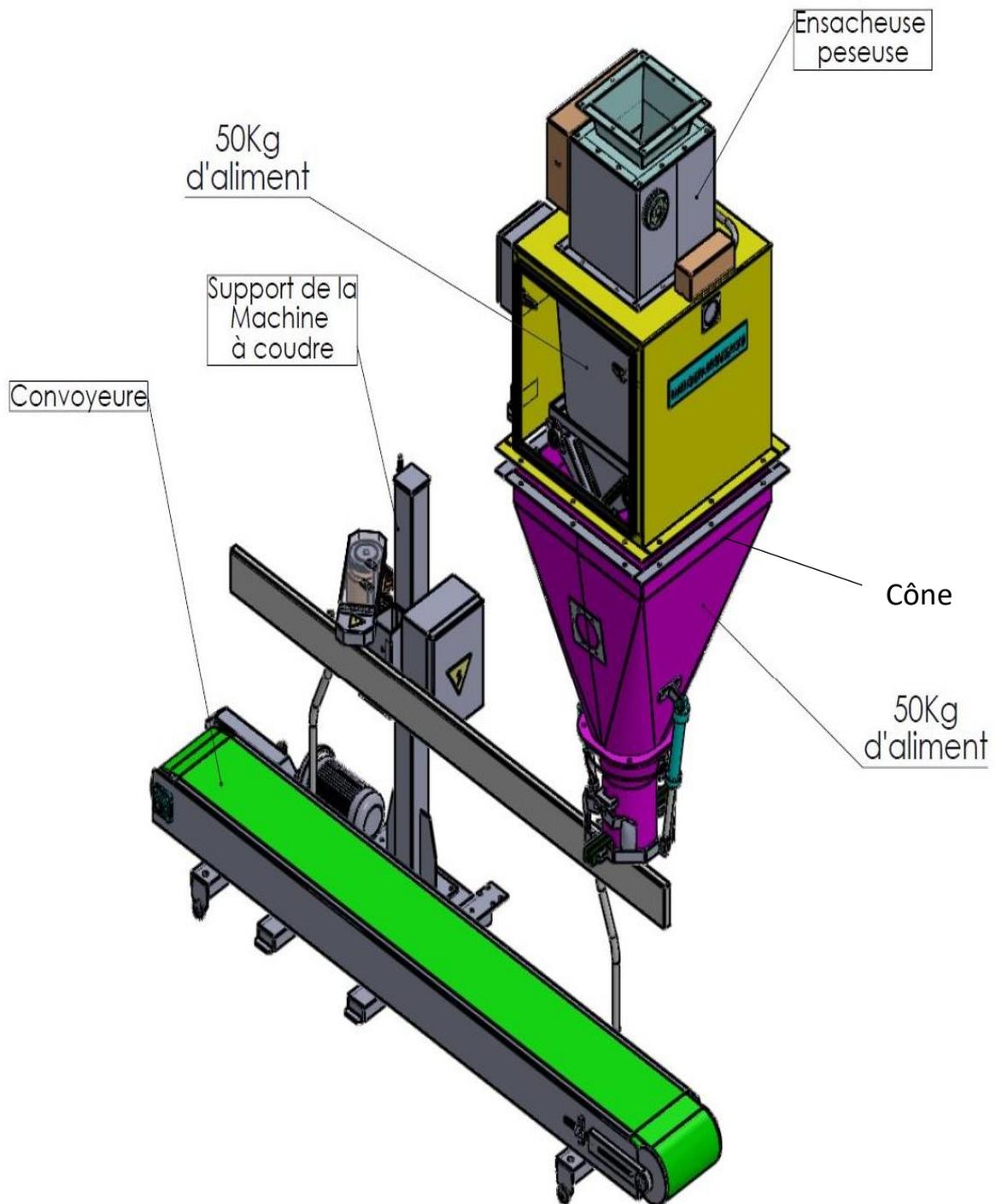


Figure I.1 : Composants de l'ENSACHEUSE PESEUSE.

Nous présentons sur la (Figure I.2) Ci-dessous, les principales dimensions de la structure. [1]

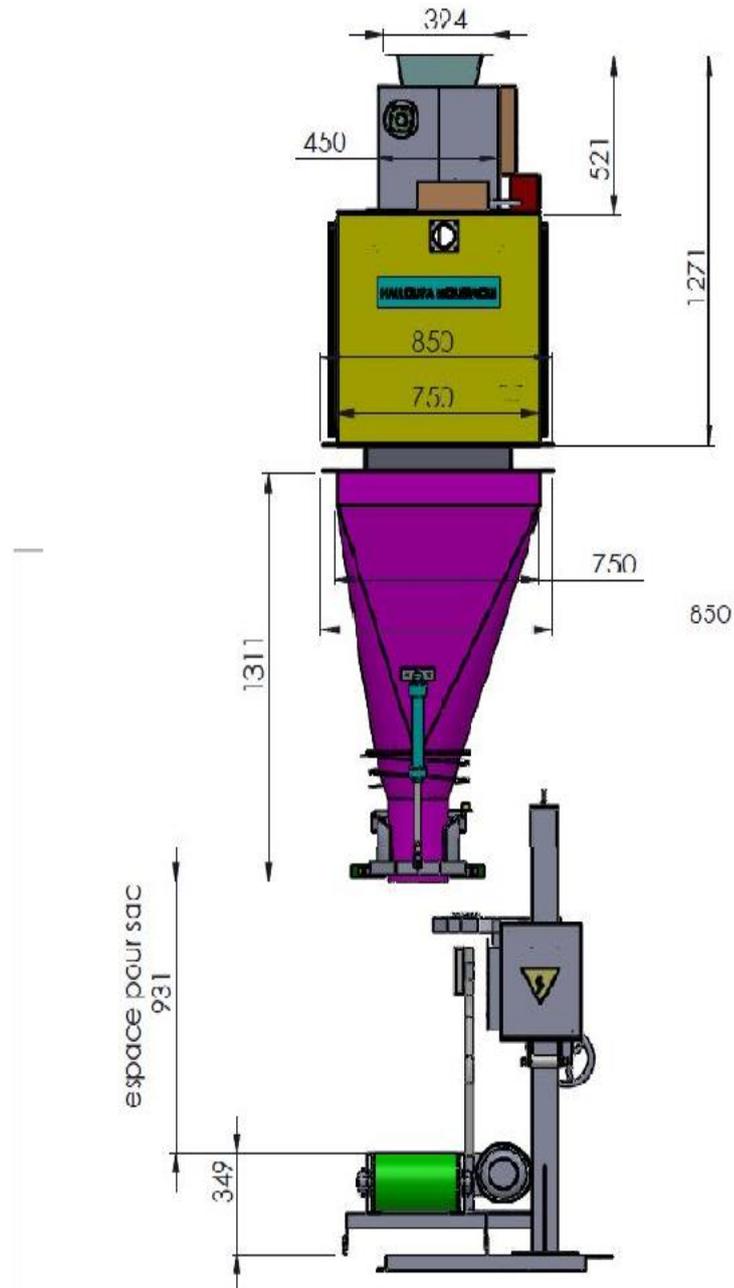


Figure I.2 : Dimensions de la structure.

I.2 Géométrie et les dimensions :

Le support est constitué en charpente métallique. La géométrie et les dimensions sont présentées en 2D sur les figures I.3 ; I.4 ; I.5.

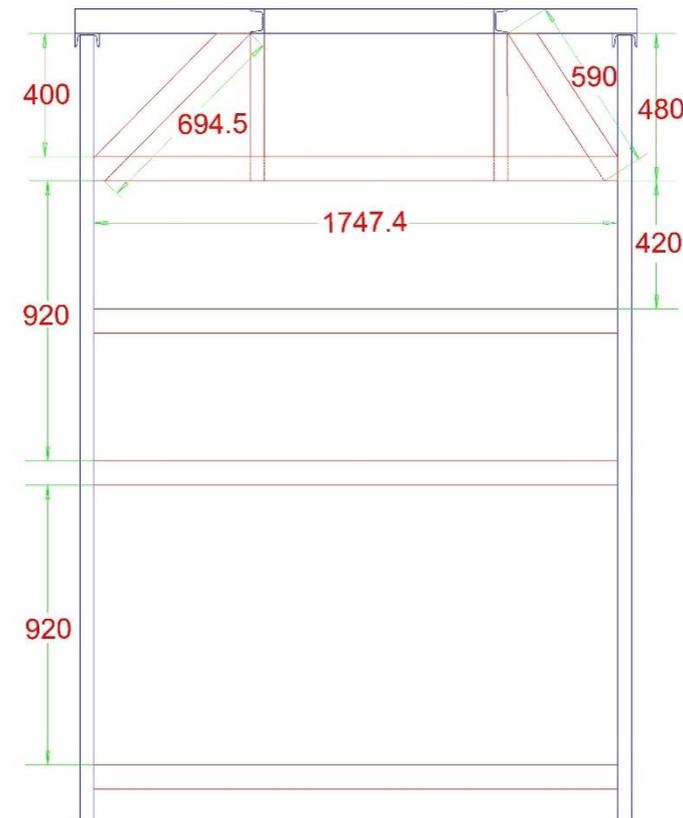


Figure I.3: vue de face du support [1]

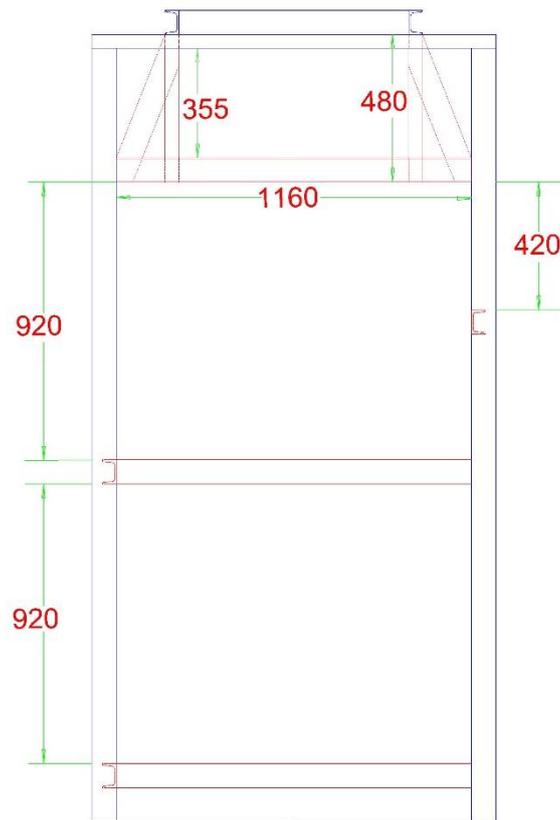


Figure I.4 : vue de droite du support [1]

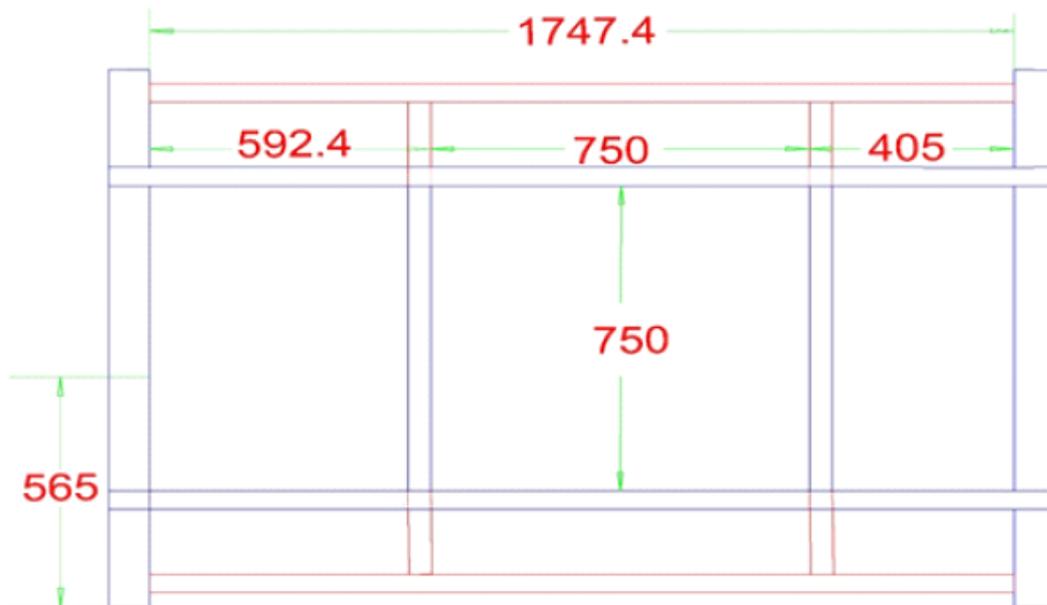


Figure I.5 : vue de dessus du support [1]

Nous présentons sur la Figure I.6 la conception du support en 3D.

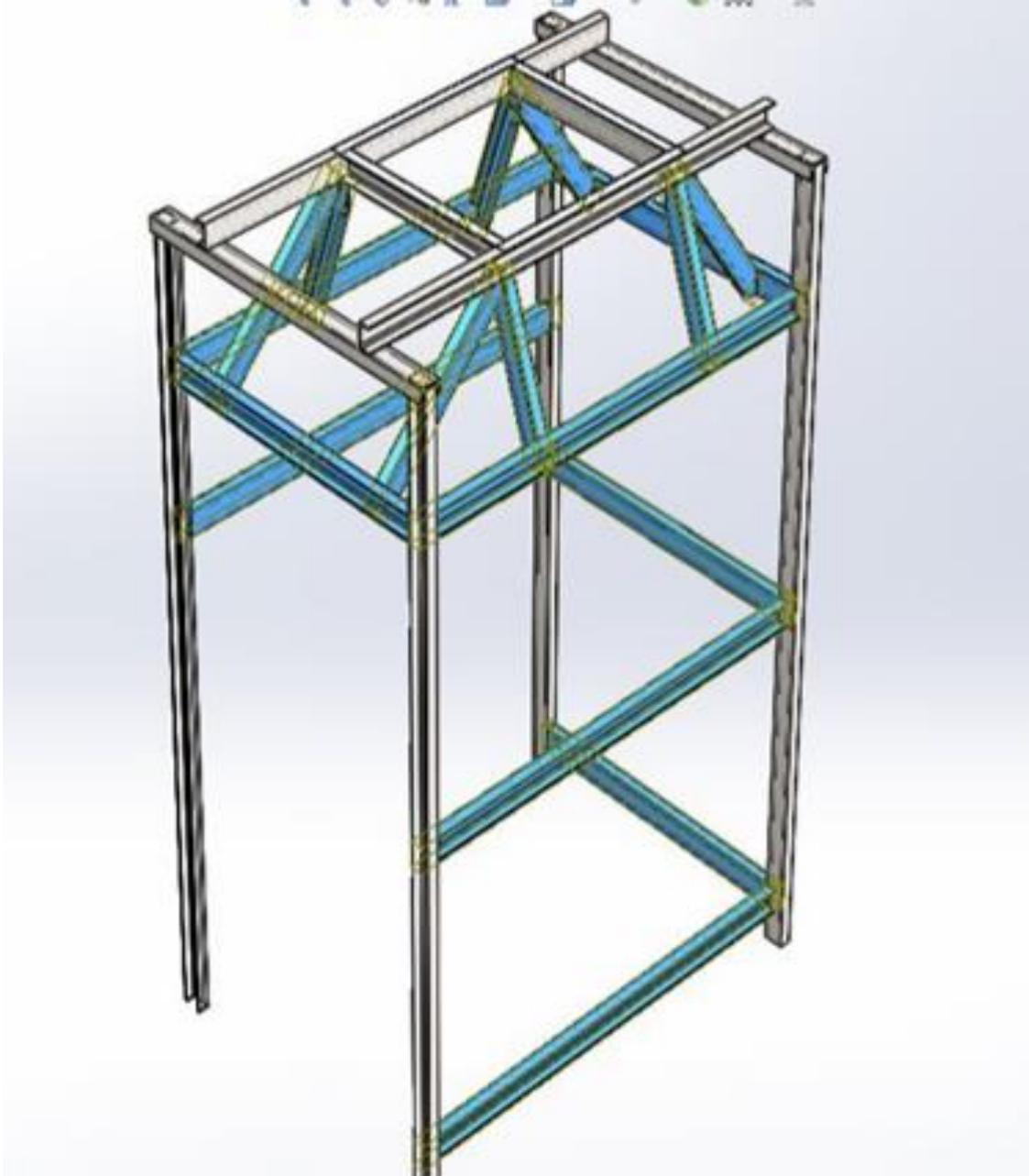


Figure I.6 : structure en 3D

I.3 Propriétés du profilé utilisé dans les anciens travaux :

Toutes les pièces du support étant constituées 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.2 : Dimensions de la section droite de ce profilé.

I.4 Présentation des anciens travaux :

I.4 .1 Travail de Hennane [1] :

Le support a été modélisé par la méthode des éléments finis en utilisant le logiciel Autodesk.

Maillage final :

On présente sur la Figure I.9, la structure maillée,

- Le nombre total d'éléments est de 237419.
- Le nombre total d'nœuds est de 123132.

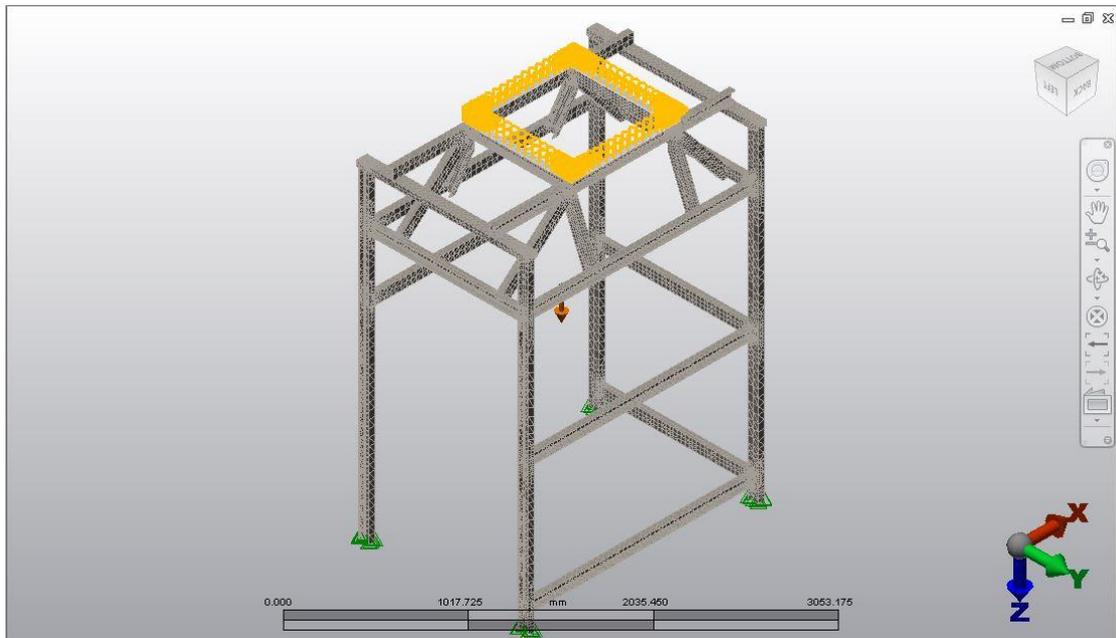


Figure I.9 : Maillage final conditions aux appuis et chargement.

Présentation des résultats :

Nous présentons ci-dessous la contrainte équivalente de Von Mises (Figure I.10) et les déplacements (Figures I.11 à I.12).

- La contrainte maximale de Von mises est $\sigma = 58.51 \text{ N/mm}^2$ (figure I.10) ce résultat est très largement inférieur à la limite élastique de l'acier (250 MPa).

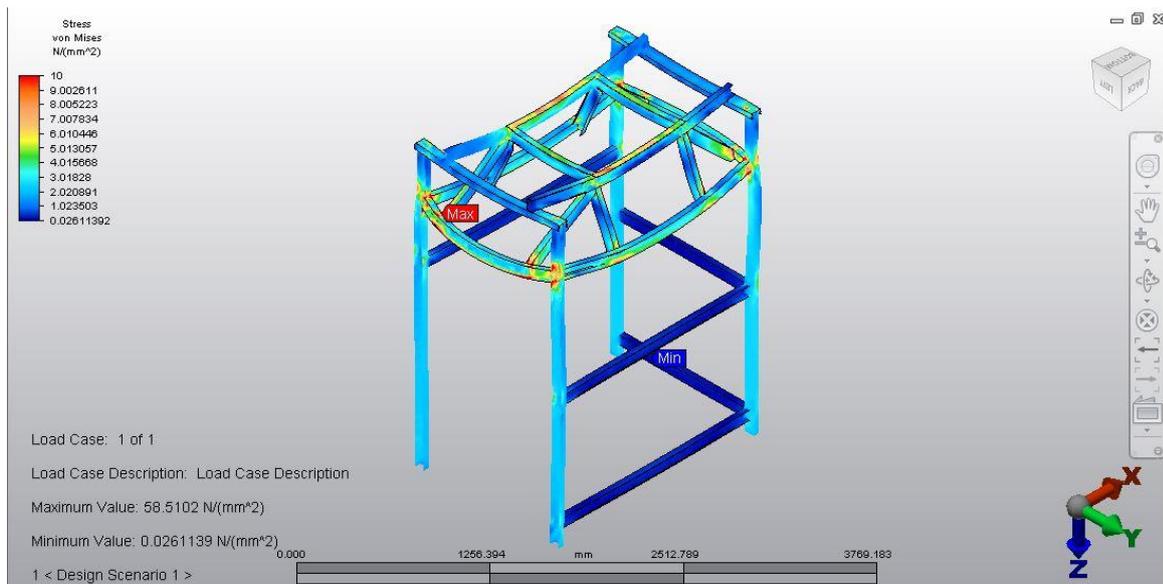


Figure I.10 : Contrainte de Von mises de la structure.

- Le déplacement global maximal est **0.2mm**.(figure I.11)

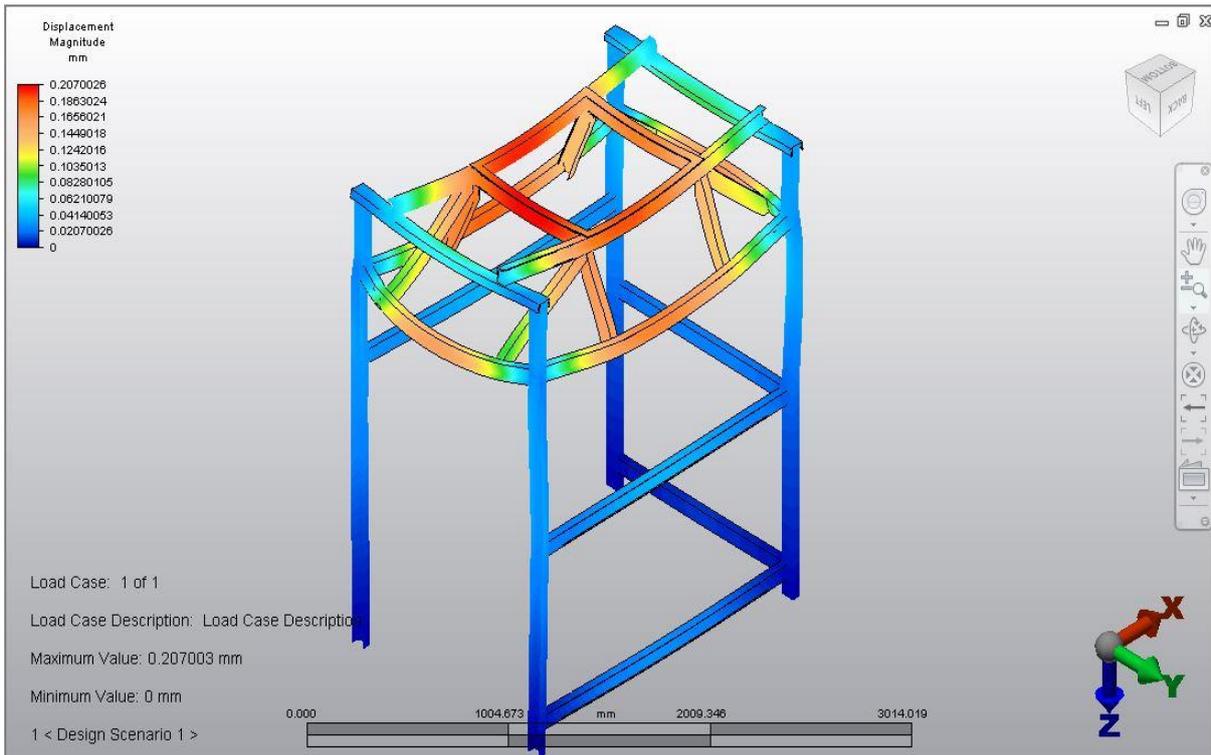


Figure I.11 : Déplacement globale maximal dans la structure.

- Le déplacement maximal suivant l'axe X est : $X_{\max} = 0.12 \text{ mm}$.(figure I.12).

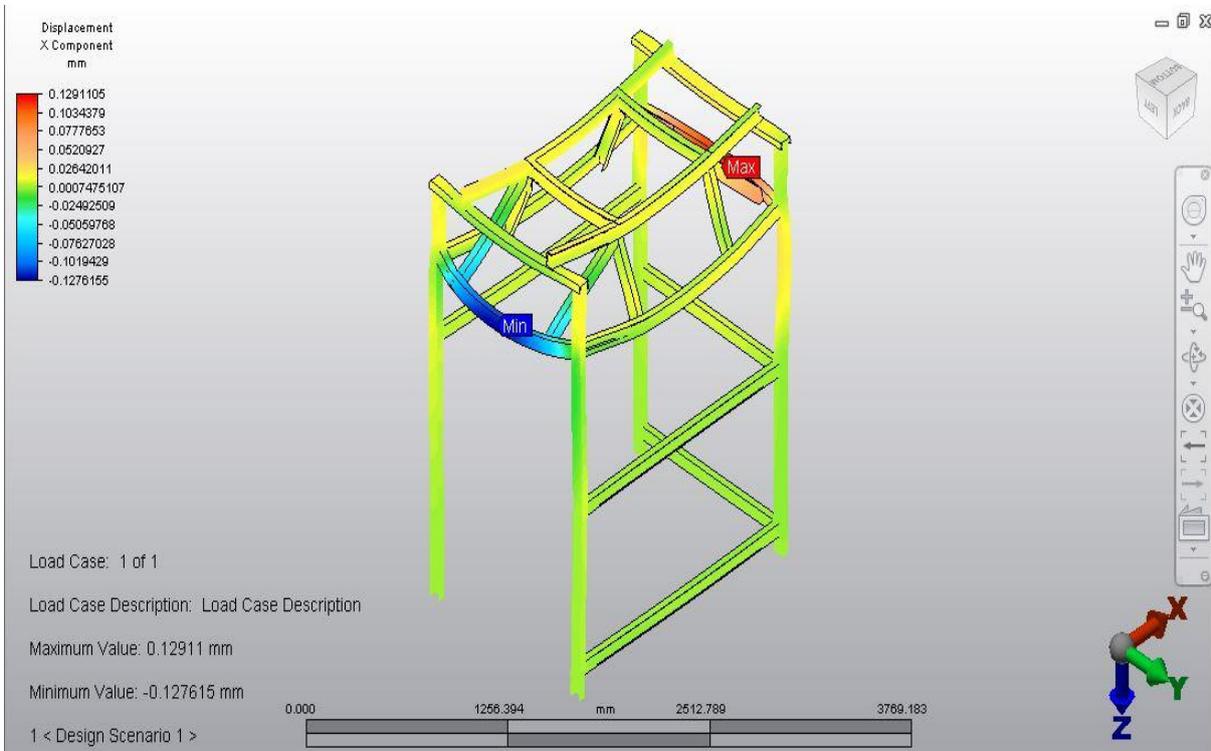


Figure I.12 : Déplacement maximal suivant X dans la structure.

Chapitre I : Présentation de L'ensacheuse Peseuse Et des Anciens Travaux

- Le déplacement maximal suivant l'axe Y est: $Y_{\max} = 0.028 \text{ mm}$,(figure I.13).

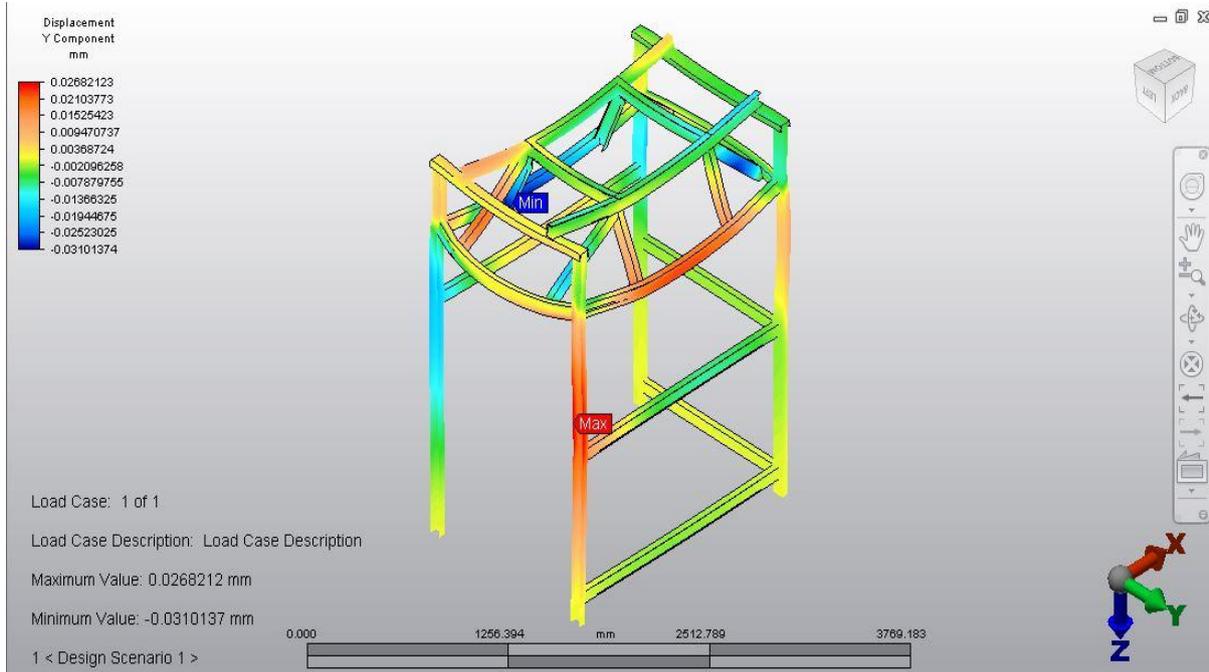


Figure I.13 : Déplacement suivant Y dans la structure.

- Le déplacement maximal suivant l'axe Z est: $Z_{\max} = 0.19 \text{ mm}$,(figure I.14).

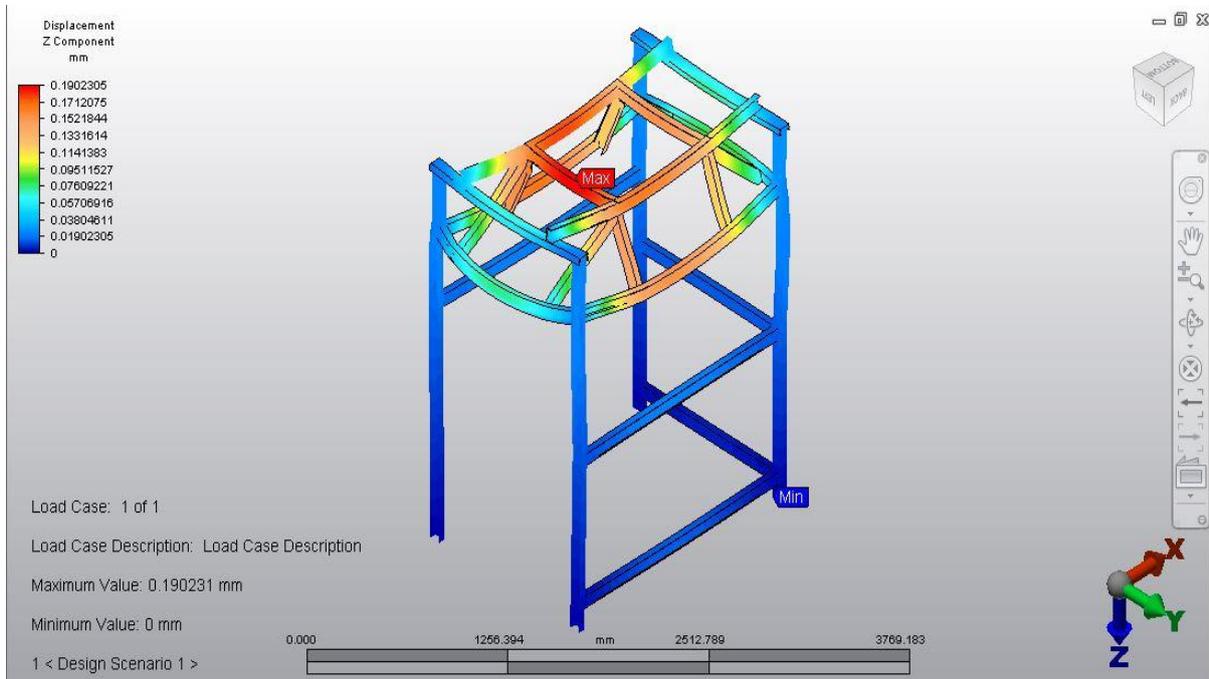


Figure I.14: Déplacement maximal suivant Z dans la structure.

I.4.2 Travail de Midoune [2] :

Les procédures de la modélisation ont été effectuées par SAP2000 en utilisant la méthode des éléments finis. Le maillage, les conditions aux limites ainsi que les conditions aux appuis sont présentés sur la figure (I.15) ci-dessous. La section utilisée pour tous les éléments de la structure est l'UPN80.

Tous les détails concernant les conditions aux limites et le chargement appliqué sont donnés dans [1]. Nous rappelons que toutes les liaisons entre les éléments de la structure sont parfaites.

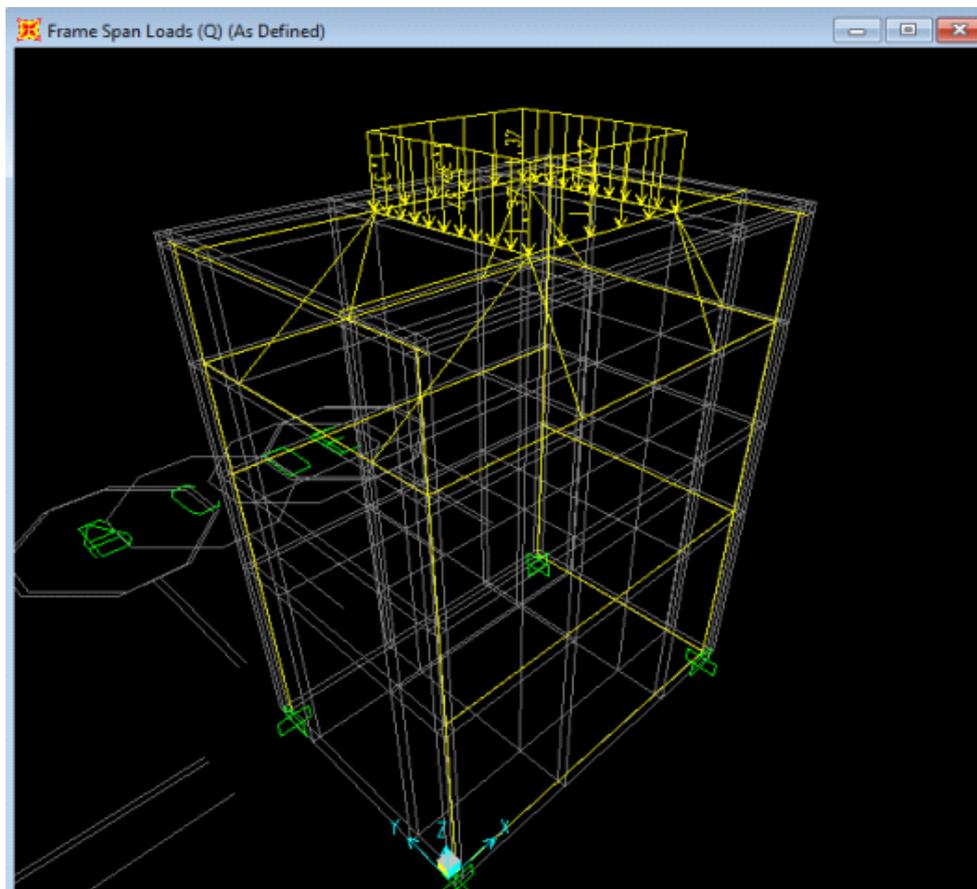


Figure I.15 : le maillage final

I.4.2.A Vérification de la résistance du support

La contrainte équivalente de Von Mises maximale calculée est **9,19 MPa**. Elle est largement inférieure à la limite élastique de l'acier (250 MPa).

1.4.2.B Les déplacements :

Nous présentons la déformée de la structure ainsi que les points où sont situés les déplacements maximums suivant X, Y et Z sur les Figures (I.16, I.17 et I.18) respectivement.

On y observe que :

1. Déplacement maximal suivant l'axe X : $X_{max} = -0.0098$ mm
2. Déplacement maximal suivant l'axe Y : $Y_{max} = 0,0266$ mm
3. Déplacement maximal suivant l'axe Z : $Z_{max} = 0,0942$ mm

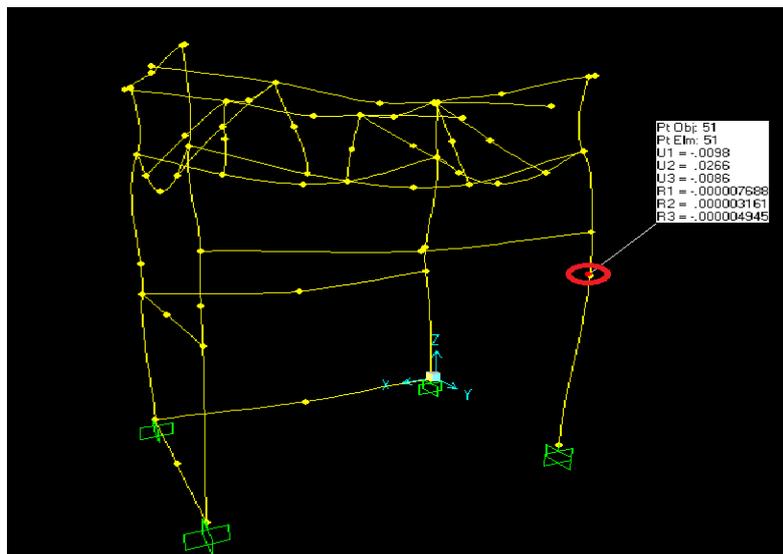


Figure I.16: Déformée et déplacement maximal suivant X

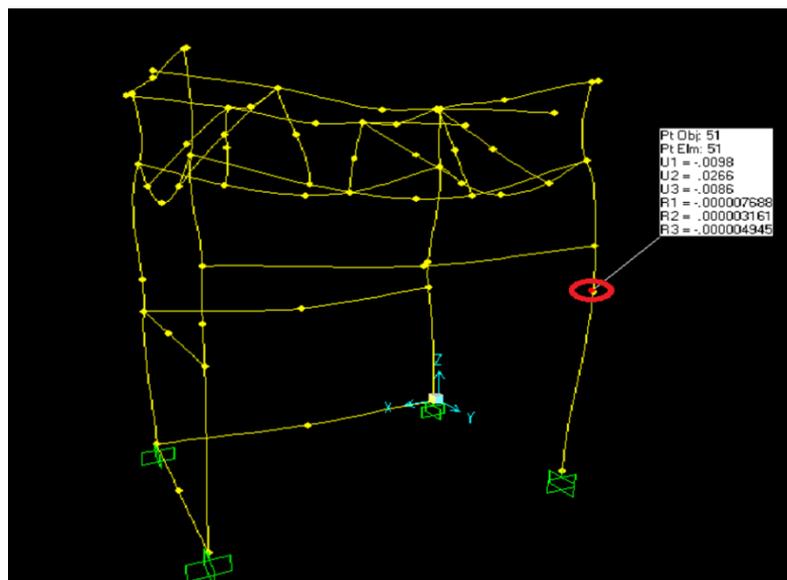


Figure I.17: Déformée et déplacement maximal suivant Y

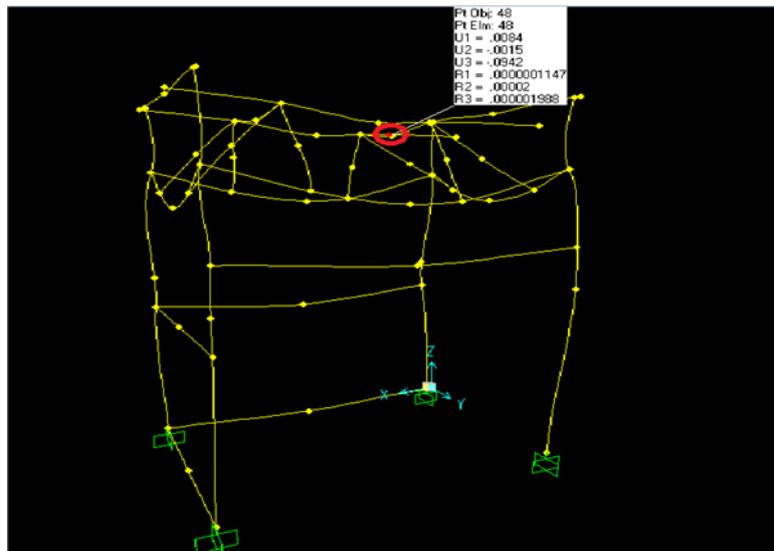


Figure I.18: Déformée et déplacement maximal suivant Z.

Vérification du flambement :

La vérification du flambage d'une barre en compression consiste à comparer l'effort normal exercé sur la barre avec la charge critique.

Le résultat final est présenté sur dans la Figure (I.19) :

Buckling Factors

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

	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	1200.140886
	BUCK1	Mode	12	1210.50241

Record: 1 of 12

Add Tables... Done

Figure I.19 : Facteurs de flambement pour les douze premiers modes

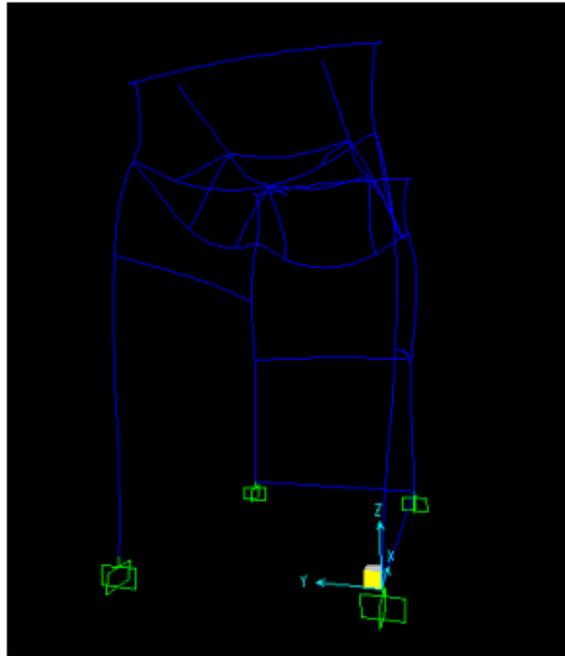


Figure I.20 : premier mode de flambement

1.4.1.D Calcul de la charge critique :

La charge critique correspond au facteur du premier mode :

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

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

1.4.3 Présentation de HANINI [3] :

Le but de ce travail est de reprendre celui de Midoune [1] en allégeant l'hypothèse des liaisons parfaites entre les éléments. Des articulations ont été à la place des liaisons parfaites. Les résultats obtenus ont été comparés avec ceux de Midoune [1].

1.4.3.A Vérification de la résistance du support :

La contrainte équivalente maximale dans la structure est $\sigma_{max} = 21,23 \text{ MPa}$, cette valeur est très largement inférieure à la contrainte admissible de l'acier (250 MPa).

• Comparaison avec Midoune [2] :

La contrainte équivalente maximale dans la structure est supérieure à celle trouvée dans Midoune[1] (9.19 MPa). Ce résultat est parfaitement logique, car l'introduction des articulations rend la structure moins rigide.

I.4.3.B Les déplacements

La déformée de la structure ainsi que les points où sont situés les déplacements maximums suivant X, Y et Z sont présentés sur les Figures I.21, I.22 et I.23 respectivement. On y observe que :

4. Déplacement maximal suivant l'axe X : $X_{max} = -0.2394$ mm
5. Déplacement maximal suivant l'axe Y : $Y_{max} = -0,0827$ mm
6. Déplacement maximal suivant l'axe Z : $Z_{max} = -0,3437$ mm

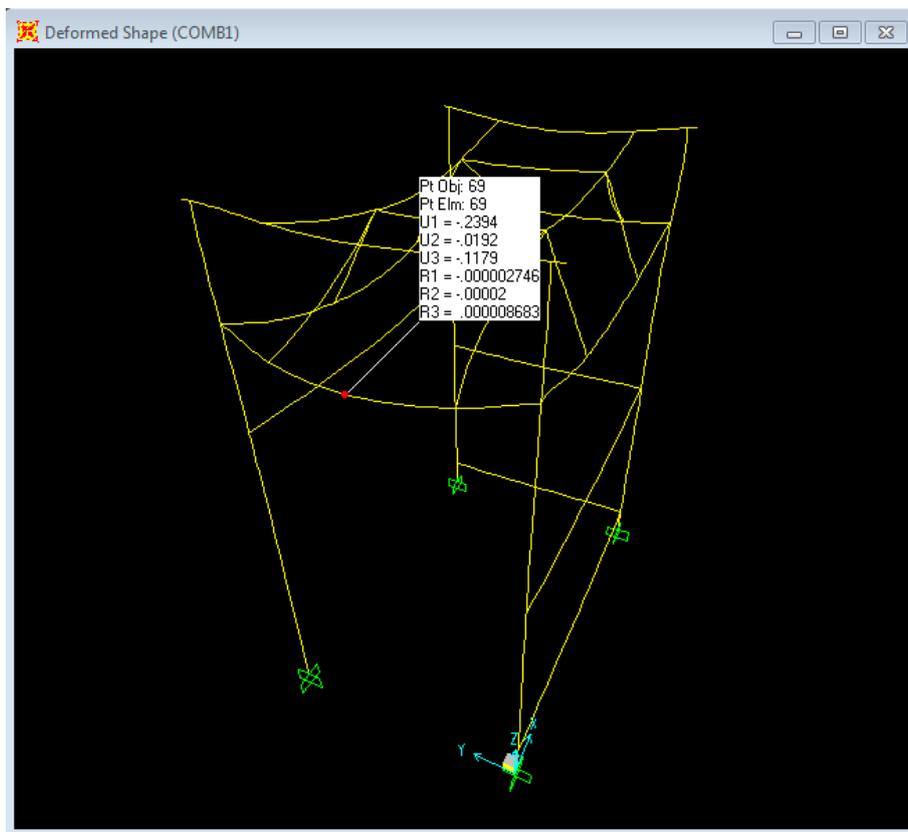


Figure I.21 : Déformée et déplacement maximal suivant X

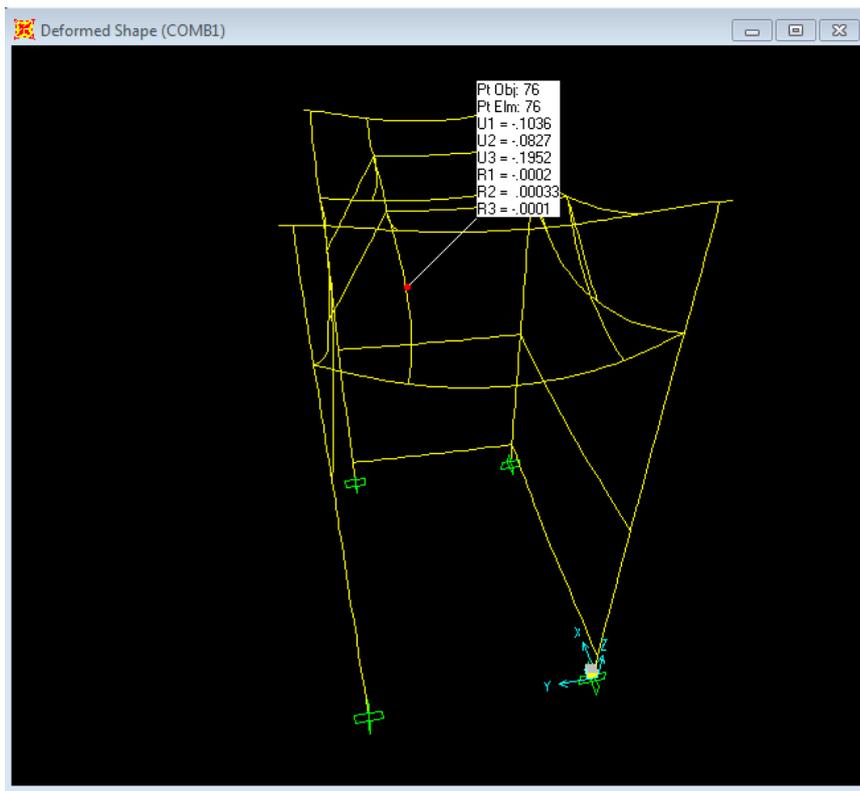


Figure I.22: Déformée et déplacement maximal suivant Y

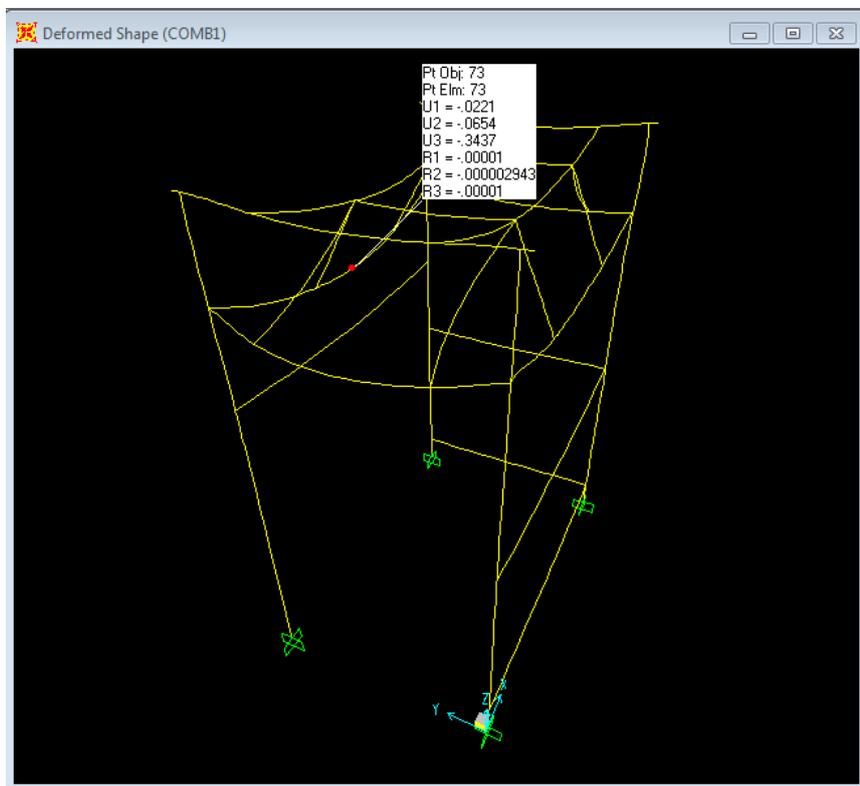


Figure I.23 : Déformée et déplacement maximal suivant

- **Comparaison avec Midoune[2] :**

On remarque que les déplacements maximums, sont largement plus grands que ceux de Midoune[1] comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous :

Déplacements maximums dans Midoune[2]		Déplacements maximums dans Hanini[1]	
Suivant X	0.0098 mm	Suivant X	0.2394 mm
Suivant Y	0.0266 mm	Suivant Y	0.0827 mm
Suivant Z	0.0942 mm	Suivant Z	0.3437 mm

Tableau I.2 : comparaison des déplacements

I.4.3.C Vérification de la résistance au flambage :

La figure (I.24) ci-dessous donne les valeurs des facteurs de flambement pour les six premiers modes.

The screenshot shows a software window titled 'Buckling Factors'. It contains a table with the following data:

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	ScaleFactor Unitless
▶	FLAMBEMEN	Mode	1	48,167481
	FLAMBEMENT	Mode	2	120,216265
	FLAMBEMENT	Mode	3	138,510269
	FLAMBEMENT	Mode	4	146,916262
	FLAMBEMENT	Mode	5	329,149496
	FLAMBEMENT	Mode	6	361,321997

At the bottom of the window, there is a record navigation bar showing 'Record: 1 of 6' and buttons for 'Add Tables...' and 'Done'.

Figure I.24: Facteurs de flambement pour les six premiers modes.

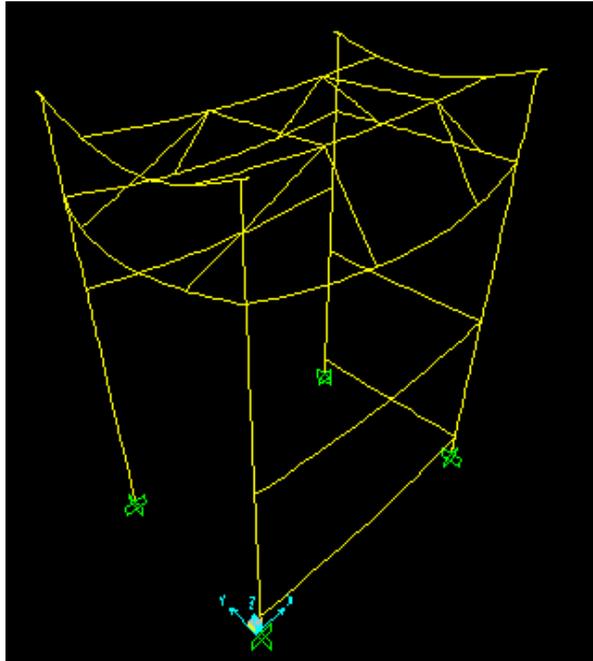


Figure I.25: premier mode du flambement

- **Calcul de la charge critique :**

La charge critique correspond au facteur du premier mode :

$$N_c = f_f \times P = 48.167481 \times 1,37 = 65.98 \text{ N/mm}$$

Nous observons que la charge critique est supérieure à la charge appliquée (1.37 N/mm). Par conséquent, la structure est stable.

- **Comparaison avec Midoune[2] :**

On observe que la charge critique (65.98 N/mm) de la structure actuelle est plus faible de celle de Midoune [1] (181.169 N/mm). Ce résultat est parfaitement logique, car l'introduction des articulations rend la structure moins rigide.

Chapitre II

Réduction de la Section du Support

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre on va voir la modélisation du support d'une ensacheuse par la méthode des éléments finis avec le SAP2000.

II.2 Propriété de nouveau profilée utilisée

Toutes les pièces du support étant constituées en UPN50, nous présentons dans le Tableau II.1 ci-dessous les dimensions de la section droite de ce profilé.

Désignation	Dimensions					
	h mm	b mm	t_w mm	t_f mm	y_s mm	y_m Mm
UPN 50	50	25	5,0	6,0	8,1	13,4

Tableau II.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 II.2 ci-dessous.

Propriétés mécaniques	Densité Kg/m³	Limite d'élasticité MPa	Module de YOUNG MPa	Coefficient de poisson
A36	7854.86	248.23	199947.9614	0.29

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

II.3 Modélisation de la structure par SAP2000 :

Nous présentons la structure modélisée sur la figure II.1 ci-dessous, les détails de la modélisation sont présentés dans [2].

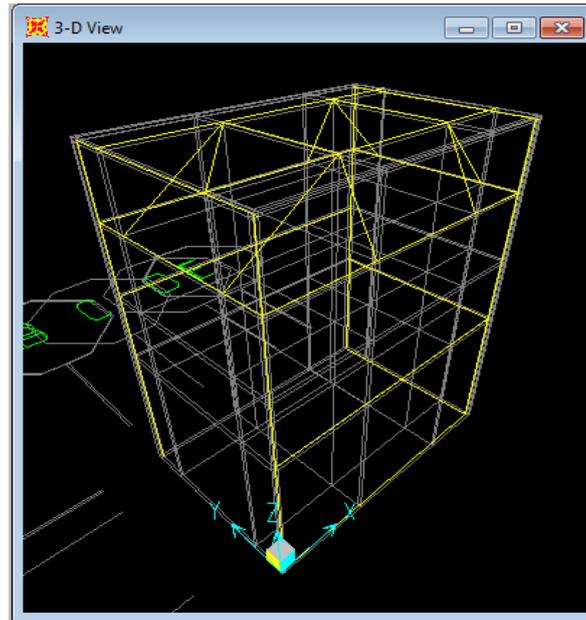


Figure II.1 : Dessin final de la structure modélisée par SAP2000.

II.3.2. Vérification de l'orientation des axes locaux :

Nous présentons ci-dessous la convention de SAP2000 concernant les axes locaux [4] :

1/ Pour les objets verticaux, les axes locaux ont les orientations par défaut suivantes :

- L'axe local 1 est le long de la barre, l'axe 1 local positif est dans la même direction que l'axe Z positif ver le haut.
- Les axes locaux 2 et 3 sont perpendiculaires à la barre. La projection de l'axe 2 positif sur l'axe global X est dans la même direction que l'axe global X positif. La direction de l'axe local 3 positifs est déterminée à partir de l'application de la règle de la main droite en utilisant les directions des axes 1 et 2.

2/ Pour les objets horizontaux, les axes locaux ont les orientations par défaut suivantes :

- L'axe local 1 reste toujours le long de la barre. La projection de l'axe local 1 positif sur l'axe global X est dans la même direction que l'axe global X positif. Si l'objet est

Chapitre II : Réduction de la Section du Support

- parallèle à l'axe global Y de sorte qu'il n'y a pas de projection sur l'axe global X, la direction positive de l'axe local 1 est la même que la direction de l'axe global Y positif.
- Les axes locaux 2 et 3 sont perpendiculaires à la barre. L'axe local 2 positif est orienté dans la même direction que l'axe global Z, vers le haut. La direction de l'axe local 3 positif est déterminée à partir de l'application de la règle de la main droite en utilisant les directions des axes 1 et 2.

3/ Pour les objets qui ne sont ni verticaux ni horizontaux, les axes locaux ont l'orientation par défaut suivante:

- L'axe local 1 est le long de la barre. L'axe local 1 positif a un sens ascendant. La projection de l'axe 1 local positif sur l'axe Z global est dans la même direction que l'axe Z global positif, vers le haut.
- L'axe local 2 est perpendiculaire à la barre. Le plan local 1-2 est vertical. L'axe 2 local positif a un sens ascendant. La projection de l'axe local 2 positif sur l'axe Z global est dans la même direction que l'axe Z global positif, vers le haut.
- L'axe local 3 est perpendiculaire à la barre et est horizontal. La direction de l'axe local 3 positif est déterminée à partir de l'application de la règle de la main droite en utilisant les directions des axes 1 et 2.

Visualisation des axes locaux

La figure ci-dessous présente l'orientation des axes locaux 2 et 3 pour notre section. L'axe local 1 est perpendiculaire à la section, son orientation s'obtient par la règle de la main droite.

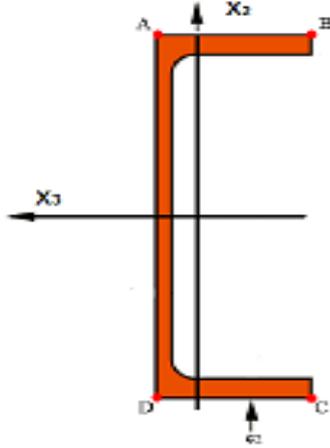


Figure II.2 : orientations des axes 2 et 3.

Le programme détermine automatiquement l'axe local de chaque élément à partir de leur connectivité et de leur orientation. Pour visualiser les axes locaux de chaque barre on clique sur **View > Set display option > Ferme/cables > Select local axes > OK**. Figure (II.3).

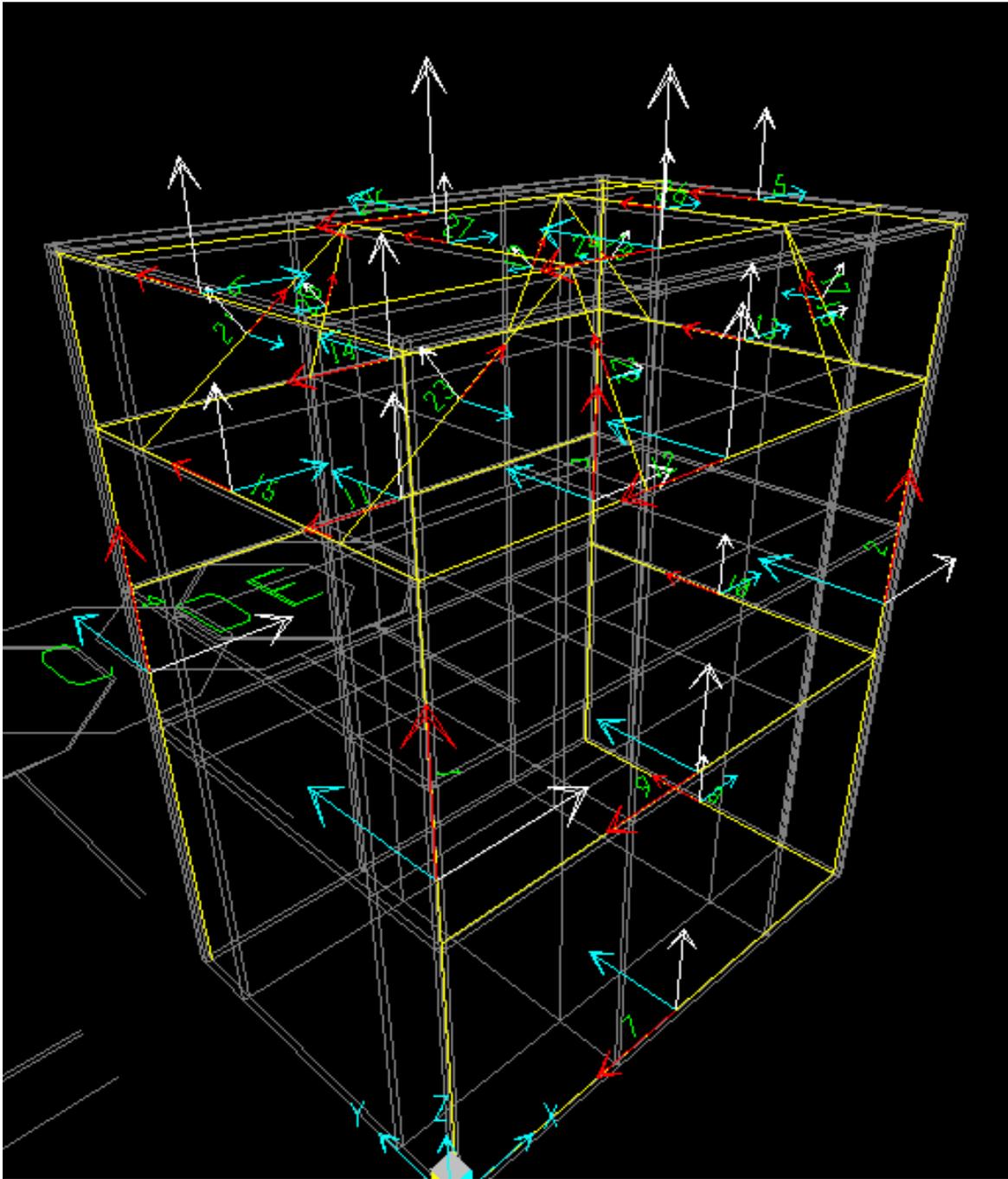


Figure II.3 : Les axes locaux. (1 rouge, 2 blanc, 3 bleu).

En observant la Figure II.2, on a détecté 18 éléments mal orientés par rapport à la Figure I.6. Les éléments concernés sont sélectionnés sur la Figure II.4 ci-dessous.

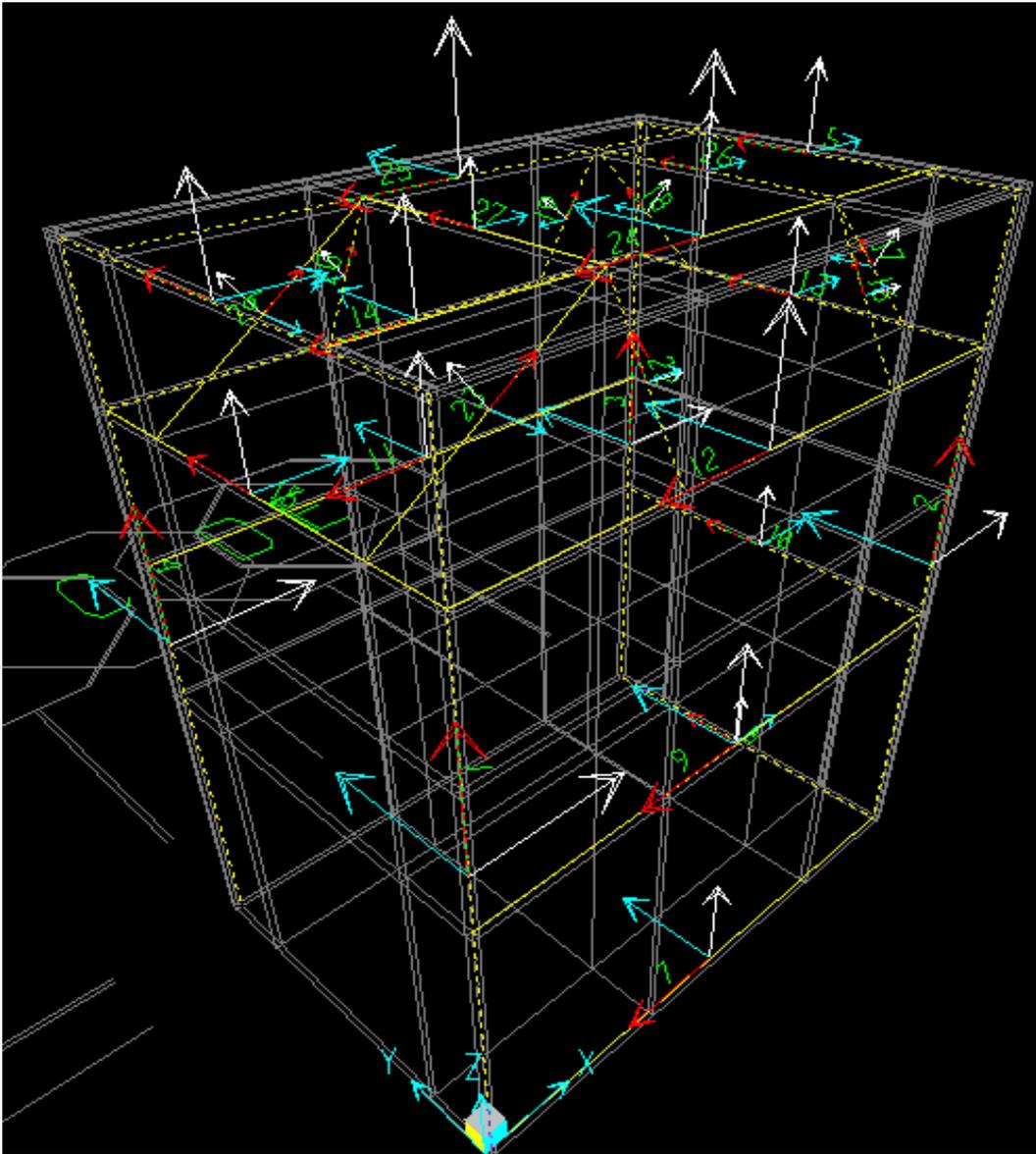


Figure II.4 : sélections des barres mal orientées.

Pour modifier les l'orientation des axes locaux, on sélection une barre ou plus puis on clique sur **Assign>Frame>Local axe**. Nous montrons comme exemples deux barres verticales.

Pour corriger leurs orientations, on doit tourner autour de l'axe 1 de 270 degrés (Figure II.5).

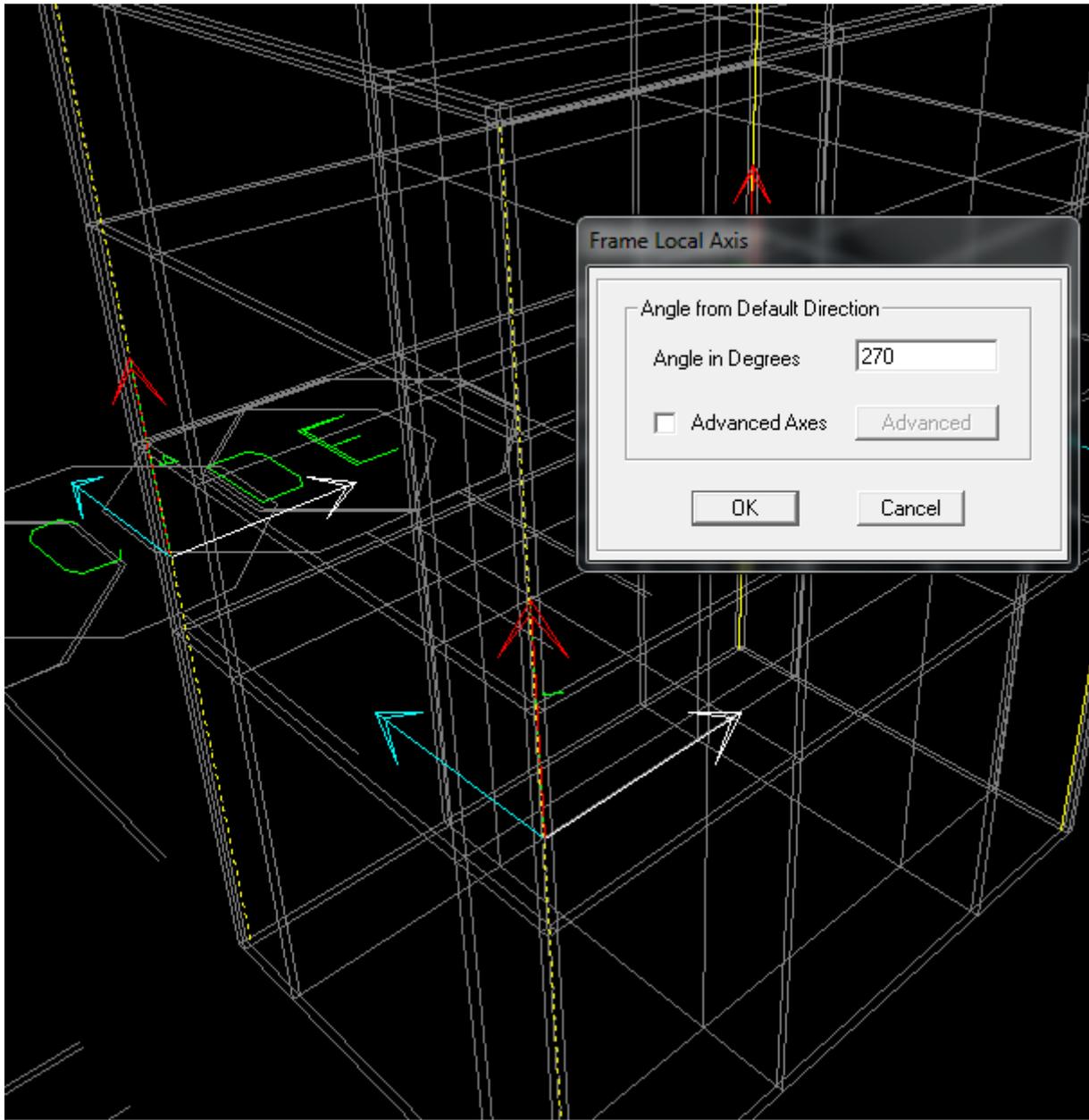


Figure II.5 : Changement d'orientation des axes locaux (barres 1 et 4) (verticales)

On obtient la bonne orientation représentée sur la Figure II.6.

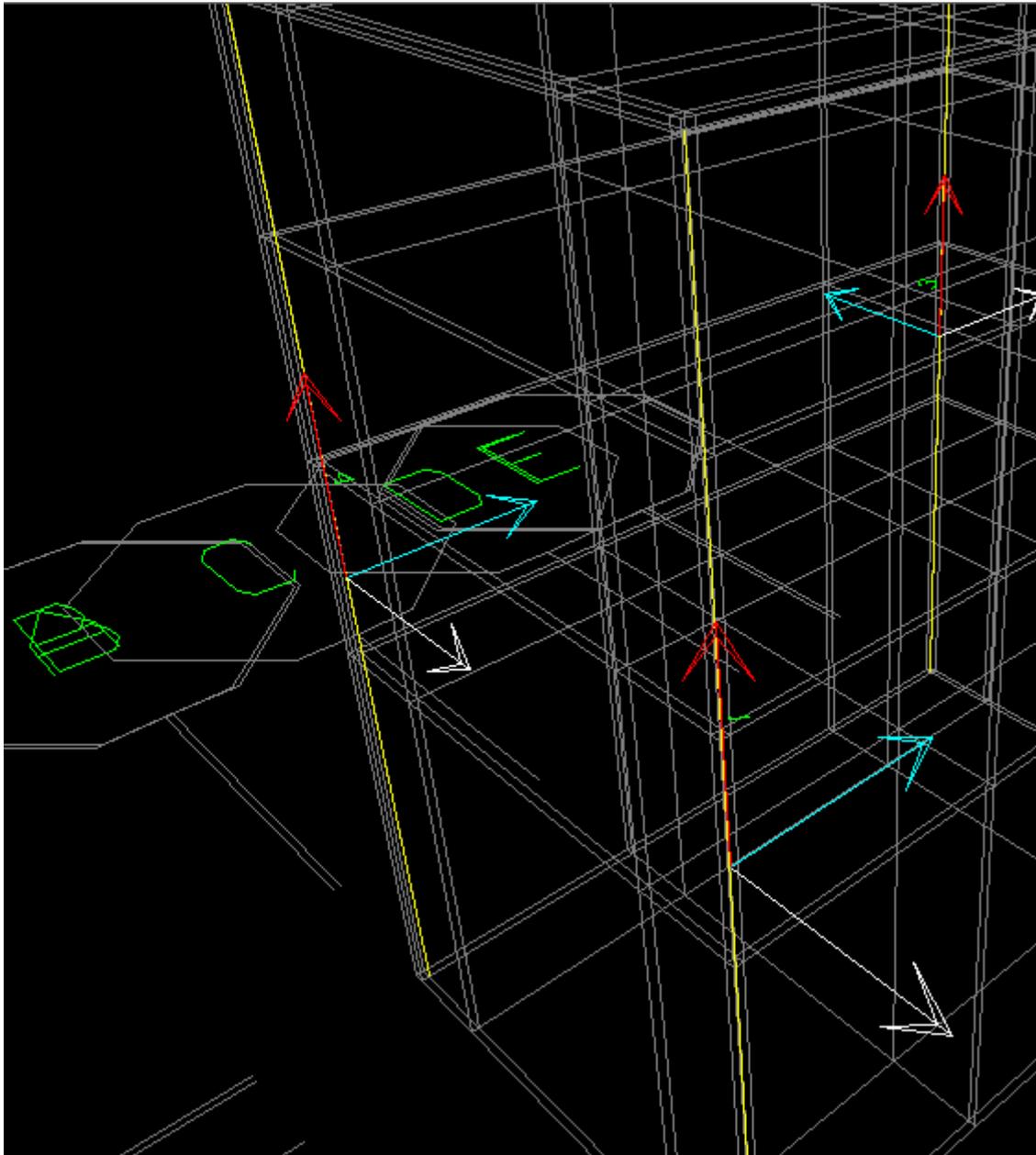


Figure II.6 : l'orientation finale des barres.

On obtient finalement la structure avec des orientations conformes à la Figure I.6

(Figure II.7). Les détails du changement d'orientation pour les autres barres sont présentés dans l'annexe 3.

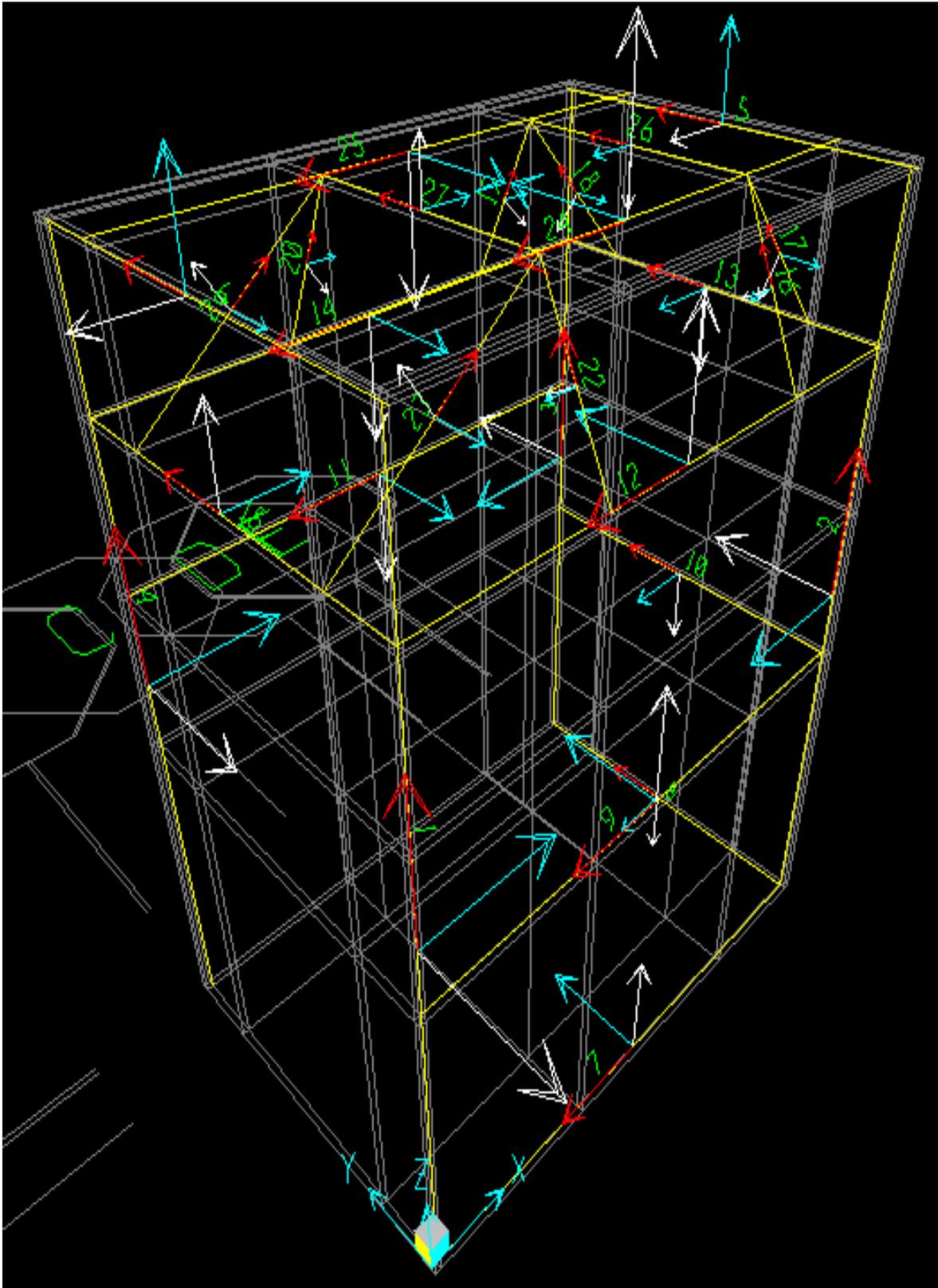


Figure II.7: l'orientation finale des barres.

II.3.3 Conditions aux appuis :

Nous supposons que les pieds de la structure sont encastrés au sol (Figure II.8).

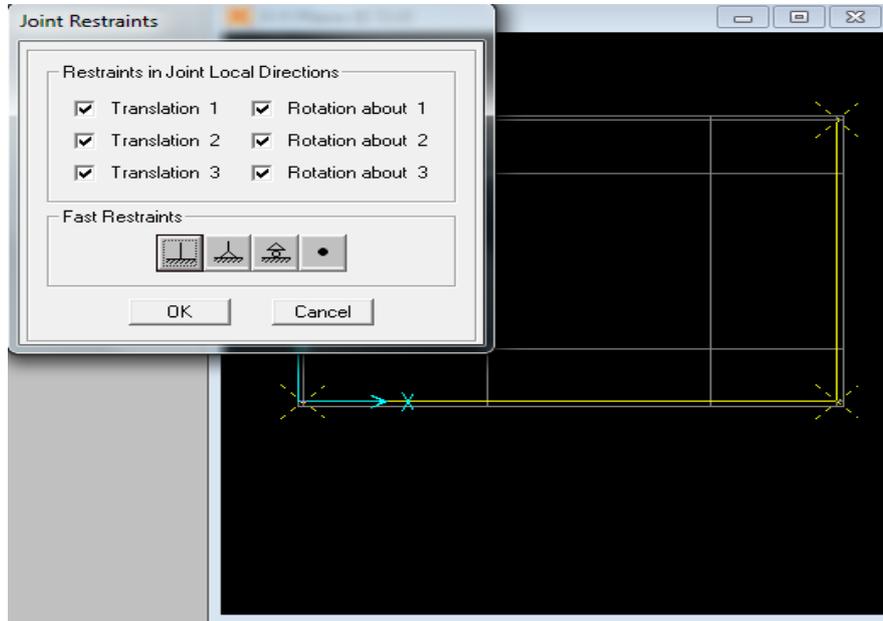


Figure II.8 : condition des appuis

II.3.4 Application des charges

Nous effectuons les calculs avec la charge maximale de travail, qui est composée d'une somme des charges : le poids du produit **500N** dans la partie supérieure de la machine et **500N** dans le cône inférieur ainsi que le poids de la machine de **3100 N**. Donc la valeur maximale de la charge est égale à **4100 N** répartie uniformément sur la longueur totale des quatre poutres concernées. Cette longueur est 3000 mm, alors la charge linéique est de **1.37 N/mm** (Figure II.9). Nous tenons compte aussi du poids propre de la structure.

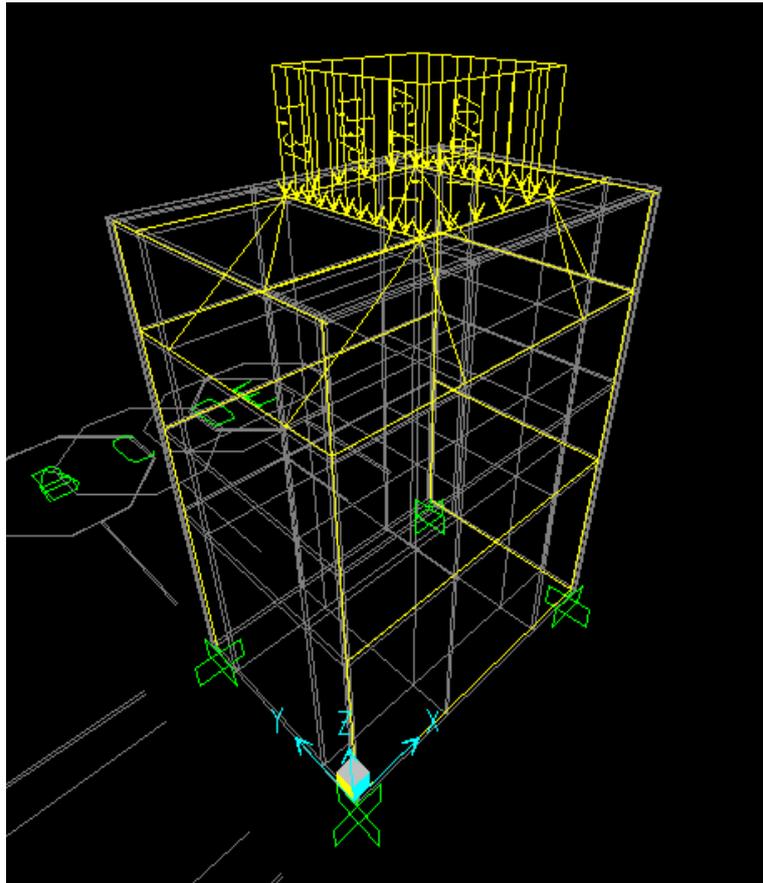


Figure II.9 : Charge appliquée sur la structure.

II.3.5 Introduction des articulations :

On introduit des articulations dans toutes les liaisons, sauf avec le sol. Les barres concernées sont présentées sur la Figure II.10.

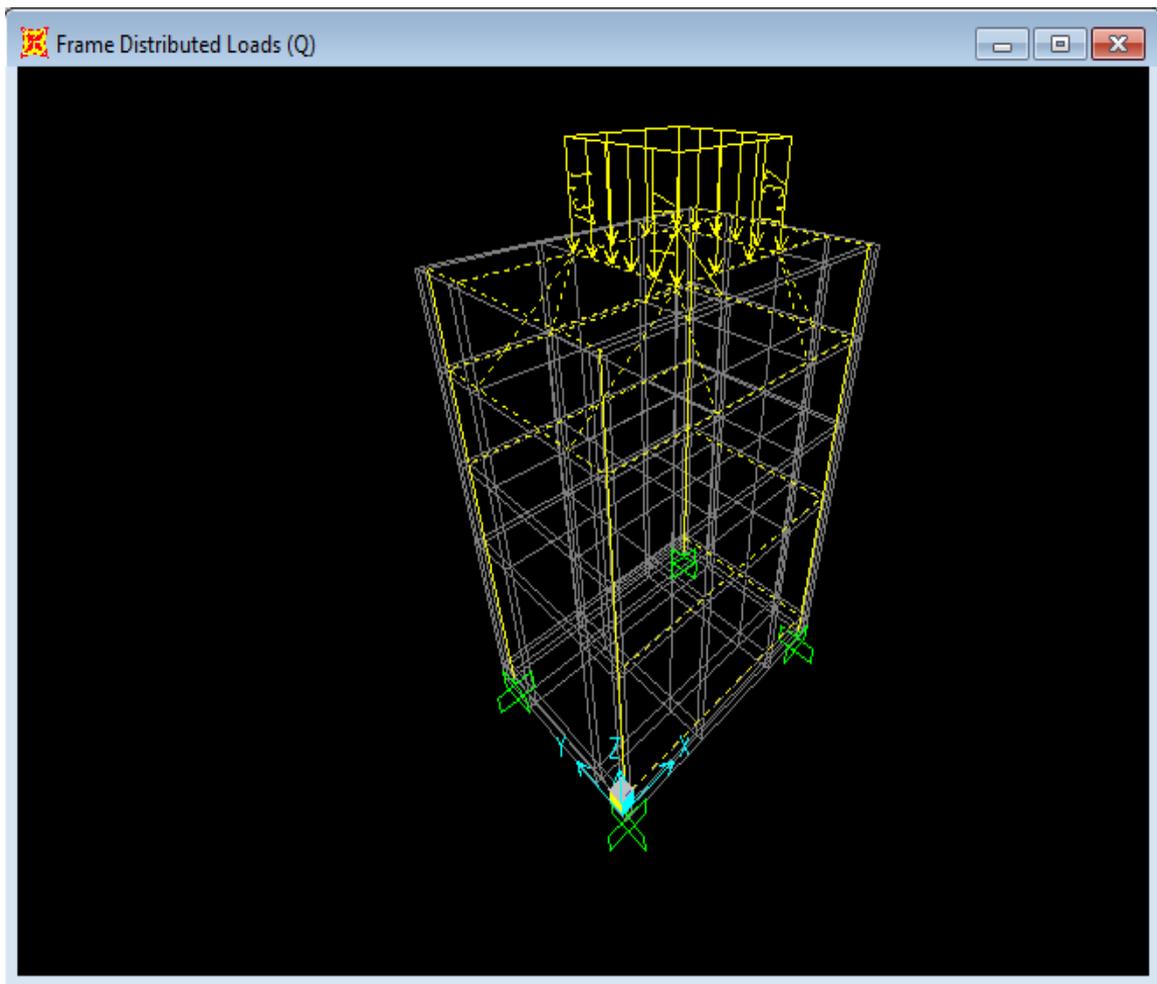


Figure II.10: Sélection des barres articulées-articulées.

II.3.6 Maillage

Pour plus de précision, on divise chaque barre en 2 éléments. Le maillage est constitué de 237419 éléments et de 123132 nœuds.

CHAPITRE III

Vérification de la résistance du support

III.1 INTRODUCTION

Le SAP2000 calcule les efforts internes pour chacun des éléments poutres de notre structure. Nous présentons ces efforts, puis nous calculons les contraintes et déterminons la contrainte équivalente de Von Mises maximale.

III.2 Les efforts internes :

Les efforts internes obtenus sont présentés sur les figures (III.1, III.2, III.3, III.4)

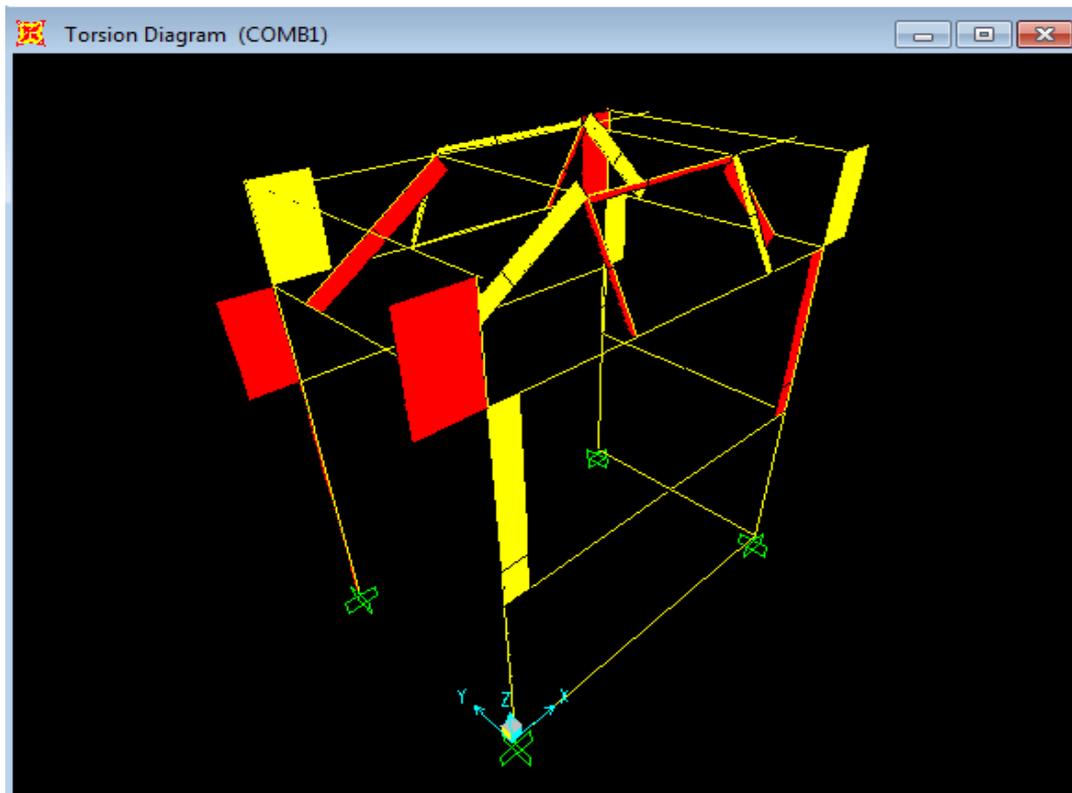


Figure III.1 : diagramme du moment de torsion M_t

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

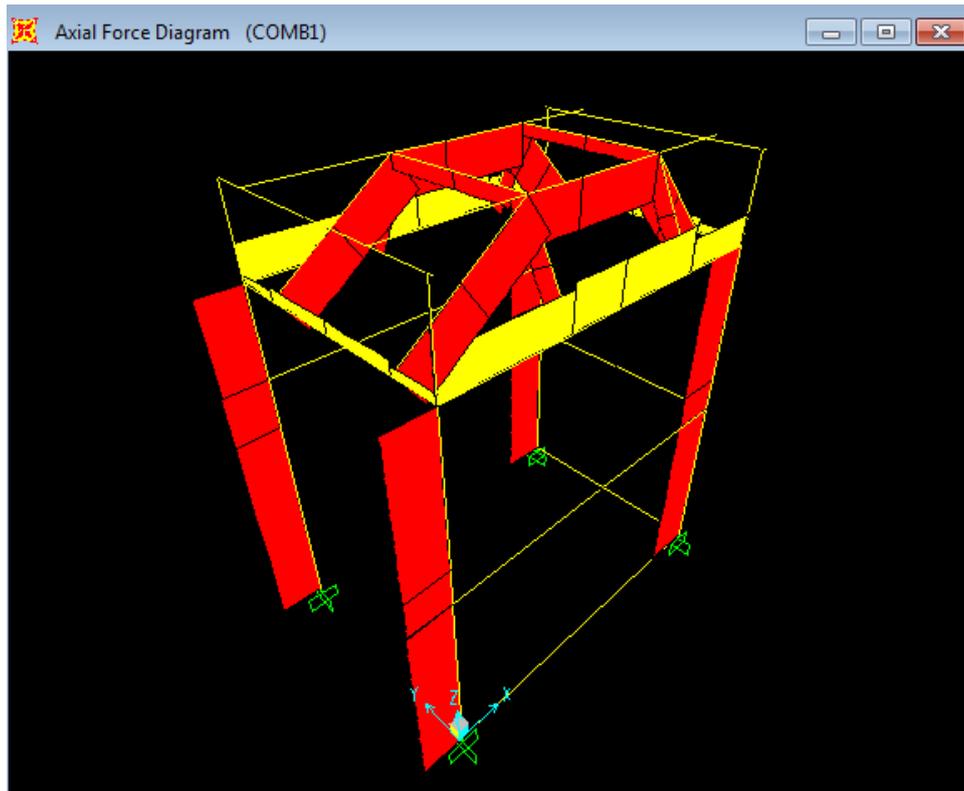


Figure III.2 : diagramme de l'effort normal.

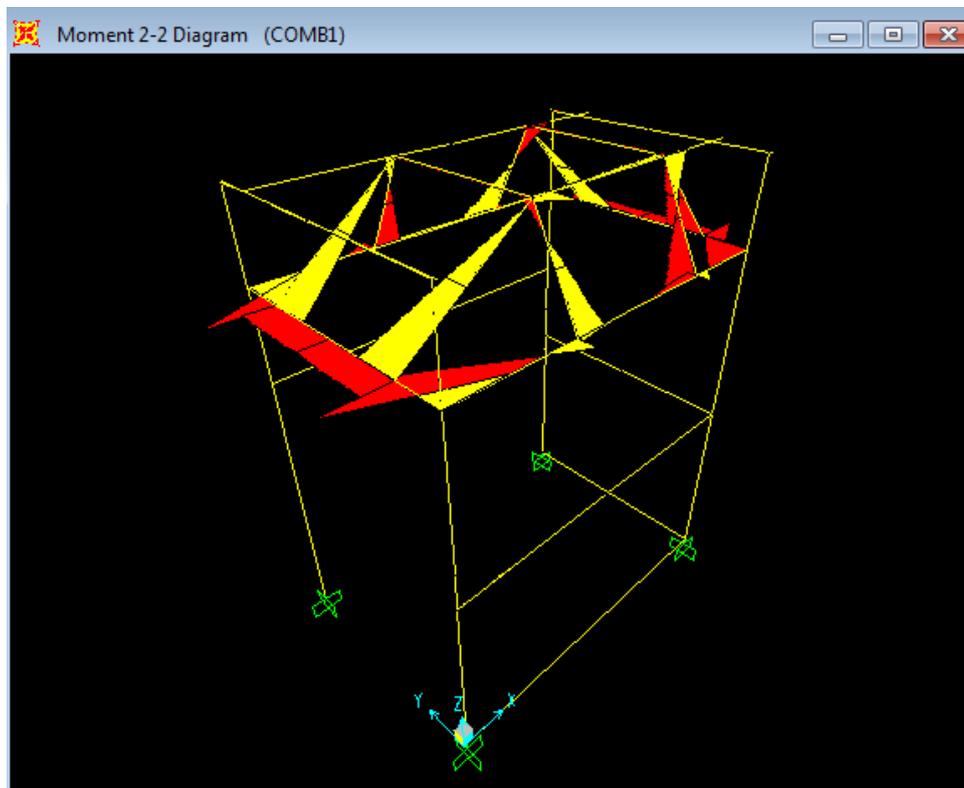


Figure III.3: diagramme du moment fléchissant M2.

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

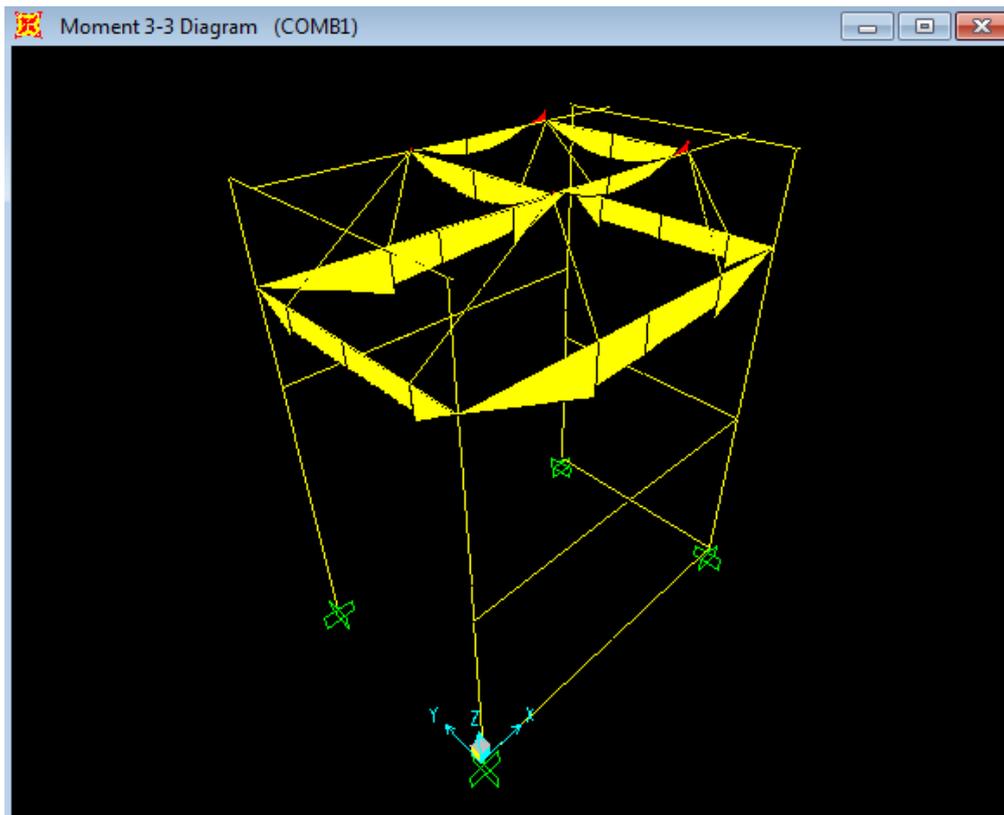


Figure III.4: diagramme du moment fléchissant M3.

III.3 Propriétés de la section :

Pour calculer les contraintes, nous avons besoin des dimensions de la section. Les dimensions de la Figure III.5 sont données ci-dessous :

$e_1 = 5 \text{ mm}$; $e_2 = 6 \text{ mm}$; $b_1 = 38 \text{ mm}$; $b_2 = 25 \text{ mm}$; $h = 50 \text{ mm}$.

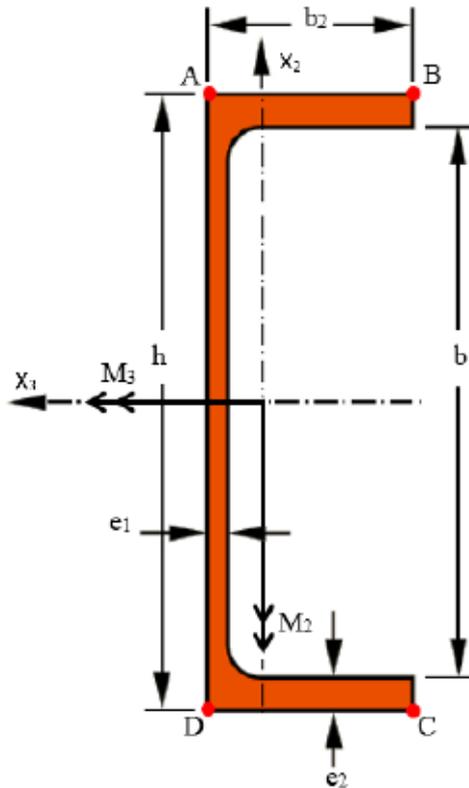


Figure III.5: Dimensions de la section [3]

M_2 et M_3 Représentent respectivement les moments fléchissant par rapport à x_2 et x_3 . Leurs sens sur la Figure III.5 sont positifs selon la convention de signe de SAP2000 [3].

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.5
- Le moment de torsion M_t autour de l'axe x_1 , normal à la figure, n'a pas été représenté.

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

- Moment quadratique par rapport à x_2 : $I_2 = 24930 \text{ mm}^4$.
- Moment quadratique par rapport à x_3 : $I_3 = 168200 \text{ mm}^4$.
- Aire de la section : $S = 491,3 \text{ mm}^2$.

III.4 Calcul des contraintes et vérification de la résistance :

Tous les éléments 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) et donc des coordonnées du centre de gravité (Tableau II-1). Elles sont données ci-dessous (en mm) :

$$\begin{Bmatrix} x_2^A \\ x_3^A \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 25 \\ 8,1 \end{Bmatrix}; \begin{Bmatrix} x_2^B \\ x_3^B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 25 \\ -16,9 \end{Bmatrix}; \begin{Bmatrix} x_2^C \\ x_3^C \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -25 \\ -16,9 \end{Bmatrix}; \begin{Bmatrix} x_2^D \\ x_3^D \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -25 \\ 8,1 \end{Bmatrix}.$$

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

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

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

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

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.5) avec la formule (1) et on détermine σ_{\max} (en valeur absolue). On calcule également τ avec la formule (2). Ensuite, on calcule la contrainte équivalente de Von Mises à l'aide de la formule suivante :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3\tau^2} \quad (3)$$

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.

La contrainte admissible est égale à la limite élastique de l'acier (A36) et égale à 248.23 MPa

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

III.5 Exemple 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.

La numérotation des barres est expliquée en Annexe 01

- **(barre N°08) : Flexion simple**

la première on constate en effet que cette barre est en flexion simple (figure III.6) (Figure III.7) (Figure III.8).

X= 898,70 mm

$$M_{2max} = 0 \text{ N.mm} \quad ; \quad M_{3max} = 15271,58 \text{ N.mm} \quad ; \quad N = 0 \text{ N}$$

$$M_t = 0 \text{ N.mm}$$



Figure III.6: valeur de M_3

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

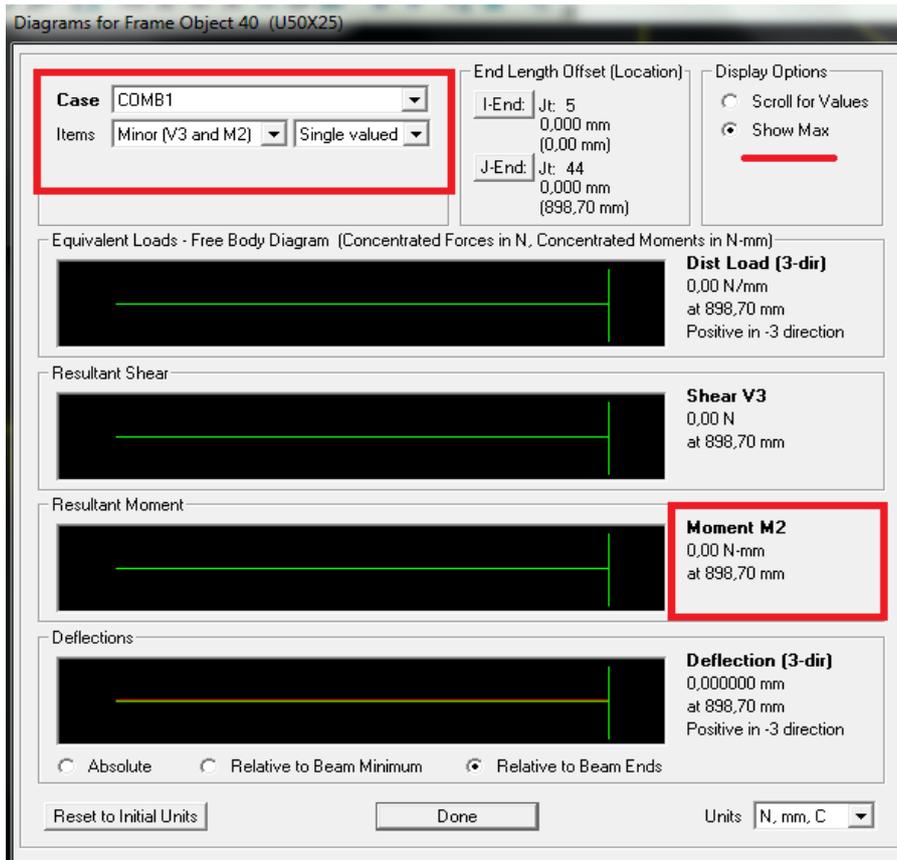


Figure III.7: valeur de M_2

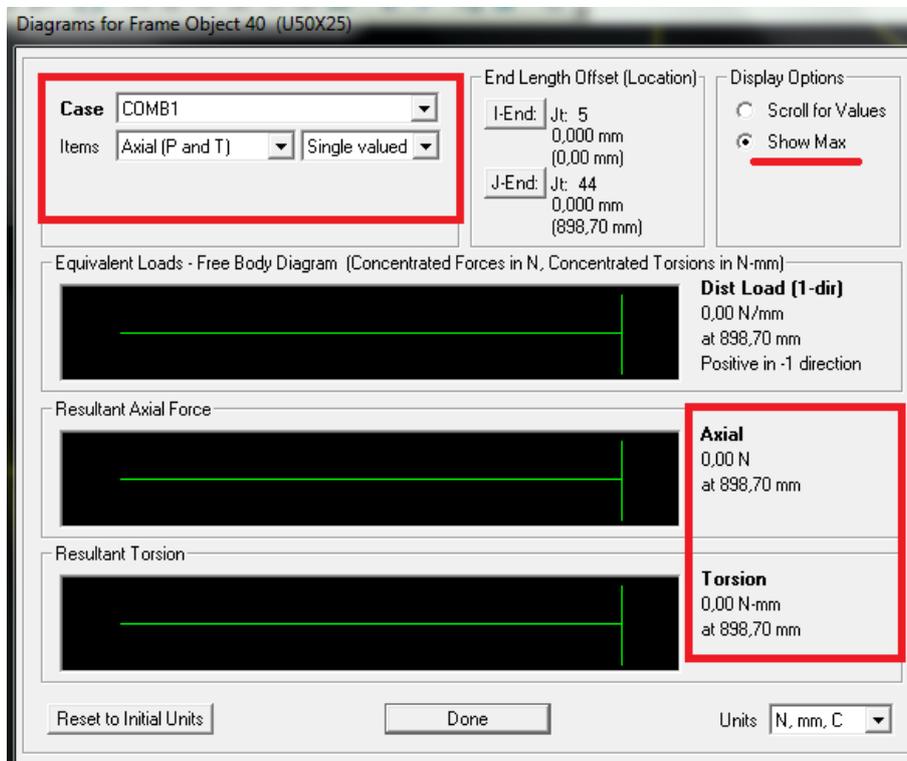


Figure III.8: valeur de N et M_t

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

La contrainte maximale est donnée par :

$$\sigma_{max} = -\frac{M_3}{I_3} X_{2Max} , \text{ avec } x_{2max} = 25 \text{ mm}$$

$$\sigma_{max} = -2,26 \text{ MPa.}$$

La contrainte maximale équivalente inférieure à la contrainte admissible

- **(Barre N°16) : Flexion composée traction-compression plus torsion**

Dans ce cas, nous constatons que le M_{3MAX} est située en $x=252,69$ mm (figure III.9) alors que M_{2MAX} est située en $x= 0$ mm (figure III.13), nous devons donc calculer σ_{eq} en chacune des sections

1. $x = 252,69$ mm :

D'après les (figure 4.10) (figure 4.11) (figure 4.12) on a :

$$M_{3max} = -549,49 \text{ N.mm} \quad ; \quad M_2 = -14369,71 \text{ N.mm} \quad ; \quad N = -430,49 \text{ N}$$

$$M_t = 347,74 \text{ N.mm}$$

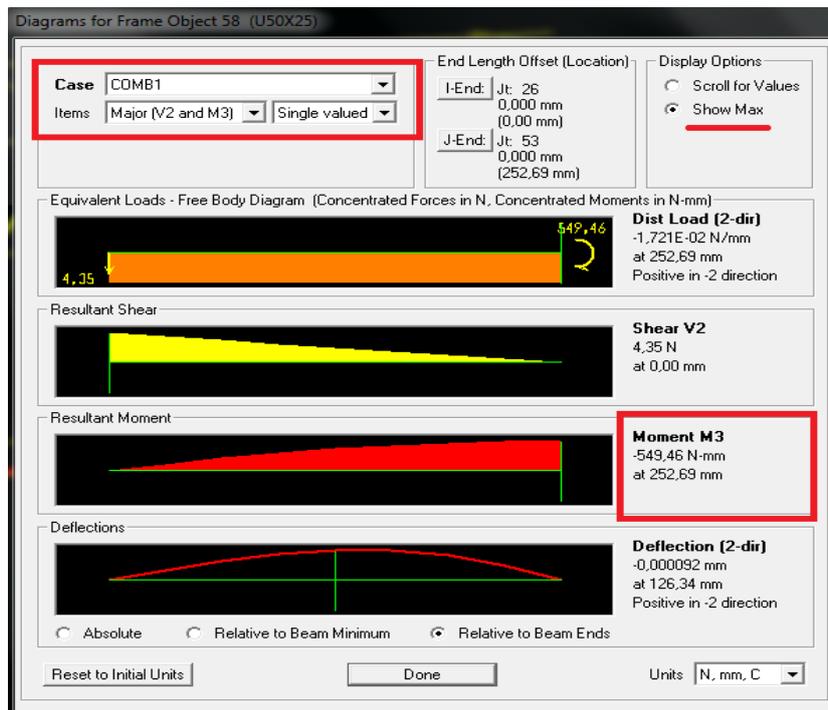


Figure III.9: valeur de M_{3max}

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

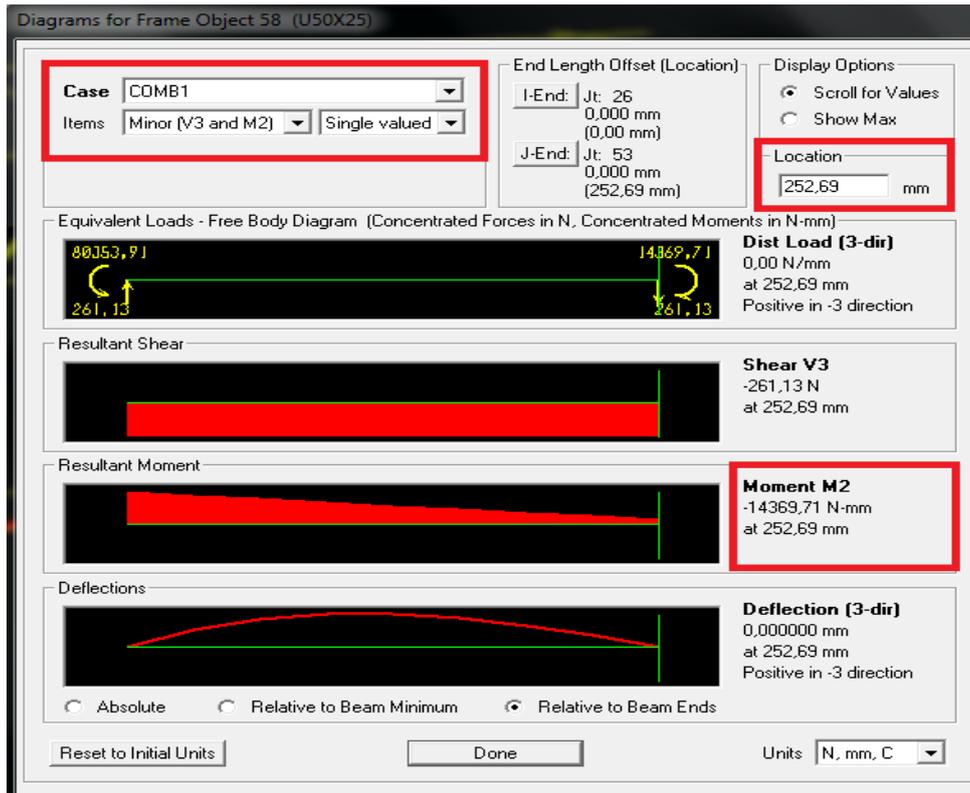


Figure III.10 : valeur de M_2

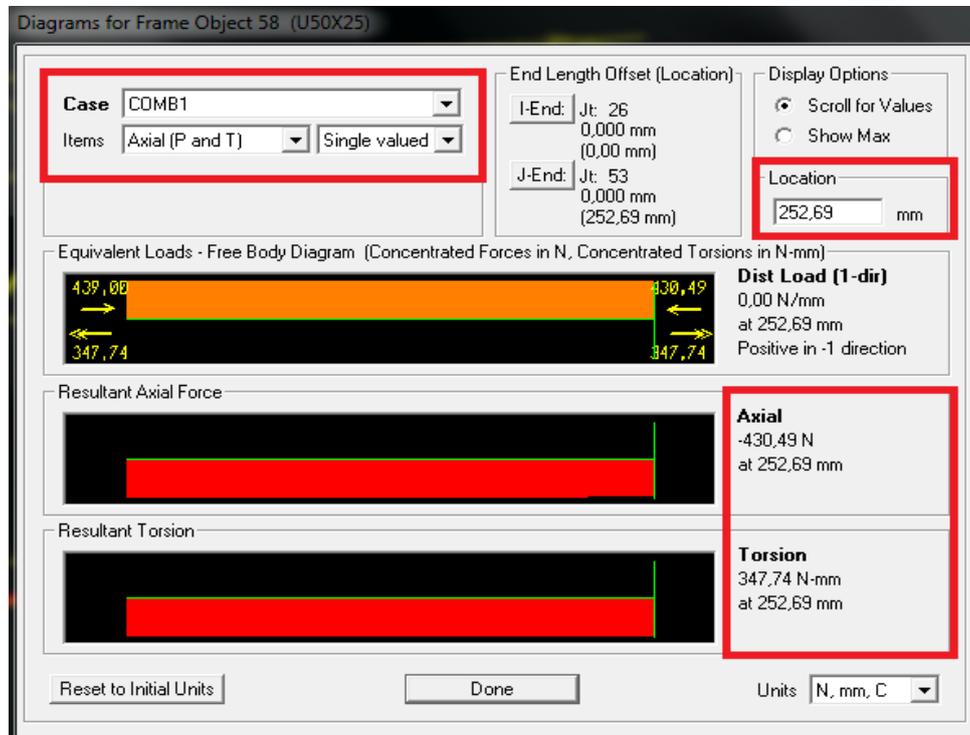


Figure III.11 : valeur de N et M_t

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

Calcul de τ :

$$\tau = \frac{3|M_t|e_2}{b_1e_1^3 + 2b_2e_2^3}$$

$$\tau = 0,40 \text{ MPa}$$

Calcul de σ_A :

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

$$\sigma_A = 3,87 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Aeq} = 3,87 \text{ MPa.}$$

Calcul de σ_{Beq} :

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

$$\sigma_B = -10,53 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Beq} = 10,53 \text{ MPa.}$$

Calcul de σ_{Ceq} :

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

$$\sigma_C = -10,69 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Ceq} = 10,69 \text{ MPa.}$$

Calcul de σ_{Deq} :

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

$$\sigma_D = 3,71 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Deq} = 3,71 \text{ MPa.}$$

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

Le max :

$$\sigma_{eqMAX}^1 = MAX\{\sigma_{Aeq}; \sigma_{Beq}; \sigma_{Ceq}; \sigma_{Deq}\}$$
$$\sigma_{eqMAX}^1 = 10,69 \text{ MPa.}$$

2. $x=0 \text{ mm}$:

D'après les figures III.12, III.13, III.14 on a :

$$M_{2max} = -80353,91 \text{ N.mm} \quad ; \quad M_3 = 0 \text{ N.mm} \quad ; \quad N = -439,00 \text{ N}$$

$$M_t = 347,74 \text{ N.mm}$$



Figure III.12: valeur de M_3

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

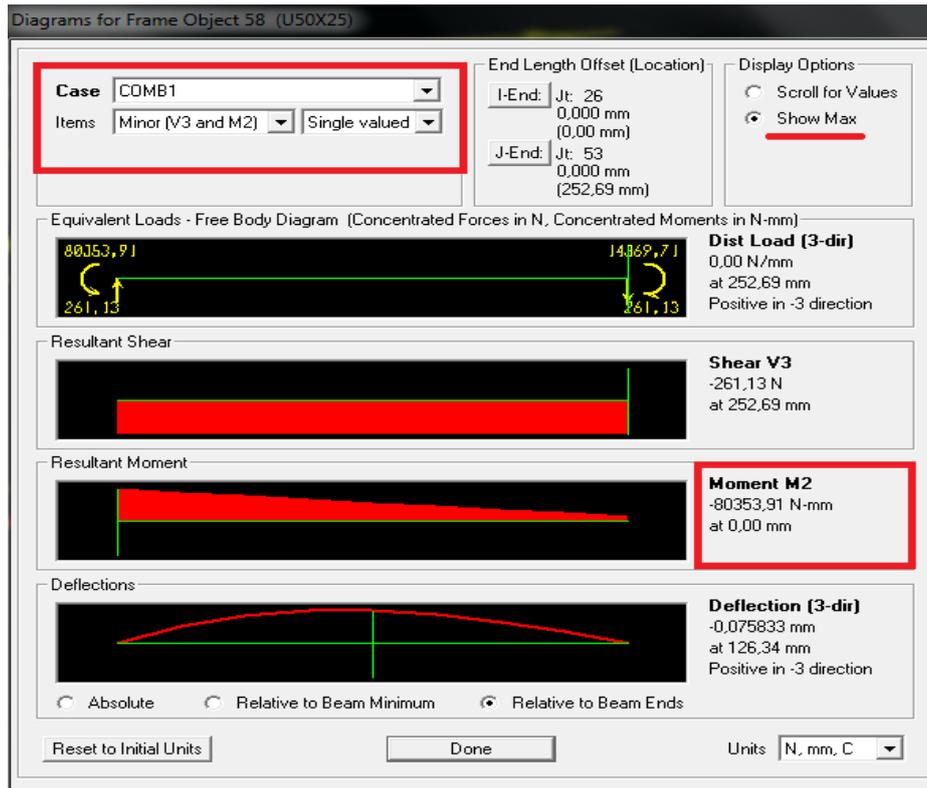


Figure III.13: valeur de M_{2max}

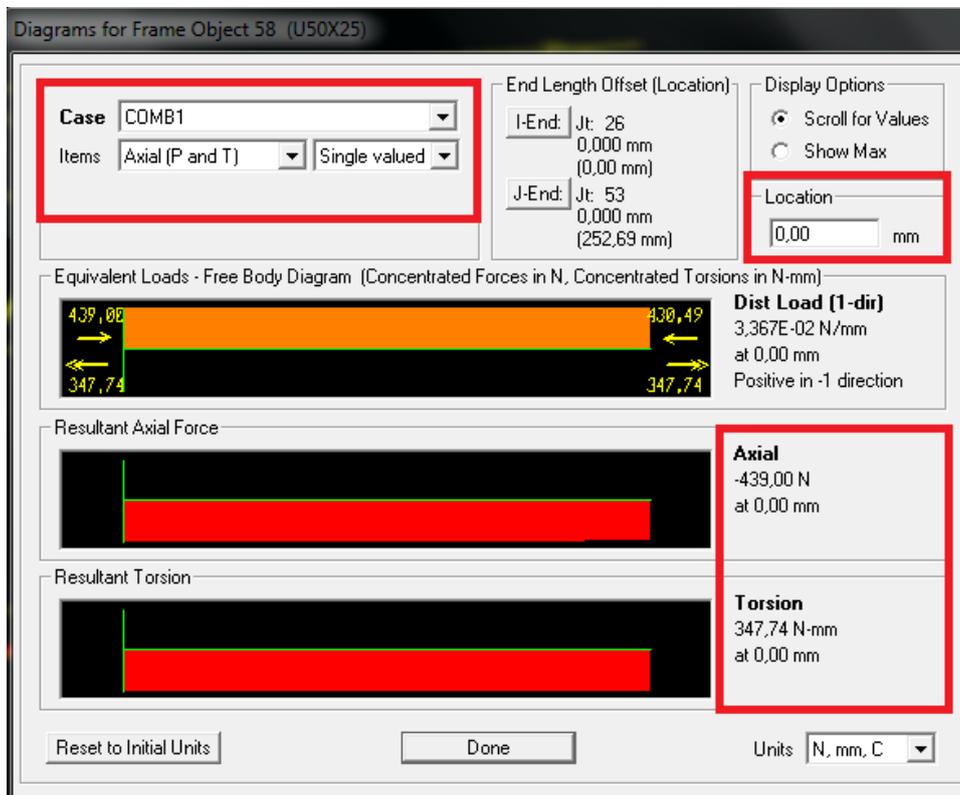


Figure III.14: valeur de N et M_t

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

Calcul de τ :

$$\tau = \frac{3|M_t|e_2}{b_1e_1^3 + 2b_2e_2^3}$$

$$\tau = 0,40MPa$$

Calcul de σ_{Aeq} :

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

$$\sigma_A = 25,20MPa.$$

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

$$\sigma_{Aeq} = 25,20MPa.$$

Calcul de σ_{Beq} :

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

$$\sigma_B = -55,36MPa.$$

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

$$\sigma_{Beq} = 55,36MPa.$$

Calcul de σ_{Ceq} :

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

$$\sigma_C = -55,36MPa.$$

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

$$\sigma_{Ceq} = 55,36MPa.$$

Calcul de σ_{Deq} :

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

$$\sigma_D = 25,20MPa.$$

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

$$\sigma_{Deq} = 25,20MPa.$$

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

Le max :

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

$$\sigma_{eqMAX}^2 = 55,36 MPa.$$

Conclusion :

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

$$\sigma_{eq} = MAX\{\sigma_{eqMAX}^1; \sigma_{eqMAX}^2\} = 55,36MPa.$$

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

III.6 Les contraintes équivalentes maximales :

Nous présentons sur le Tableau III.1, les contraintes équivalentes maximales dans chaque barre. La numérotation des barres est expliquée en Annexe 01

N° Barre	$\sigma_{eqMAX}(MPa)$	N° Barre	$\sigma_{eqMAX}(MPa)$	N° Barre	$\sigma_{eqMAX}(MPa)$
1	2,54	10	1,44	19	53,58
1'	6,65	10'	1,44	19'	35,86
2	3,02	11	3,73	20	33,94
2'	5,23	11'	3,73	20'	12,42
3	3,02	12	50,50	21	49,21
3'	5,19	12'	58,97	21'	25,40
4	2,50	13	84,15	22	31,90
4'	6,63	13'	84,23	22'	10,32
5	3,38	14	50,35	23	44,77
5'	3,39	14'	58,75	23'	21,01
6	3,48	15	91,34	24	18,65
6'	3,49	15'	91,32	24'	14,66
7	2,26	16	55,36	25	18,67
7'	2,26	16'	34,12	25'	14,63
8	1,02	17	45,42	26	20,37
8'	1,02	17'	21,77	26'	20,37
9	2,77	18	49,81	27	17,25
9'	2,77	18'	26,04	27'	17,25

Tableau III.1: Contrainte équivalente maximale de chaque barre

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

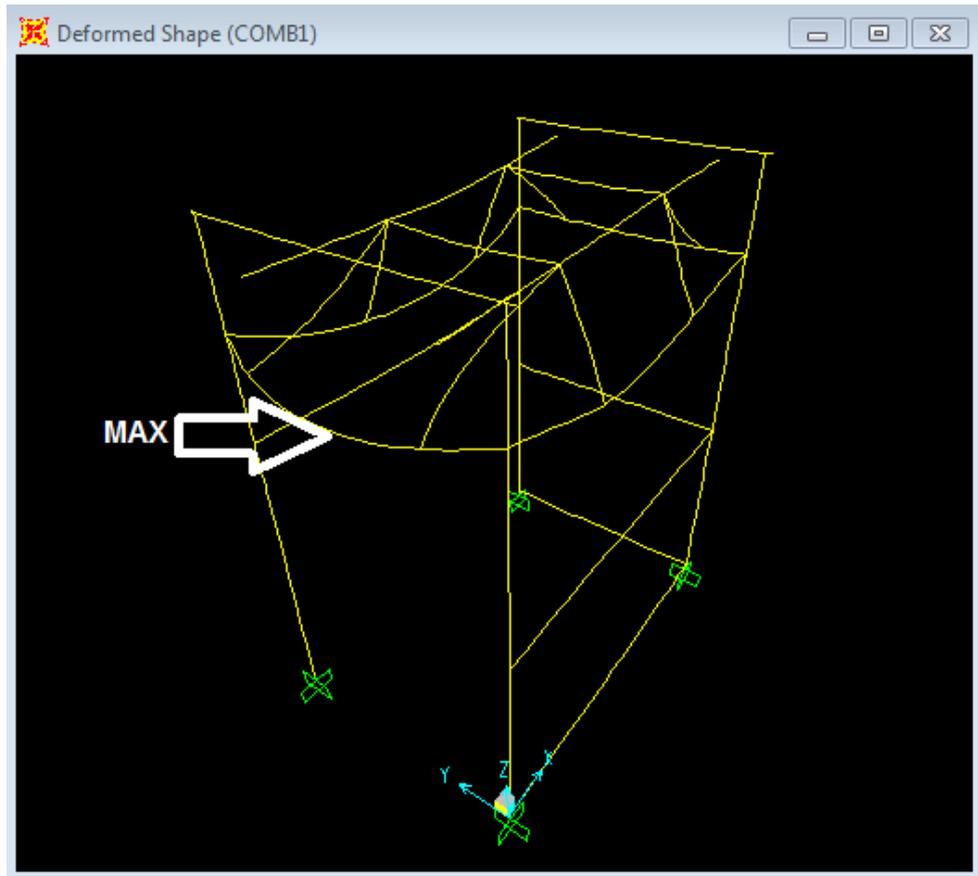


Figure III.15: contrainte équivalente MAX (barre 15)

- **Remarque**

À la fin de calcul, les contraintes max on a obtenu comme une valeur max de contrainte en barre 15 est égale 91,34MPa, cette valeur est inférieure à la contrainte admissible.

III.7 Les déplacements

Nous présentons la déformée de la structure ainsi que les points où sont situés les déplacements maximums suivant X, Y et Z sur les Figures (III.16, III.17 III.18) respectivement. On y observe que :

1. Déplacement maximal suivant l'axe X : $X_{max} = 1,3061$ mm
2. Déplacement maximal suivant l'axe Y : $Y_{max} = 0,4949$ mm
3. Déplacement maximal suivant l'axe Z : $Z_{max} = -2,0801$ mm

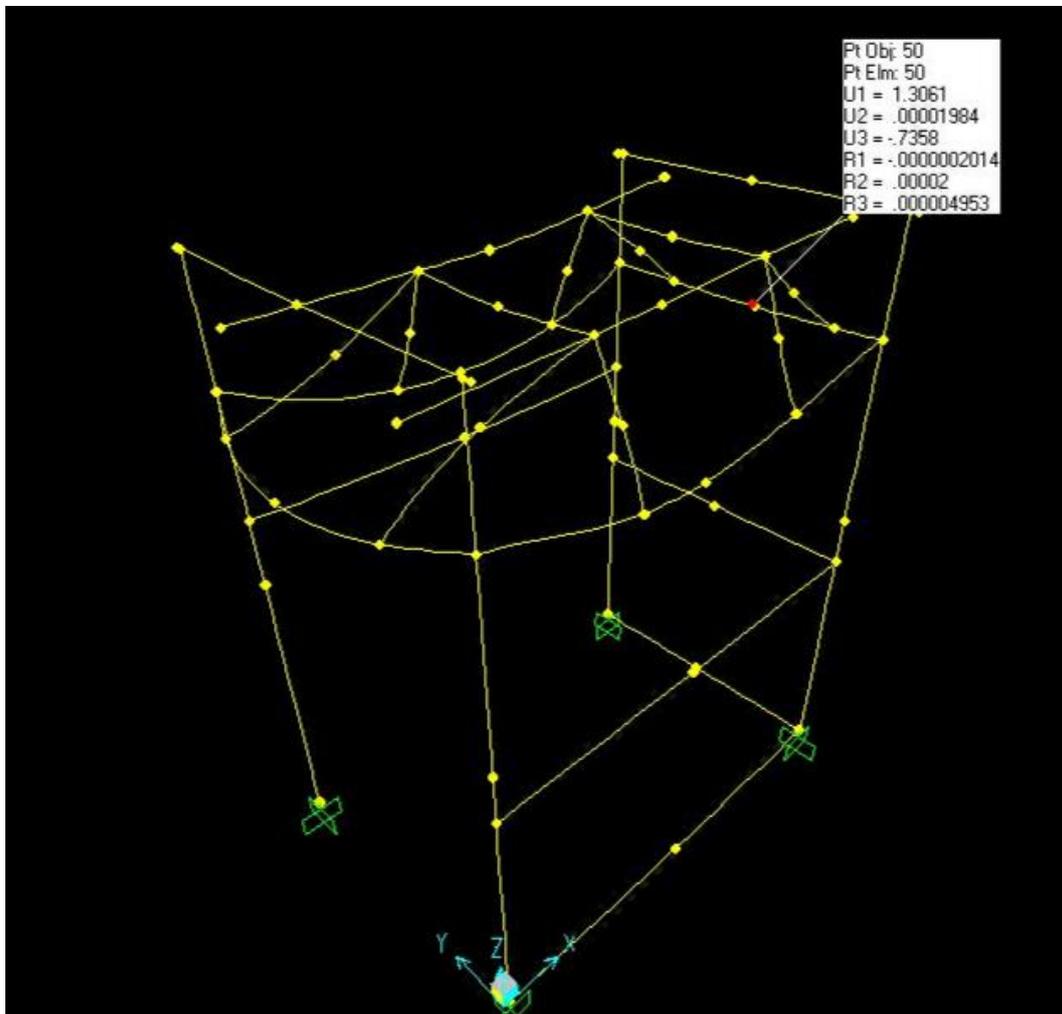


Figure III.16 : Déformée et déplacement maximal suivant X

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

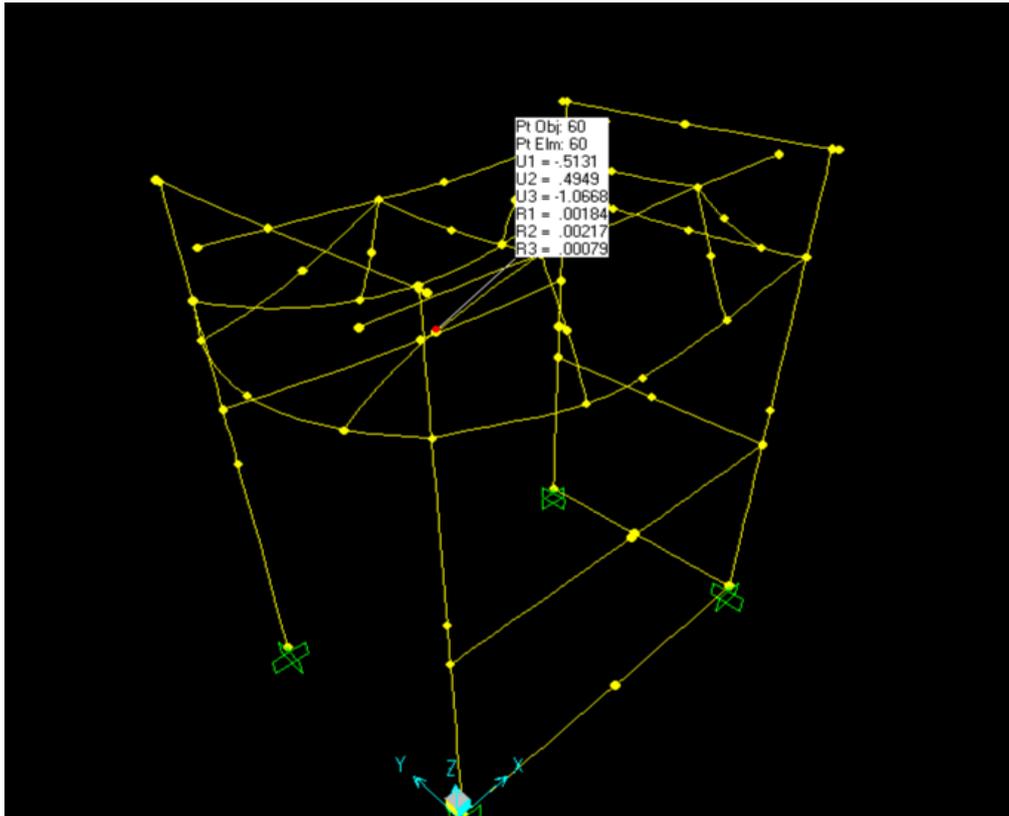


Figure III.17: Déformée et déplacement maximal suivant Y

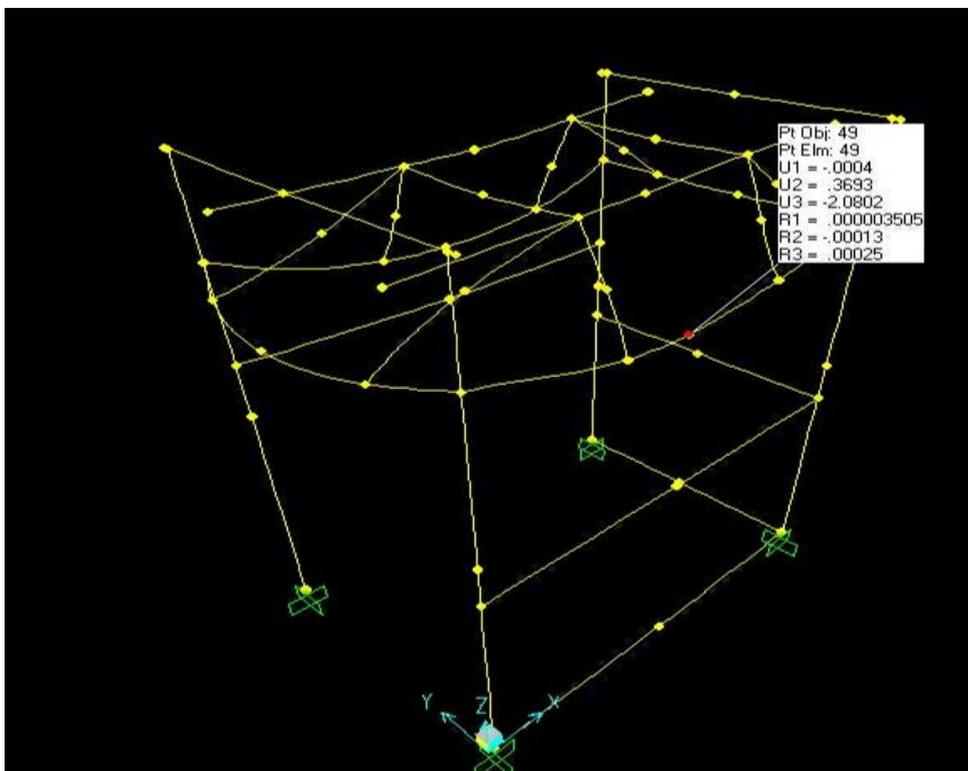


Figure III.18: Déformée et déplacement maximal suivant Z

Chapitre III : Vérification de la résistance du support

On constate que toutes les valeurs absolues des déplacements sont très petites donc nos calculs dans le sens ou le problème traité est problème élastique linéaire et valide

III.8 Comparaison avec Midoune [2] :

On remarque que les déplacements maximums, sont largement plus grands de ceux de l'ancien travail, Ce sont des résultats plausibles parce que nous avons utilisé une section plus faible. On résume cette comparaison sur le tableau suivant :

Déplacement maximums dans Midoune[2]		Déplacement maximums dans le travail actuel (mm)	
Suivant axe X	0,0098	Suivant axe X	1,3061
Suivant axe Y	0,0266	Suivant axe Y	0,4949
Suivant axe Z	0,0942	uivant axe Z	2,0801

Tableau III.2 : comparaison des déplacements

Pour les contraintes, Midoune[2] a trouvé une contrainte équivalente maximale de 9,19 MPa. Cette valeur est très faible par rapport à la contrainte équivalente maximale obtenue (91,34 MPa). Cette grande différence est causée par la nouvelle section qui est plus faible que l'ancienne section.

Chapitre IV

Vérification du flambement

Chapitre IV : Vérification de flambement

IV.1 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 :

$$N_c = f_f \times P,$$

Où f_f est le facteur de flambement.

N_c : La charge critique,

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

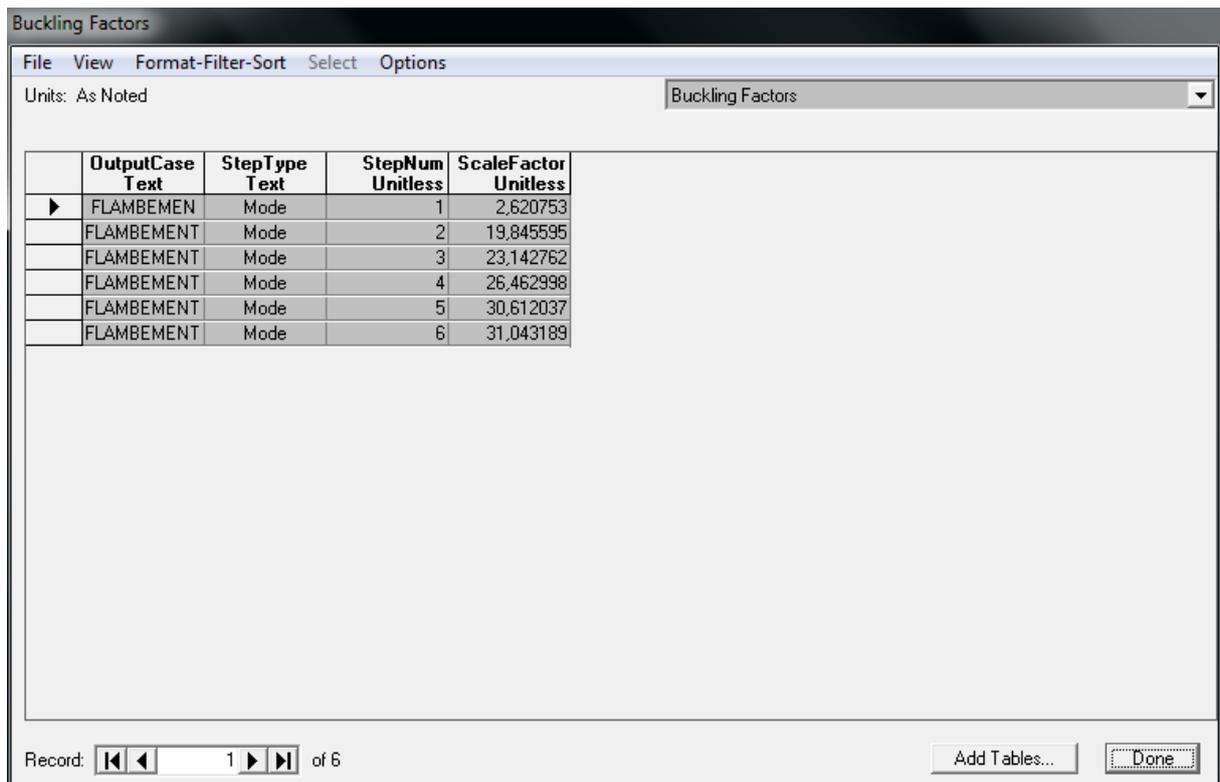
On rappelle ci-dessous la signification du phénomène du flambement :

- 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'accroissant.

Chapitre IV : Vérification de flambement

IV.2 Présentation des résultats :

Nous avons calculé les facteurs des six premiers modes de flambement. Ils sont sur la Figure IV.1.



The screenshot shows a software window titled "Buckling Factors". It has a menu bar with "File", "View", "Format-Filter-Sort", "Select", and "Options". Below the menu bar, it says "Units: As Noted" and "Buckling Factors" in a dropdown menu. The main area contains a table with the following data:

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	ScaleFactor Unitless
▶	FLAMBEMENT	Mode	1	2,620753
	FLAMBEMENT	Mode	2	19,845595
	FLAMBEMENT	Mode	3	23,142762
	FLAMBEMENT	Mode	4	26,462998
	FLAMBEMENT	Mode	5	30,612037
	FLAMBEMENT	Mode	6	31,043189

At the bottom of the window, there is a "Record:" field with navigation arrows and the text "1 of 6". To the right are buttons for "Add Tables..." and "Done".

Figure IV.1: Facteurs de flambement

Nous présenter la déformation de première mode de flambement ci-dessous. (Figure IV.2)

Chapitre IV : Vérification de flambement

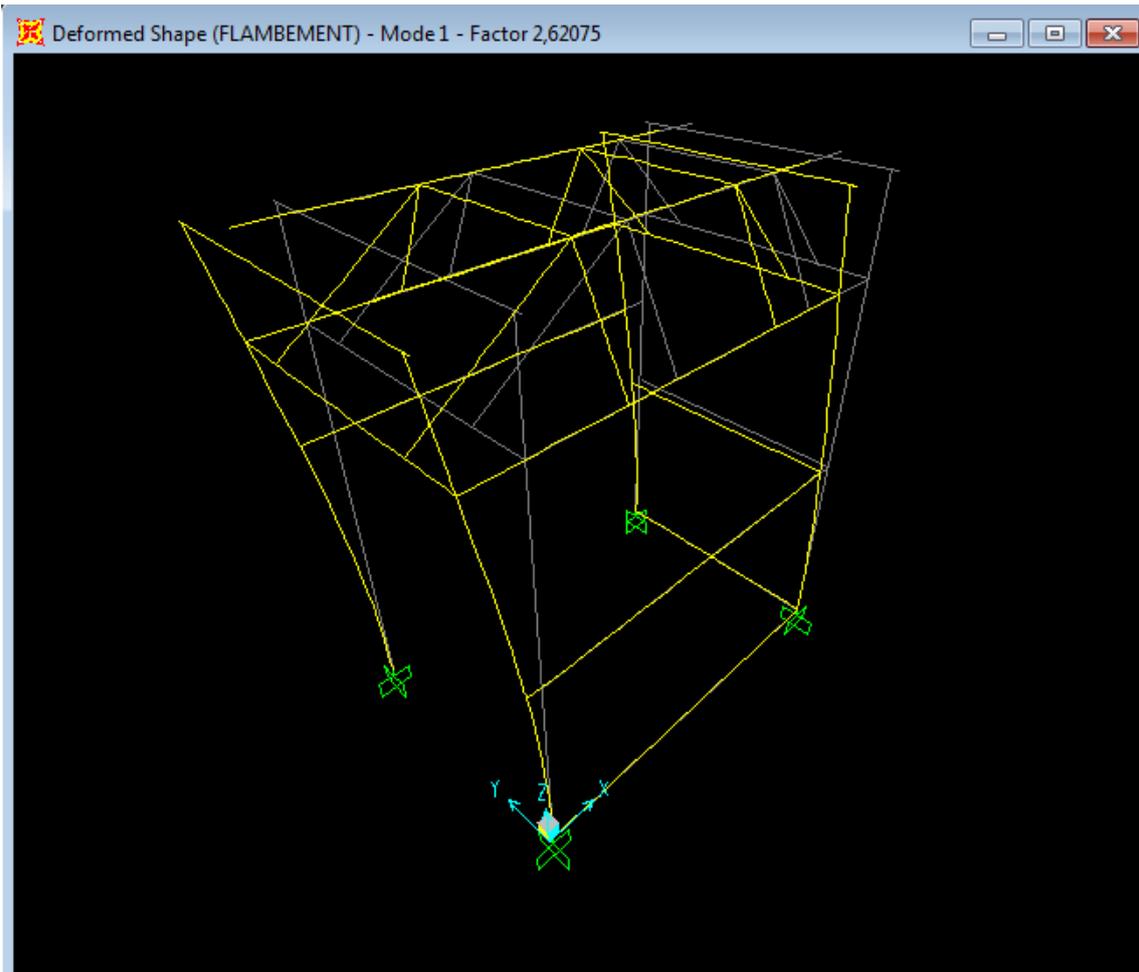


Figure IV.2: premier mode de flambement.

IV.3 Calcul de la charge critique :

La charge critique correspond au facteur du premier mode :

$$N_c = f_f \times P = 2,6207 \times 1,37 = 3,59 \text{ N/mm}$$

Nous observons que la charge critique est supérieure à la charge appliquée. Par conséquent la structure est stable.

Conclusion générale

Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

- L'objectif principal de ce travail est d'enlever le surdimensionnement observé dans le travail de Hanini [3]. En effet les résultats obtenus par Hanini [3] pour la contrainte équivalente maximale et la force critique du flambement sont respectivement 21,23 MPa et 65,98 N/mm (à comparer avec 250 MPa et 1,37 N/mm). Nous rappelons que Hanini [3] a utilisé l'UPN80. En réduisant la section et en utilisant l'UPN50, nous avons obtenu respectivement 91,34 MPa et 3,59 N/mm. Nous constatons en effet, que nos résultats sont valides, et suffisamment éloignées des valeurs limites. Ce qui veut dire que notre structure est résistante sans être trop surdimensionnée.
- Hanini [3] n'a pas vérifié l'orientation des axes locaux des éléments de la structure. Dans ce travail, la vérification et la correction de ces axes a été effectuée. Cela veut dire que notre modélisation est plus précise.

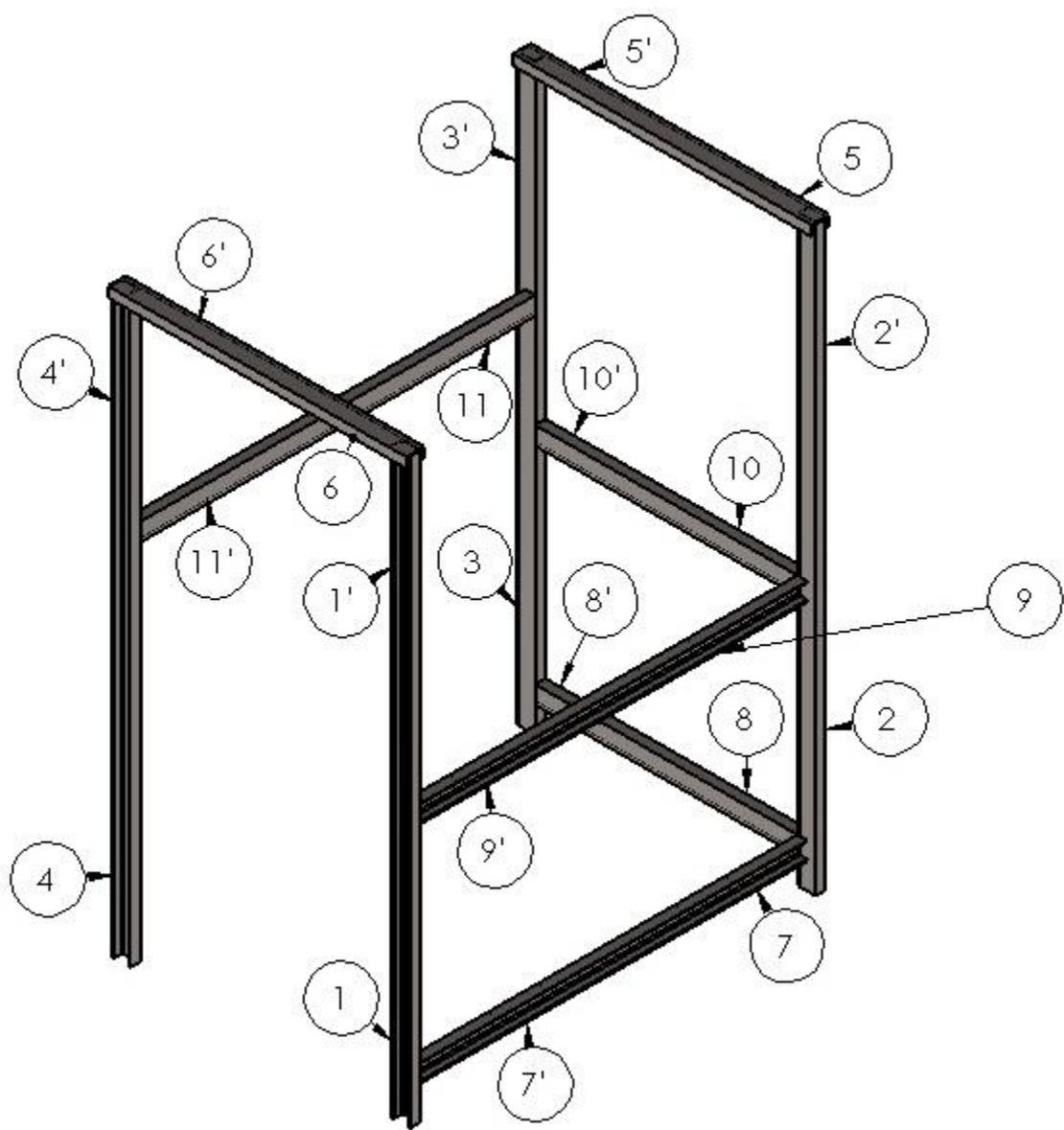
Dans tous les travaux précédemment effectués, la section utilisée est du type UPN. Il serait intéressant d'étudier l'influence d'un autre type de section sur les résultats. Cette étude fera l'objet d'un prochain travail.

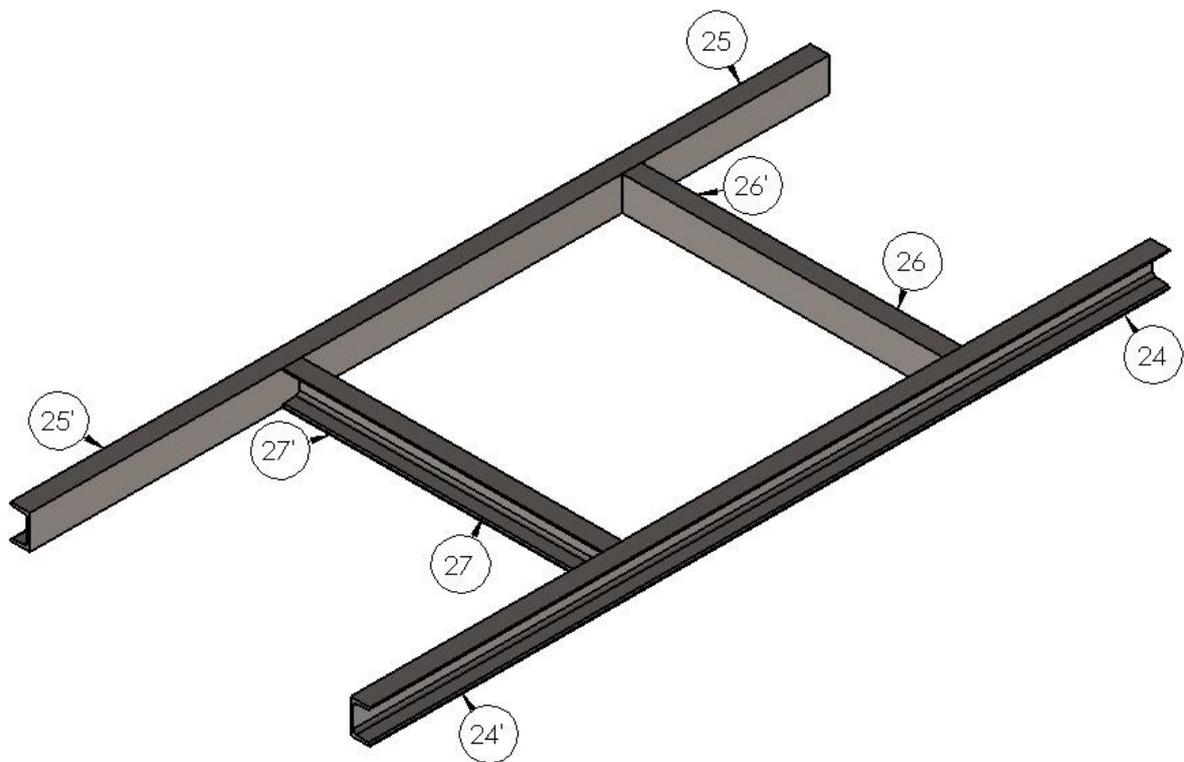
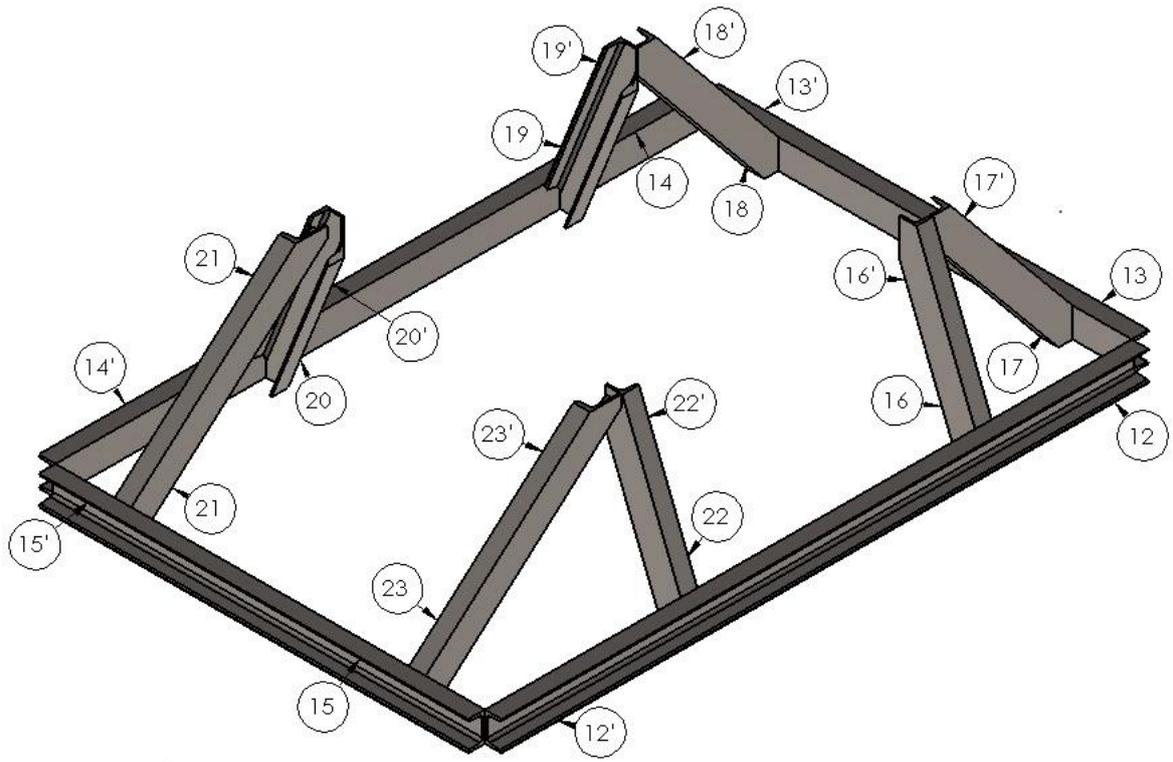
Références

- [1]. HENNANE ABOUBAKR , « Conception et Modélisation du support d'un ENSACHEUSE PESEUSE » Master Conception Mécanique USDB 2015
- [2] BELDJOUHER HOCINE, MIDOUNE CHOUAIB, « CALCUL DU SUPPORT D'UNE ENSACHEUSE PESEUSE AVEC SAP2000 » Master Construction Mécanique USDB 2019.
- [3] HANINI HAMZA ABDELLAH, KERBOUCHEOUSSAMA, « INTRODUCTION D'ARTICULATIONS DANS LA MODELISATION DU SUPPORT D'UNE ENSACHEUSE PESEUSE AVEC SAP2000 » Master Fabrication Mécanique et Production USDB 2020
- [4] « Convention des axes locaux » Site web : https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=5a46918bbe&attid=0.1&permmsgid=msg-f:1672651592049495561&th=173673c2c91a0e09&view=att&disp=inline&saddbat=ANGjdJ-28v6uwSxtgShlULq2L_1Jrt8GiHbfvmNZRI5SHZhWHh1gj5YccTR5wsC8C8COJNpdRXLz7MD8uK4zXwo0hJt0t5USdDDETWiSrHOcSjys_vZ2SN_vM8HWREox6QXYQ0en093KZoNRfUX9KkruBDaEudY3suXzGBK4_RBufpFgnRdHE3uXwypIRKsx_55Ow8_cWOTjSZE-RZsOZ2QLZcXIU_OR8mEtkMfrXM2Q3lym367da8q7s4VicNOLpIKORJpBRTAo5fzWQyACCFituhMXmcOEoVBvch3-IMpaOI5bcGHnJhDLbdoEzI8ieiWk6tR7Hef-X6hUJx7h2d9cRRksf-LvA7S71bcS_dljIG7Viu5t1uTNhkEiz1xpQSu8VqrcA2QHRJNjQ9dxGmN6IQiCgYPxwcAVZIQTiHwUzv2pnfB29ZULu-Q6zjF5aoVPcp7ta3lp5x1SHguPBwNesoAxJz-UXhr3GkG0kmXve4V9Bg78eP8YCVW10Fa_NQlGe--PTxp9bycjl_tYcaYqh4NAmmyvVJymsF2acf5rrz2_FxWBVFVidCgbwRUbDbo5T2GOLLfaH1fvH762EWxu7tiq0M11IY6ofh2yJWVcTSR0SeGPdEBqjOXXGr-fbS3zBiQ5WJ1SSNZoiau6DoNfqdmNKMxdq5xm0tzive0jQr5CKuLnymbXmkpBLE
- [5] M. Kerguignas, G. Caignaert, « Résistance des matériaux », Dunod Université.
- [6] « Site web montanstahl special profiles Steel » caractéristique de UPN <https://www.montanstahl.com/downloads/pdf/7000-European-Standard-Channels-UPN.pdf>

Annexe 01

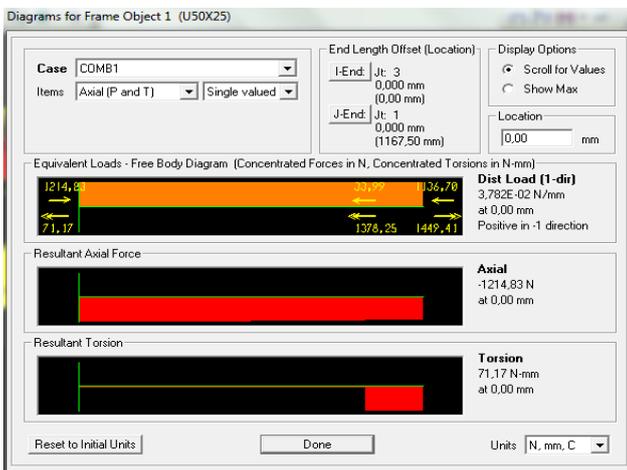
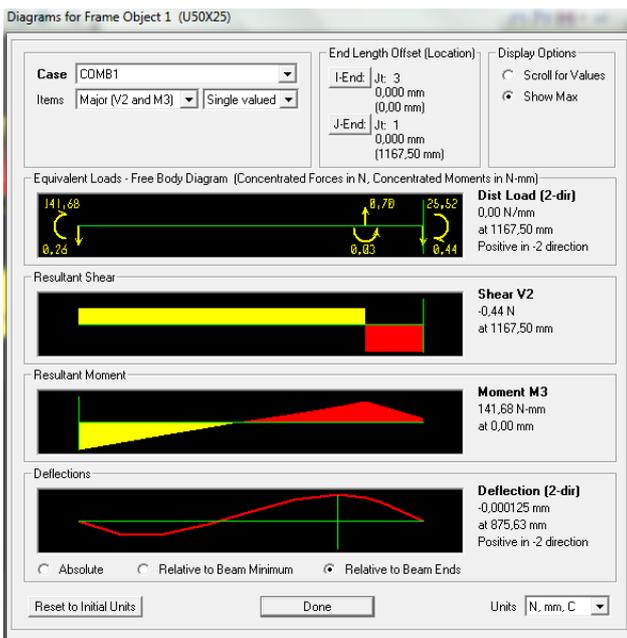
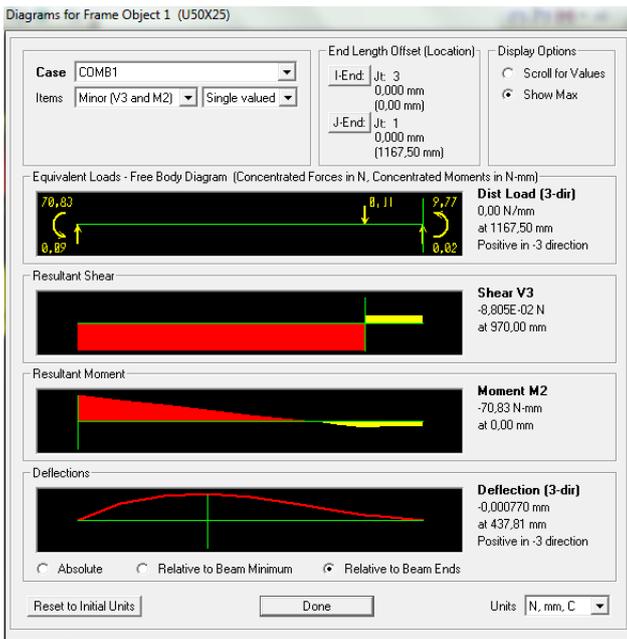
Numérotation des barres





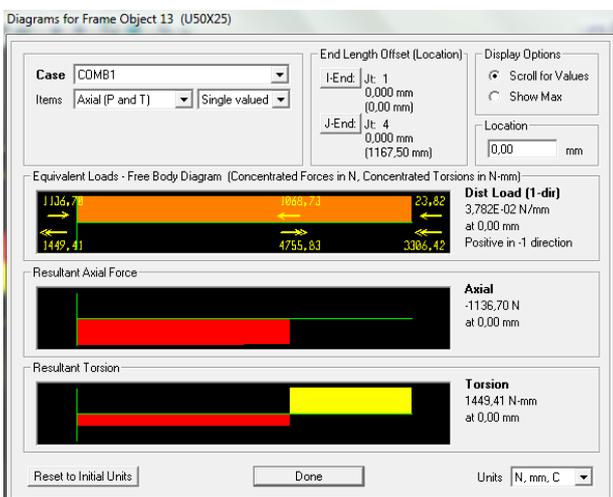
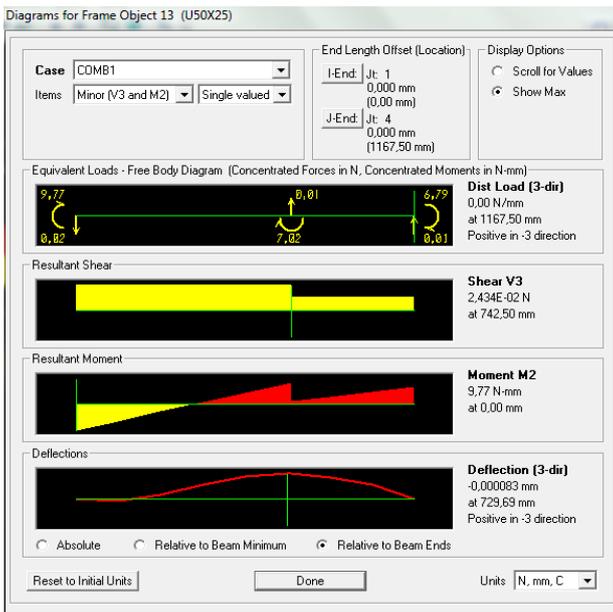
Barre 1

X= 0 mm

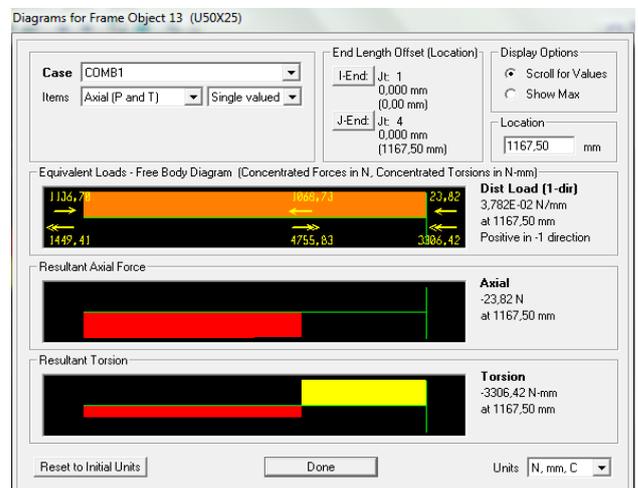
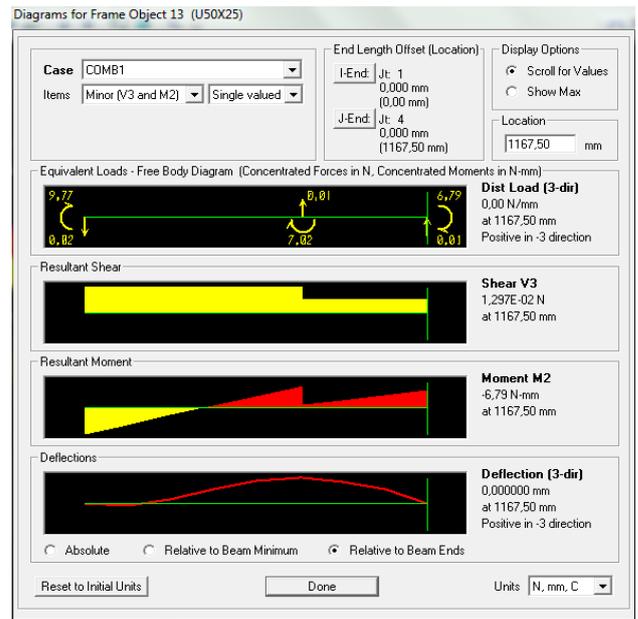


Barre 1'

X= 0 mm

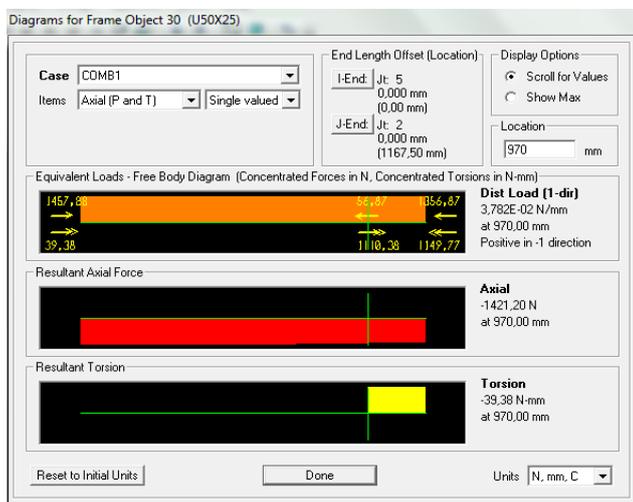
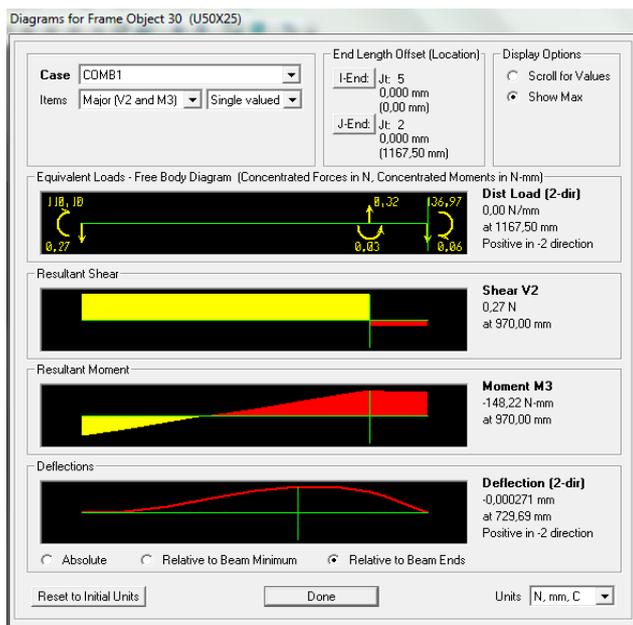
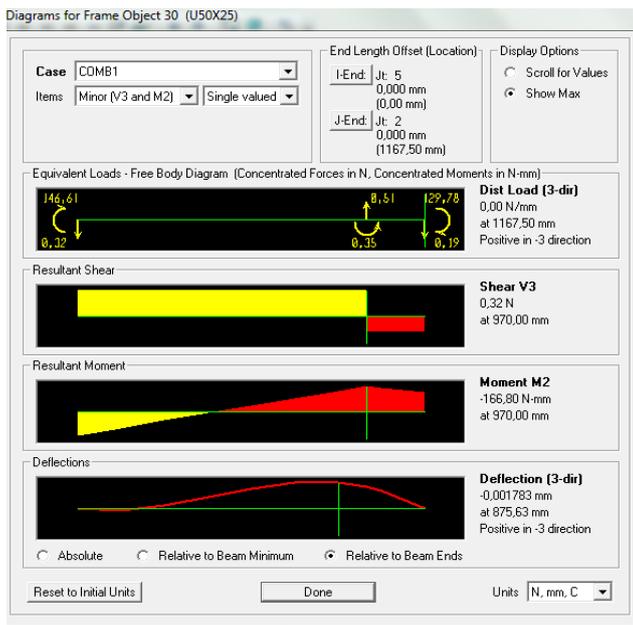


X= 1167,50 mm



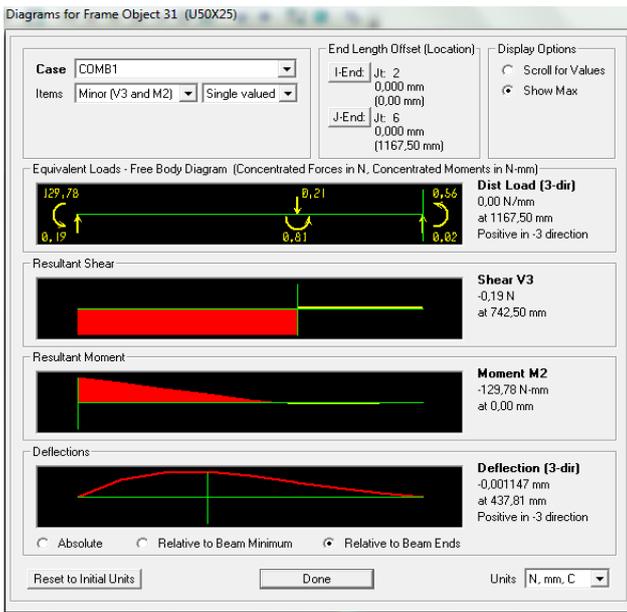
Barre 2

X= 970 mm

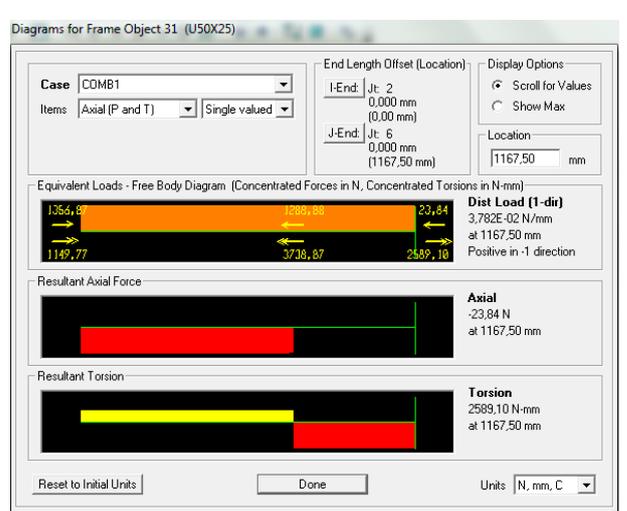
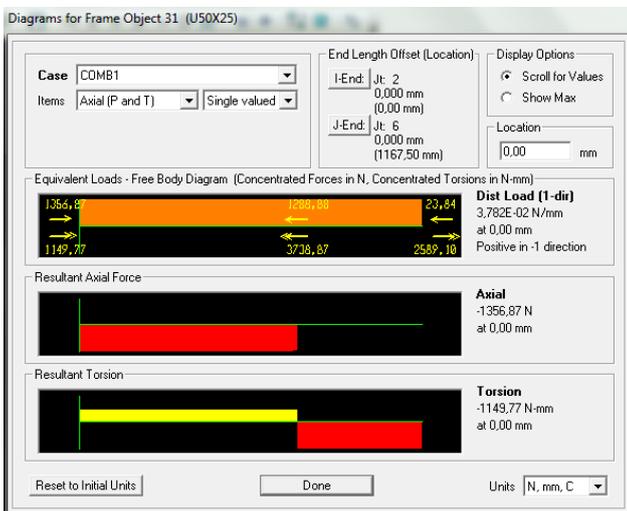
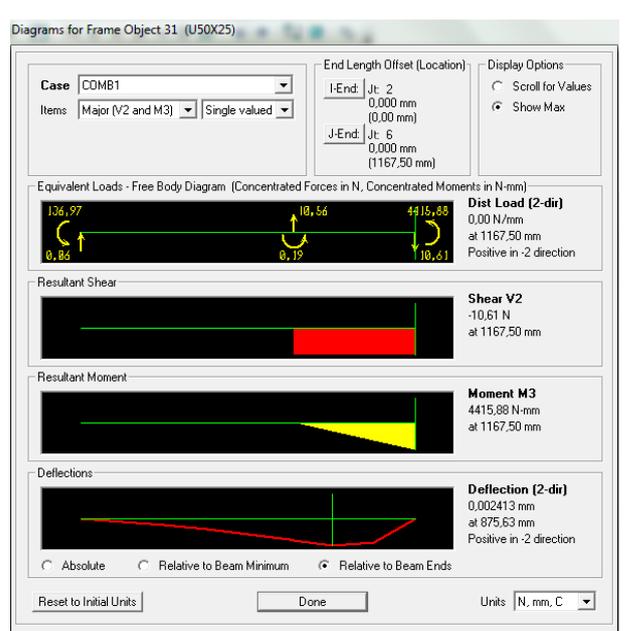
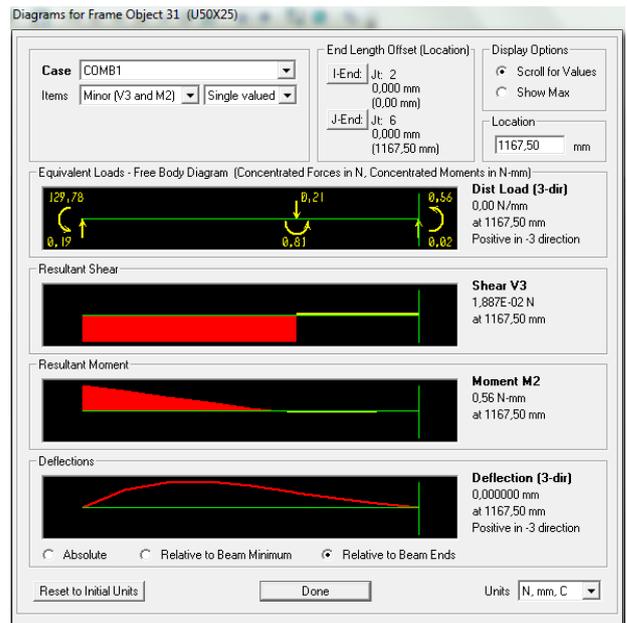


Barre 2'

X= 0 mm

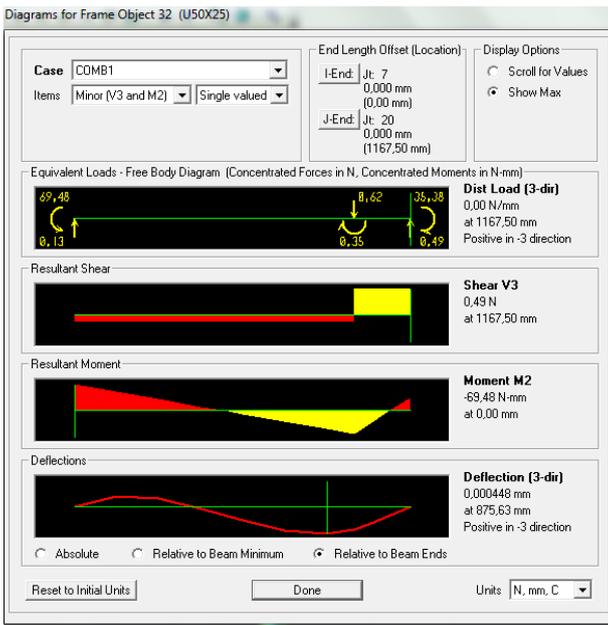


X= 1167,50 mm

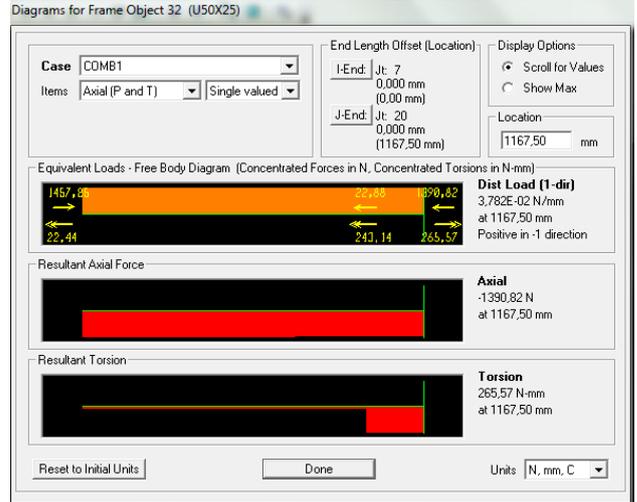
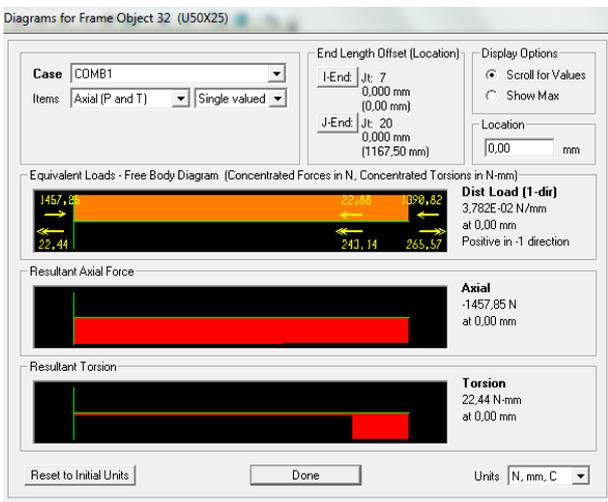
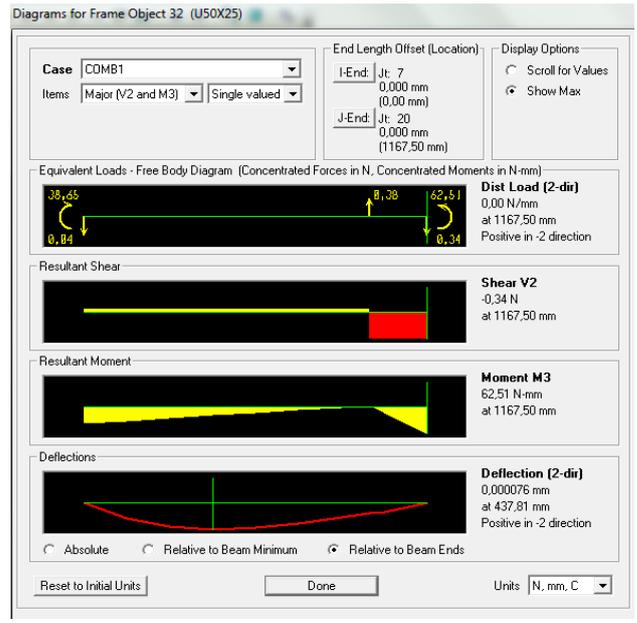
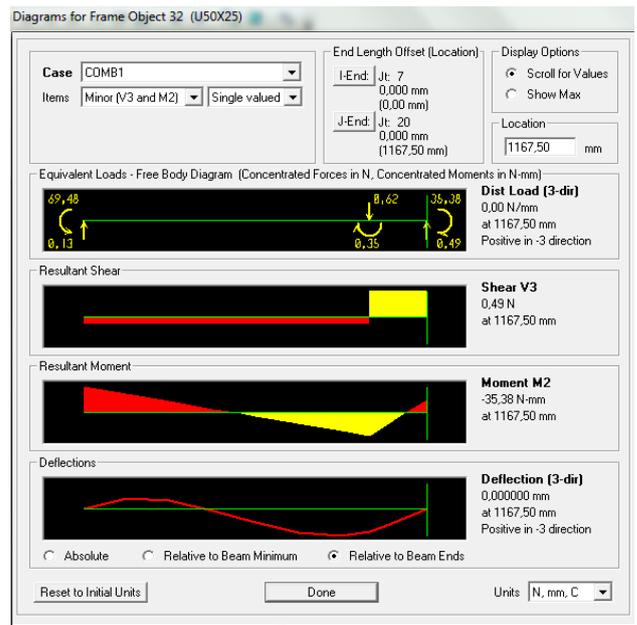


Barre 3

X= 0 mm

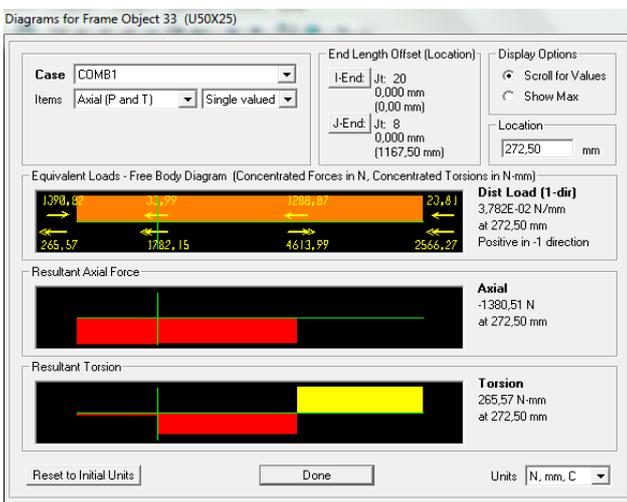
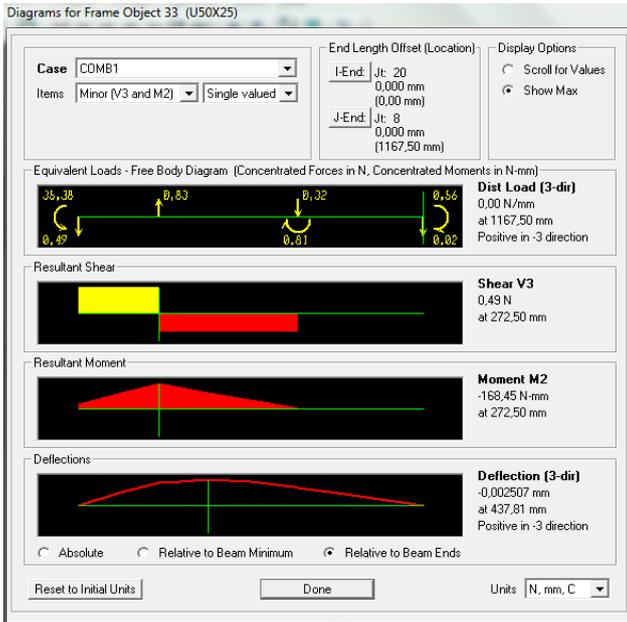


X= 1167,50 mm

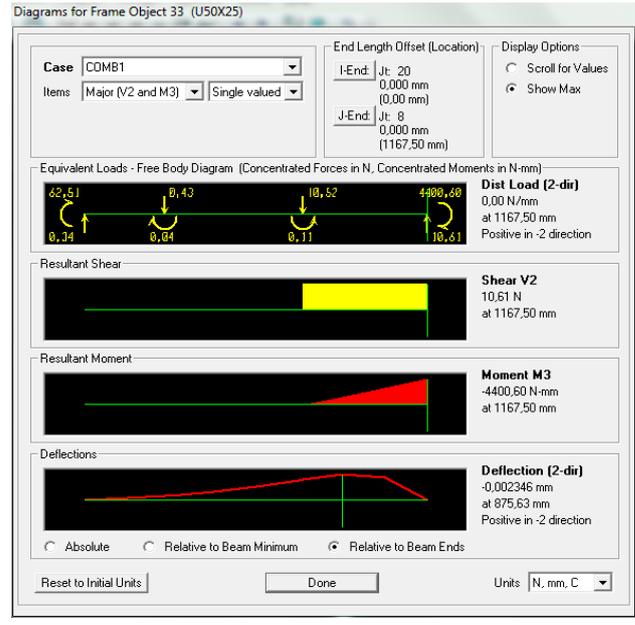
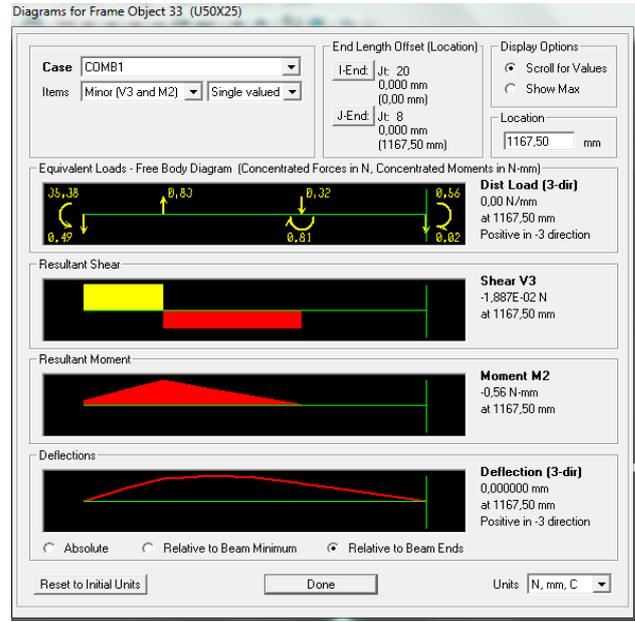


Barre 3'

X= 272,50 mm

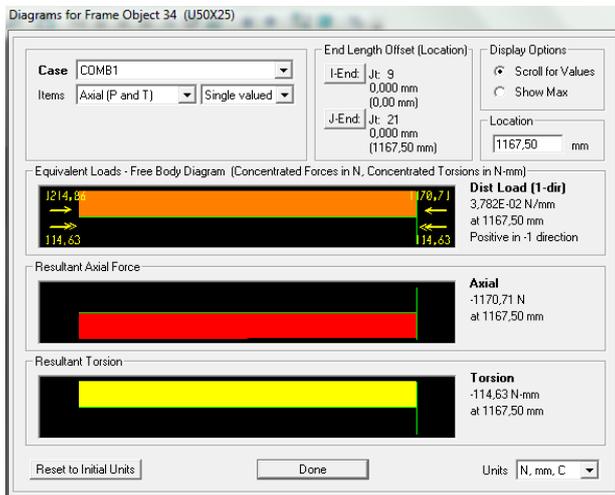
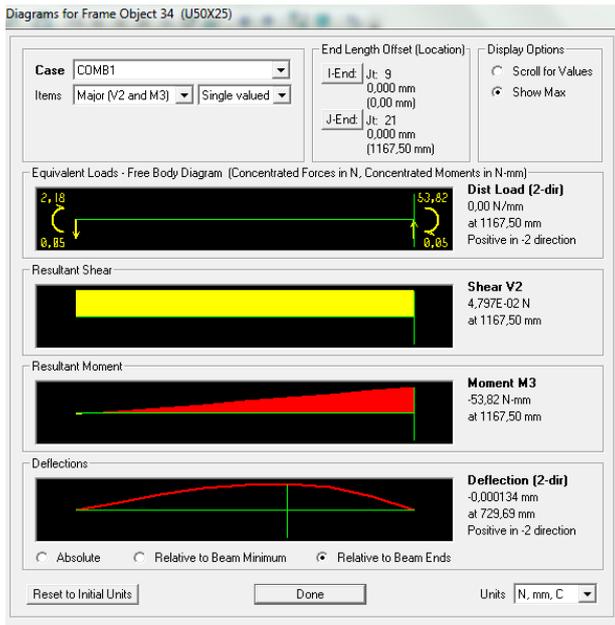
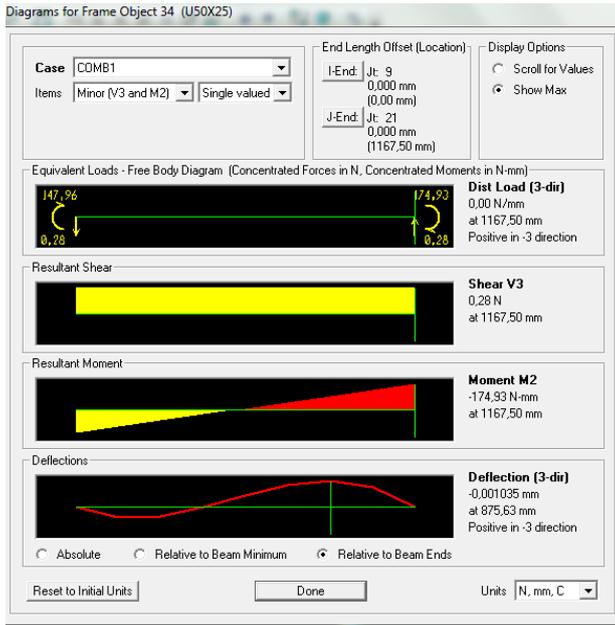


X= 1167,50 mm



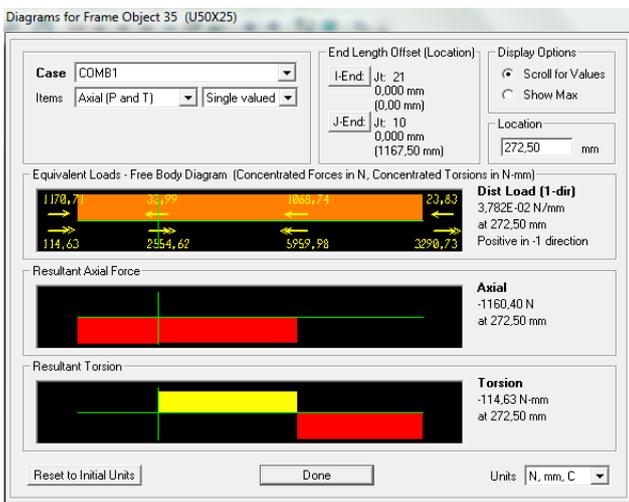
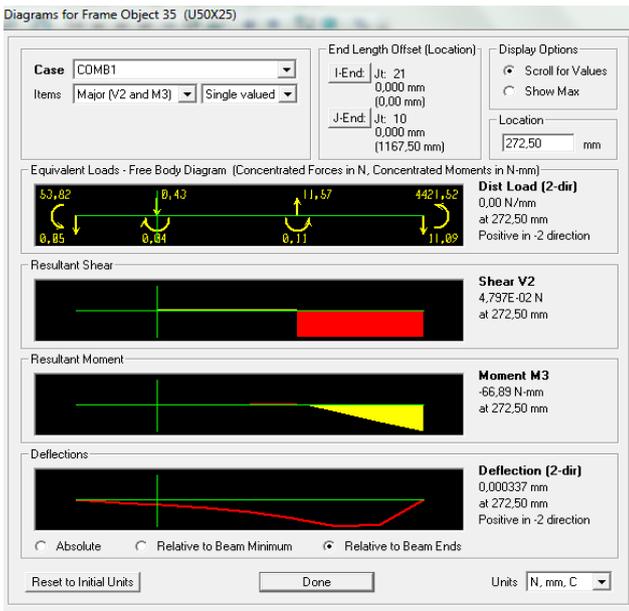
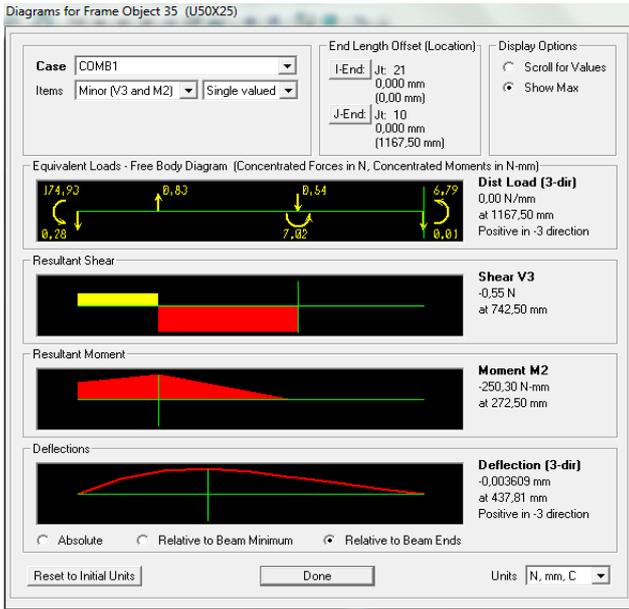
Barre 4

X= 1167,50 mm

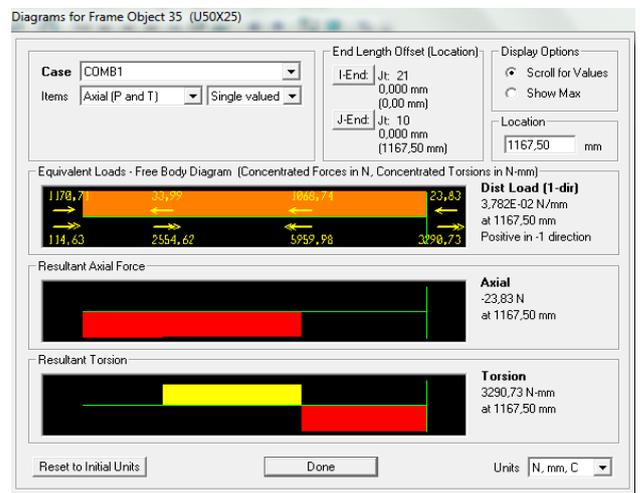
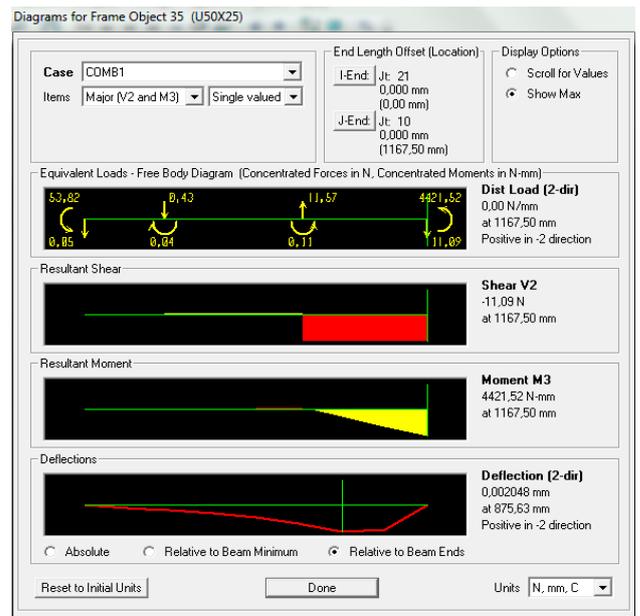
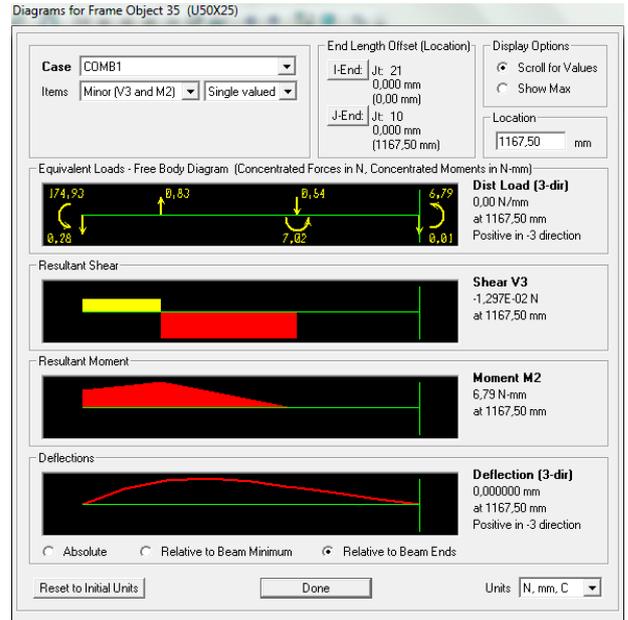


Barre 4'

X = 272,50 mm

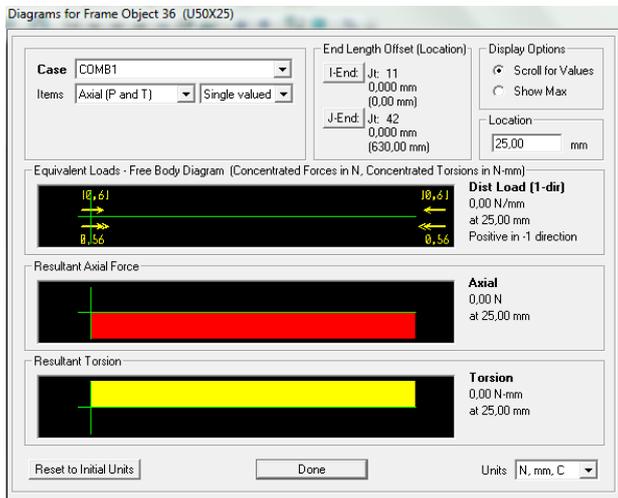
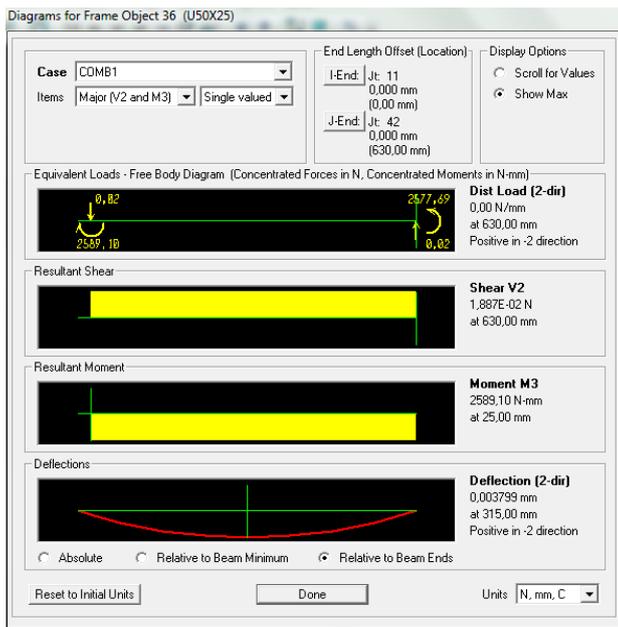
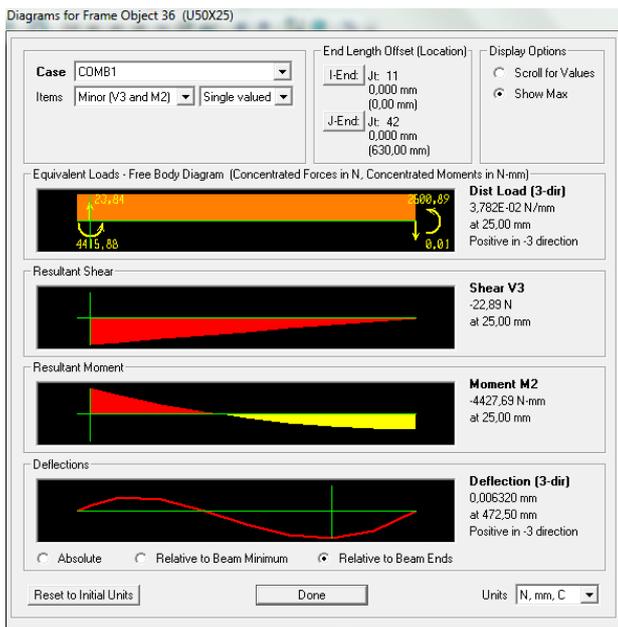


X = 1167,50 mm



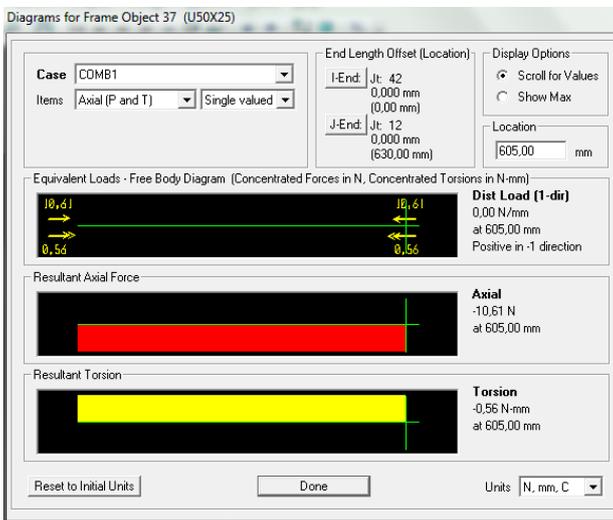
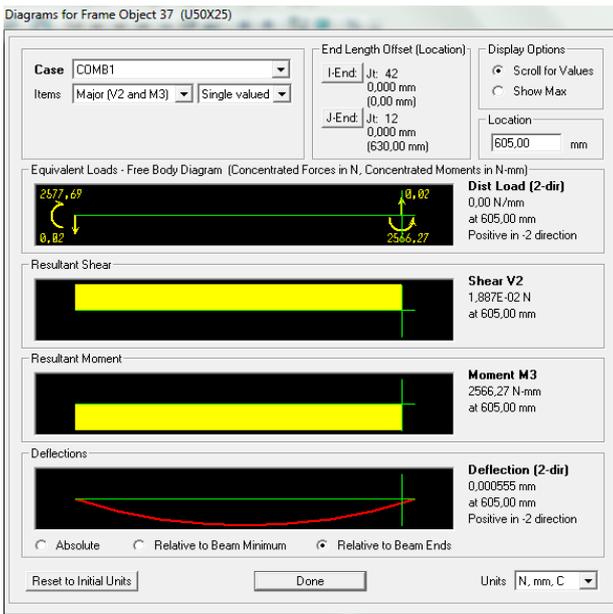
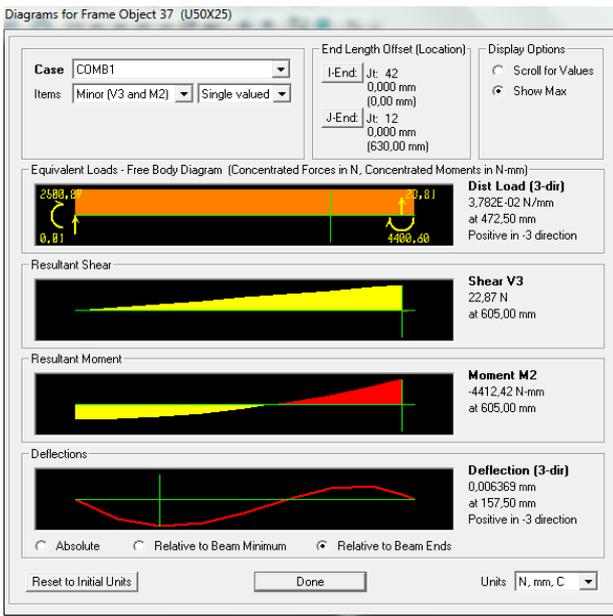
Barre 5

X= 25,00 mm

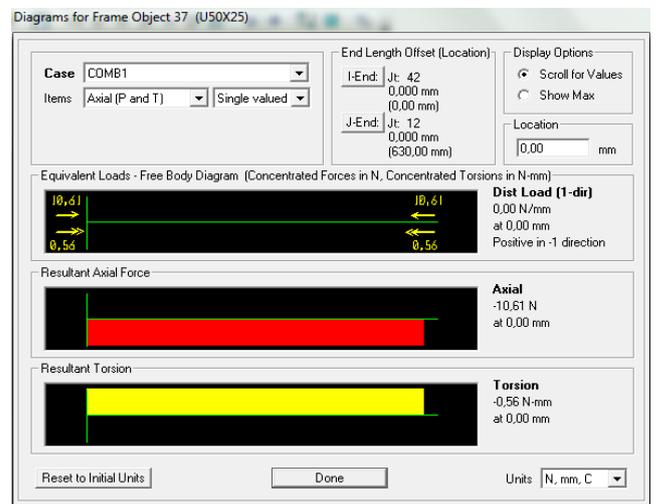
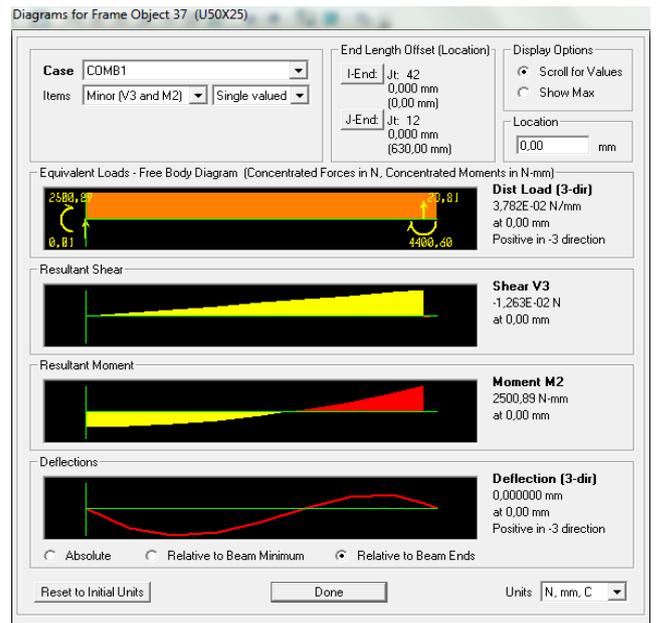


Barre 5'

X = 605,00 mm

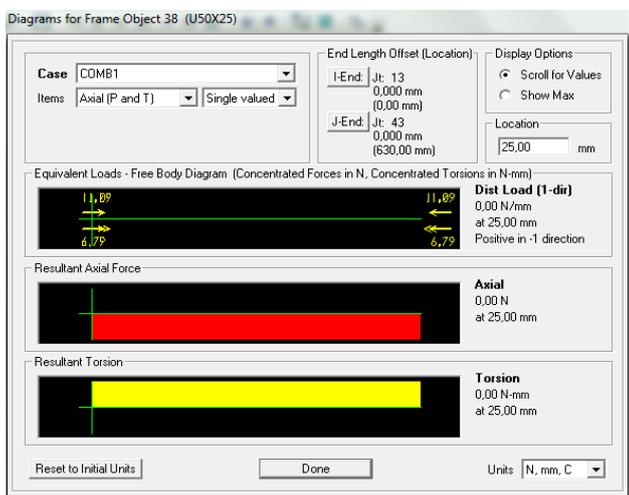
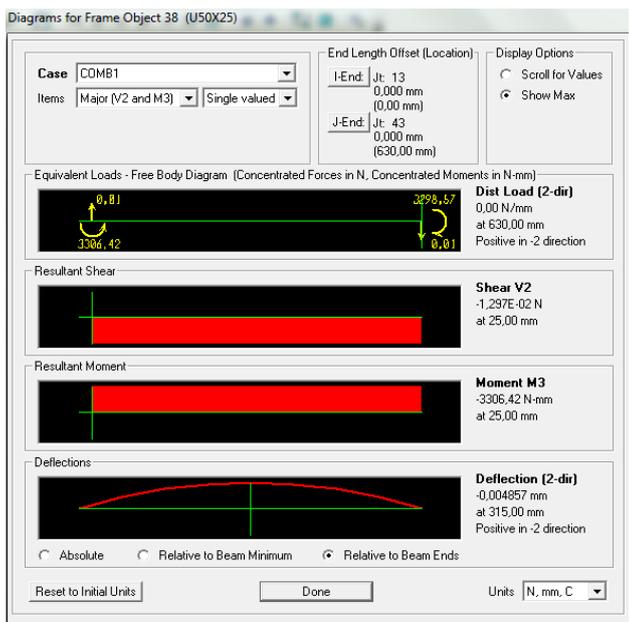
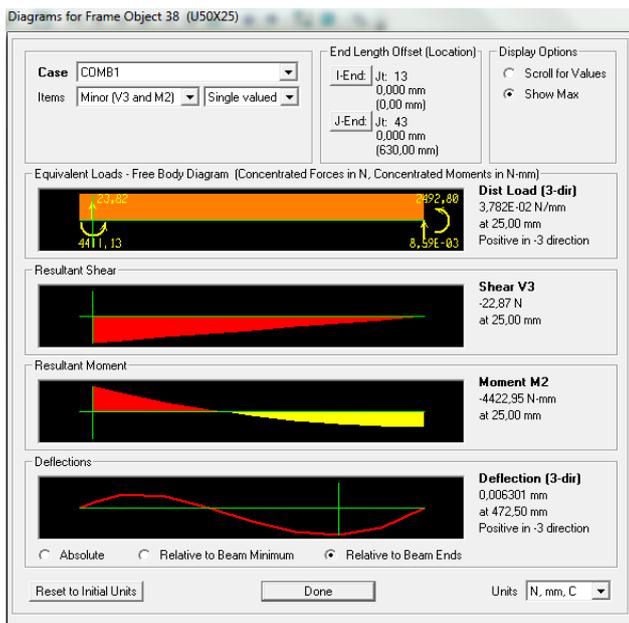


X = 0 mm



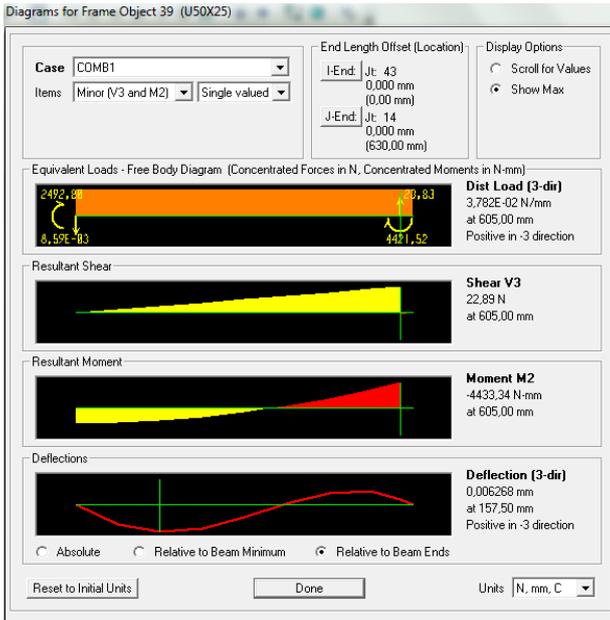
Barre 6

X = 25,00 mm

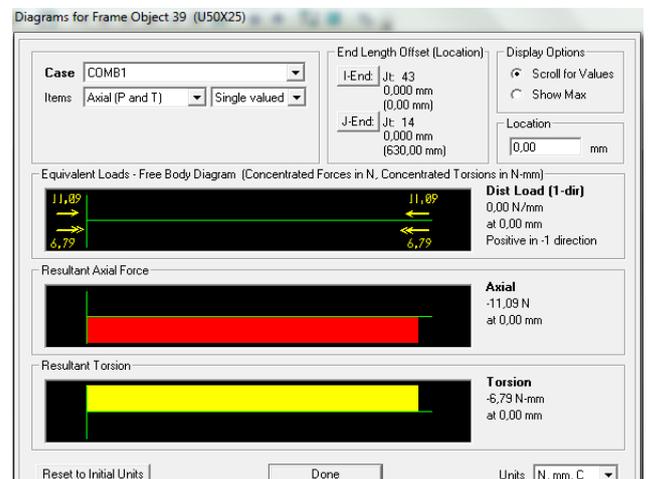
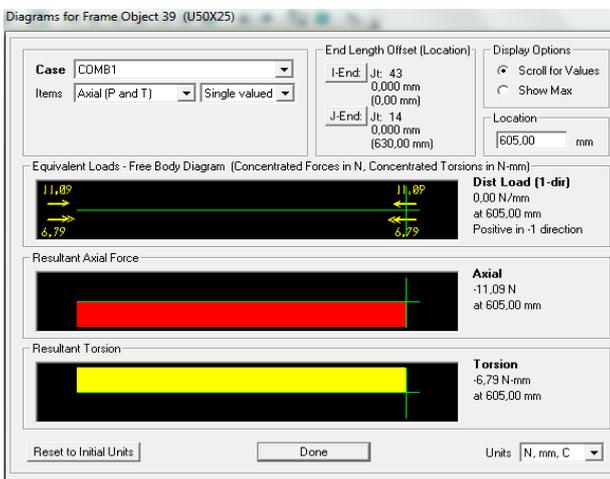
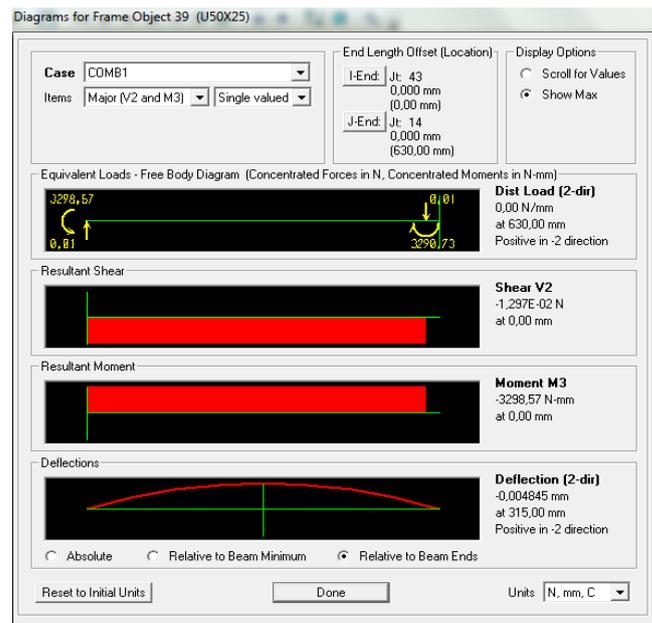
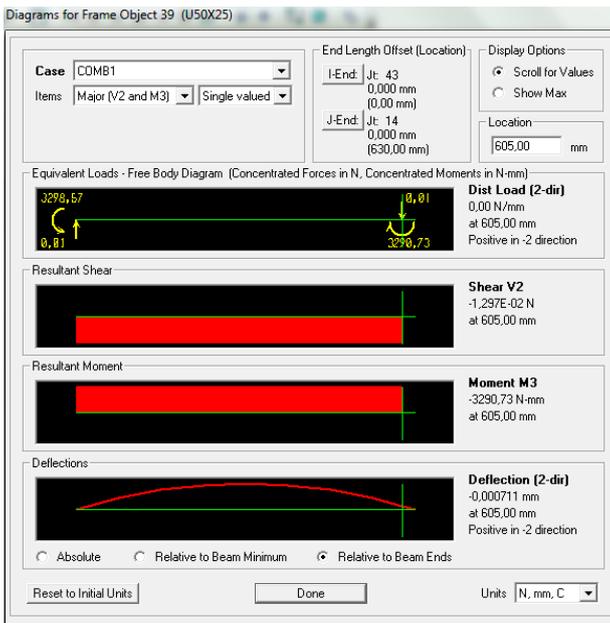
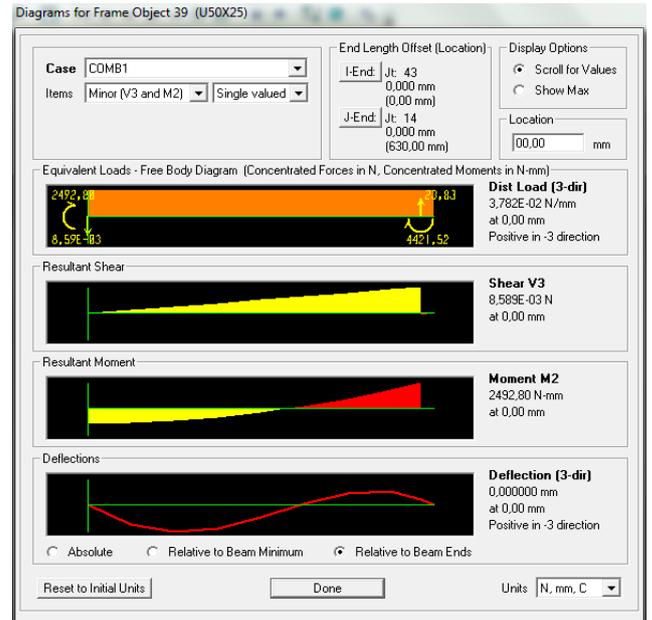


Barre 6'

X=605,00 mm

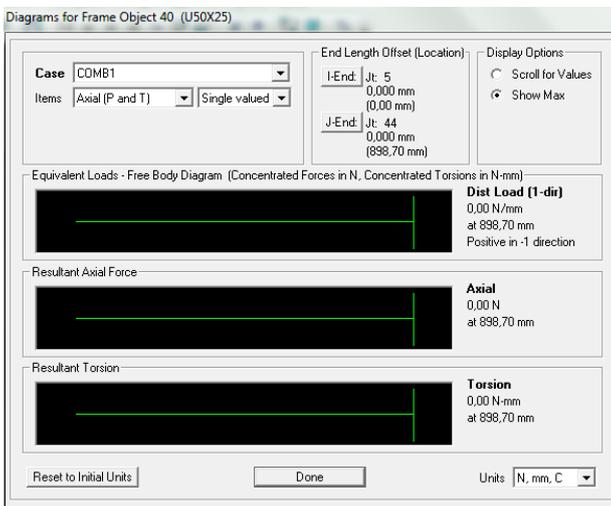
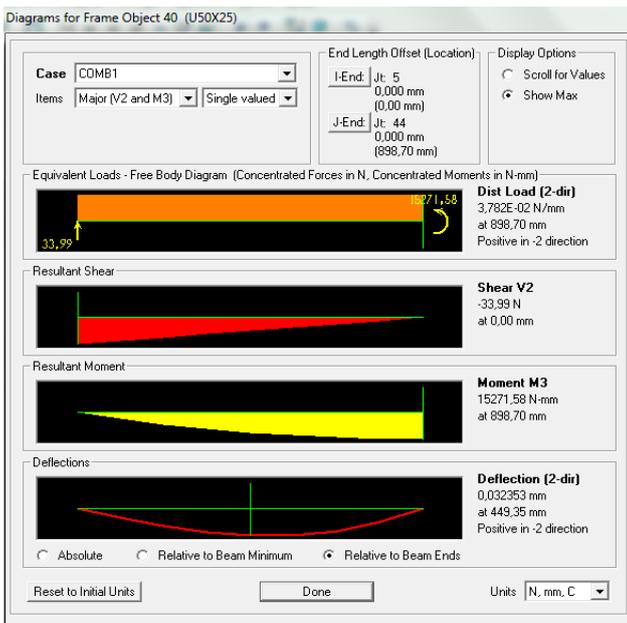
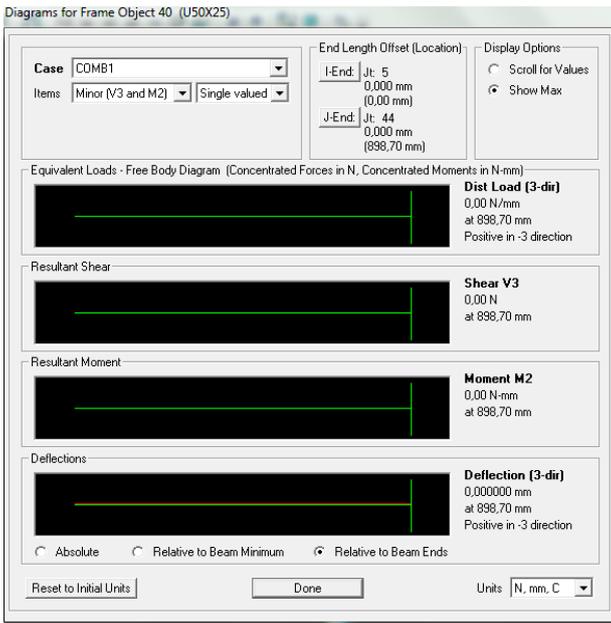


X= 0 mm



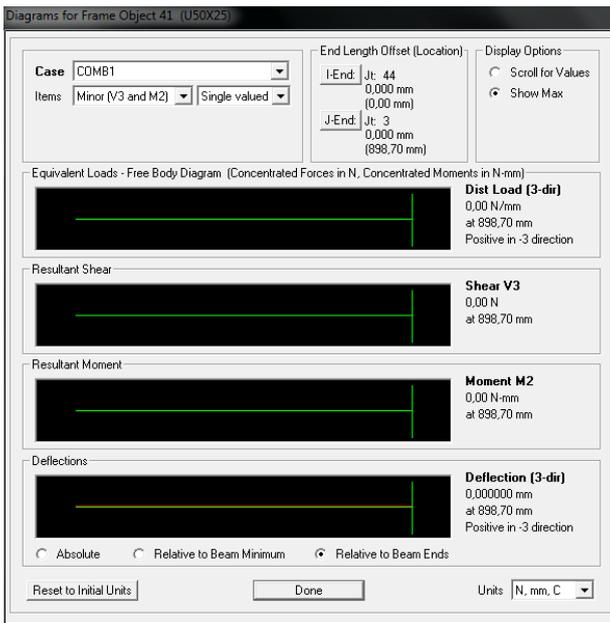
Barre 7

X=898,70 mm

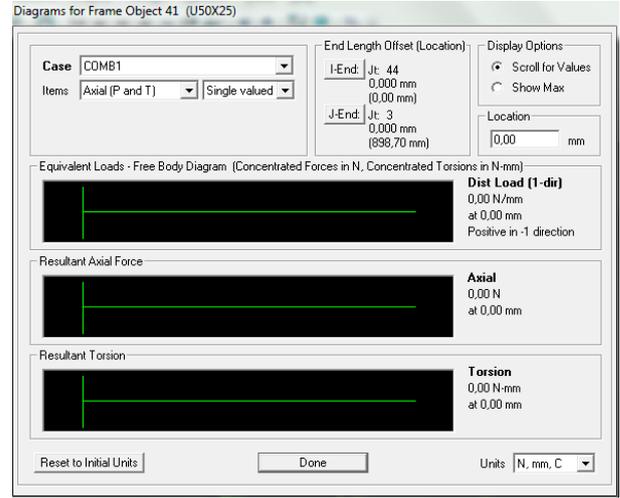
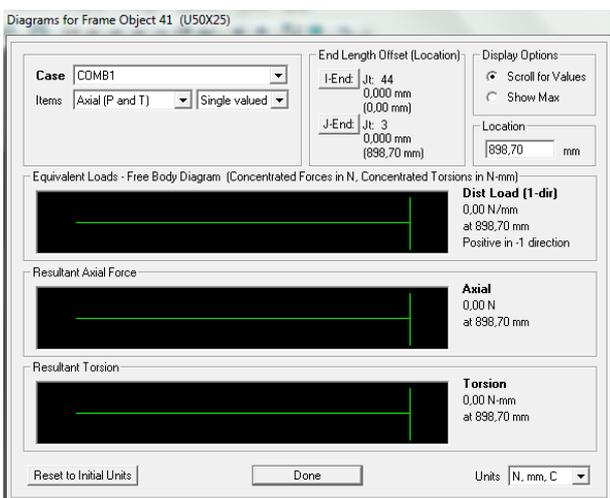
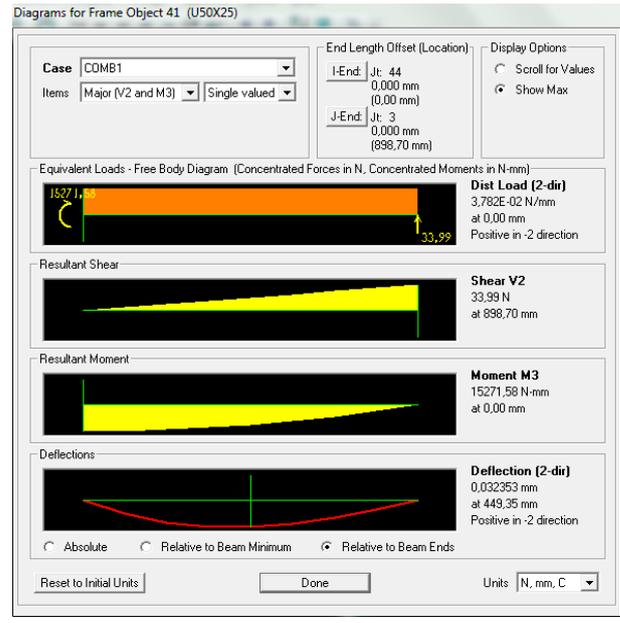
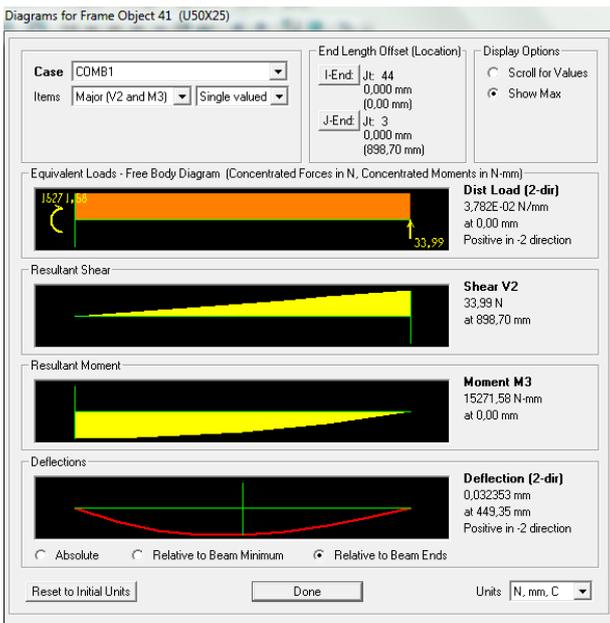
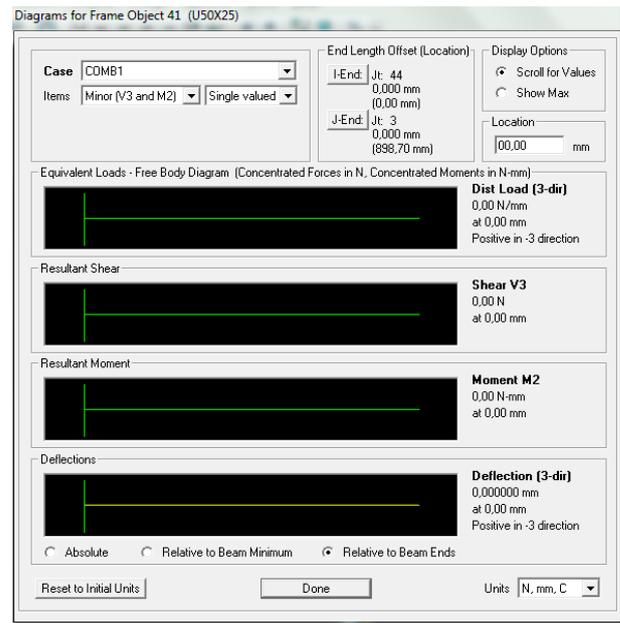


Barre 7'

X= 898,70mm

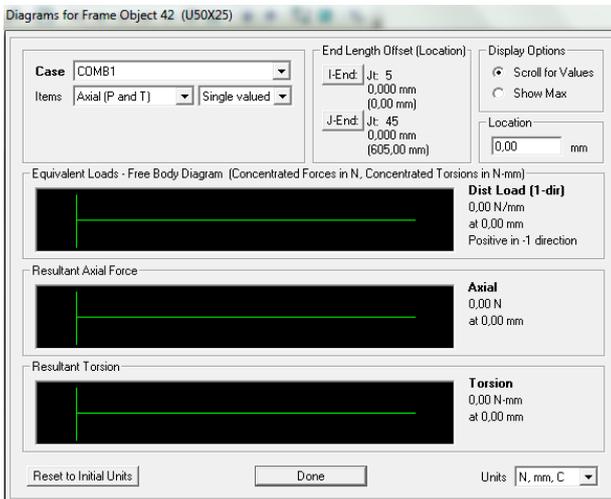
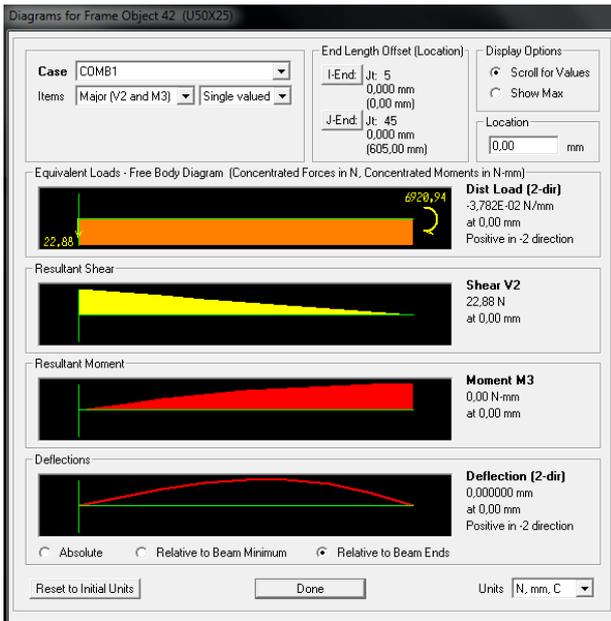
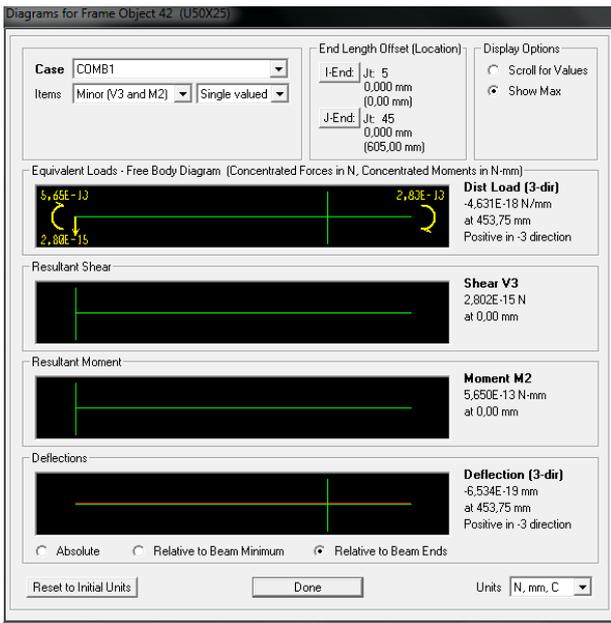


X= 0 mm

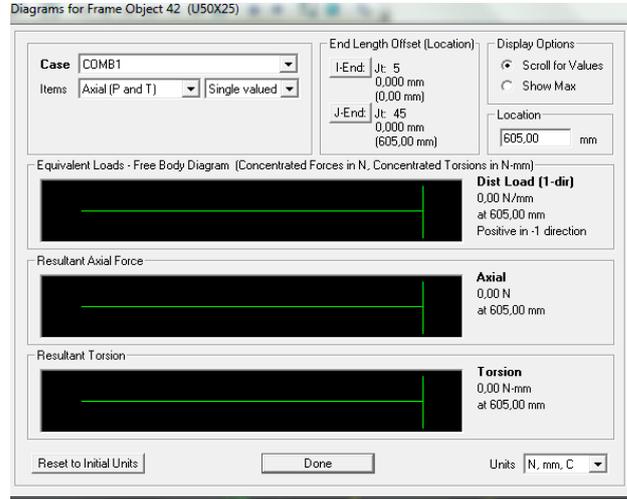
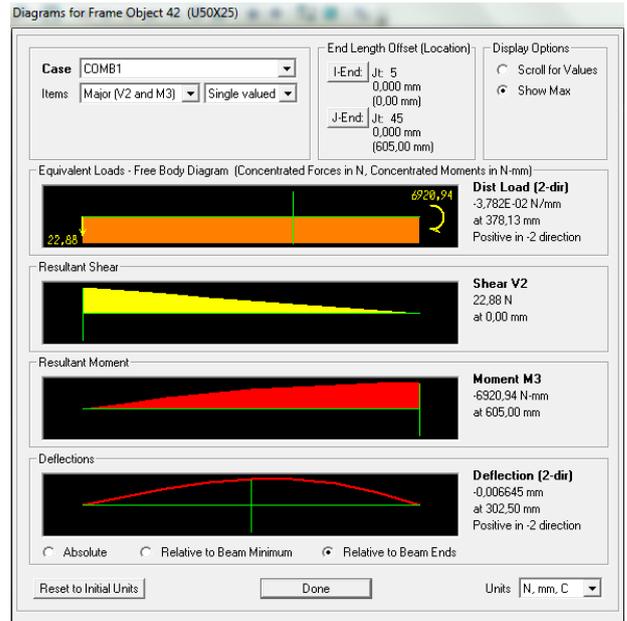
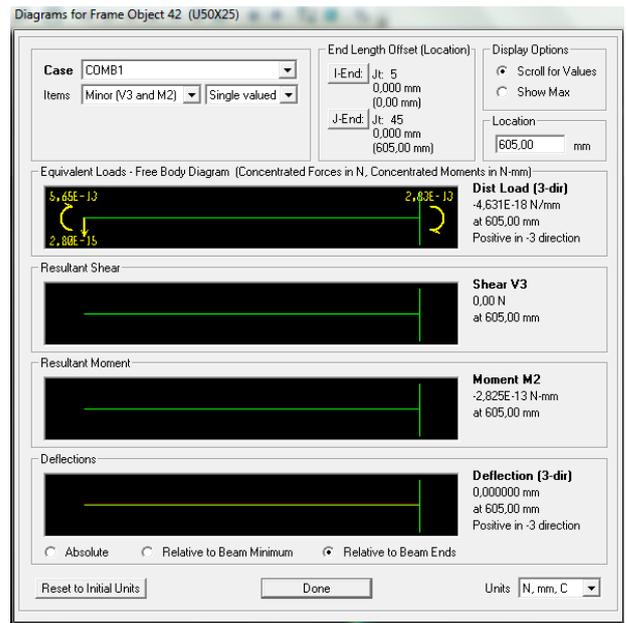


Barre 8

X= 0 mm

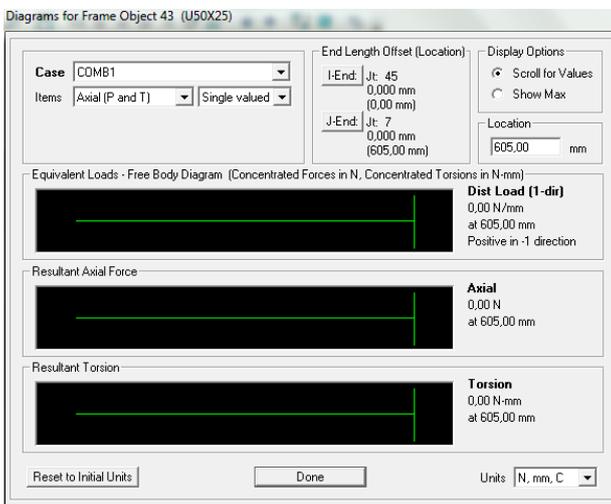
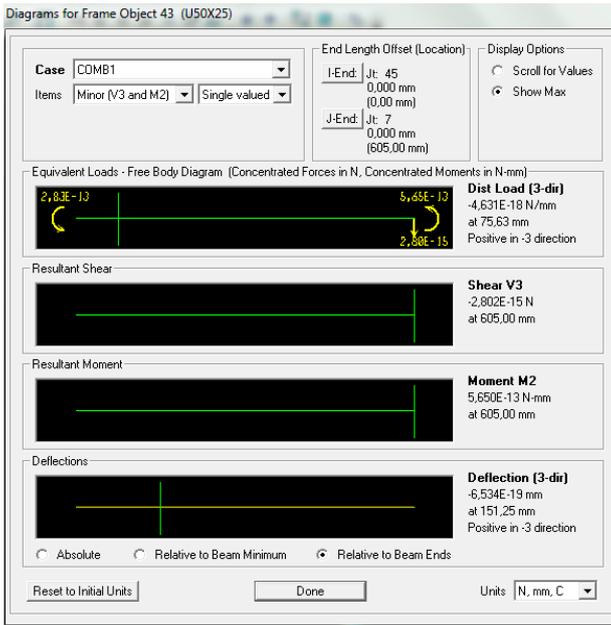


X= 605 mm

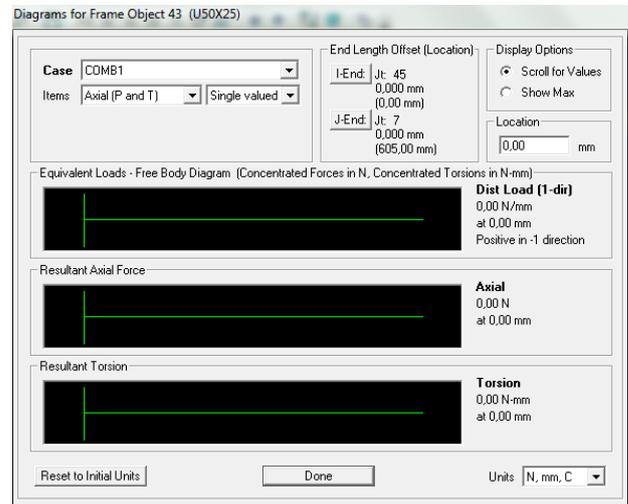
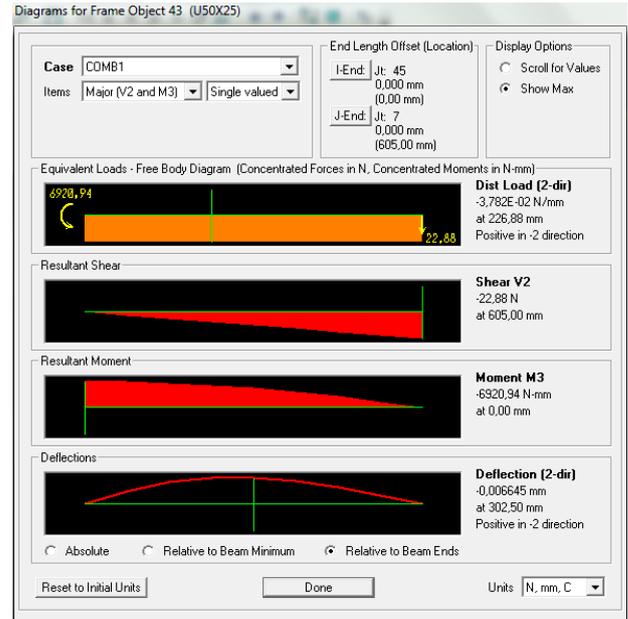
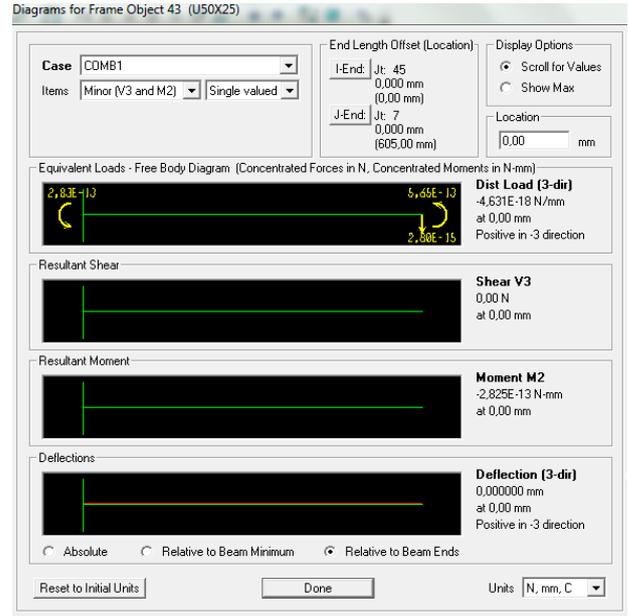


Barre 8'

X= 605 mm

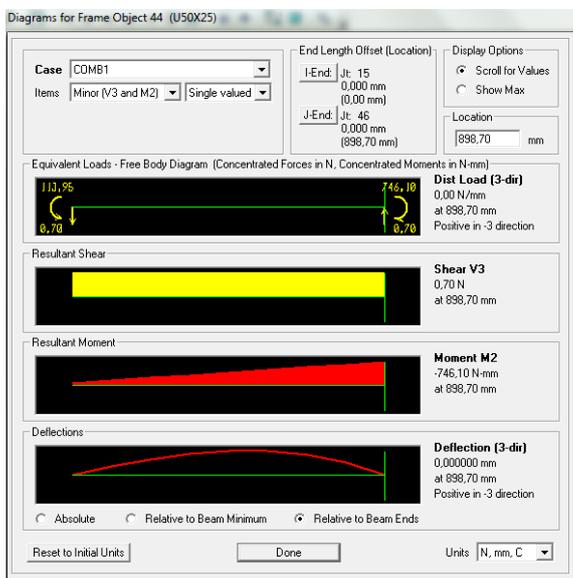
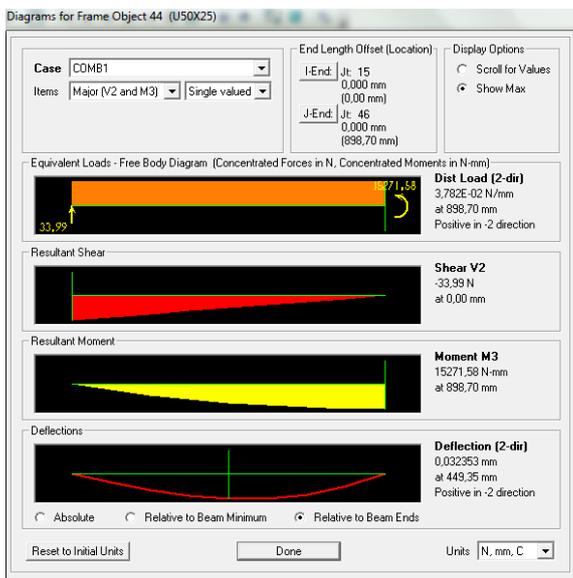
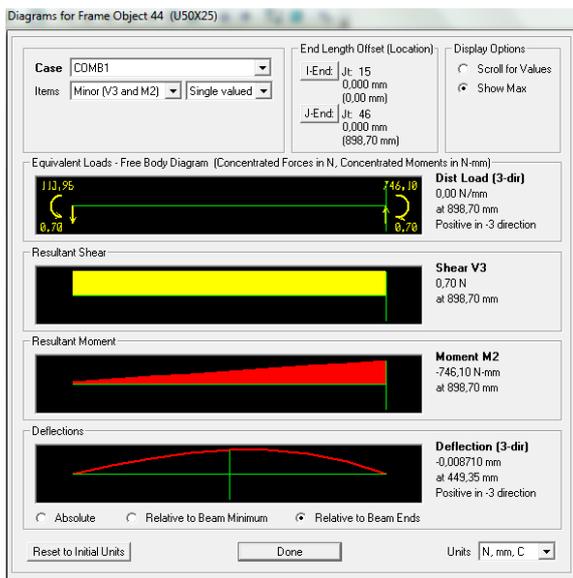


X= 0 mm



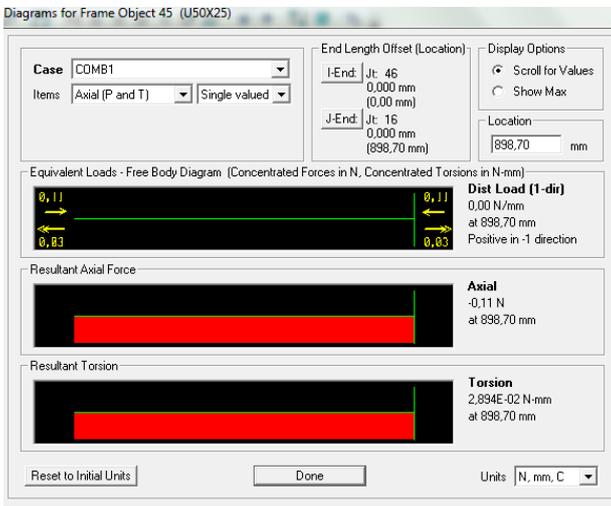
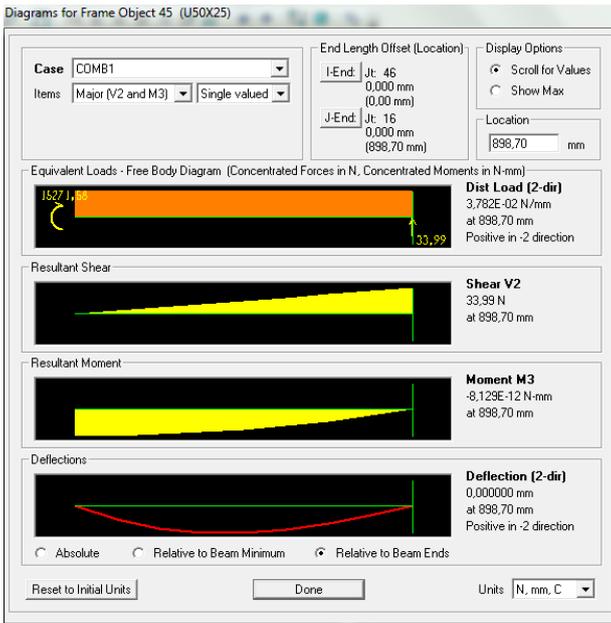
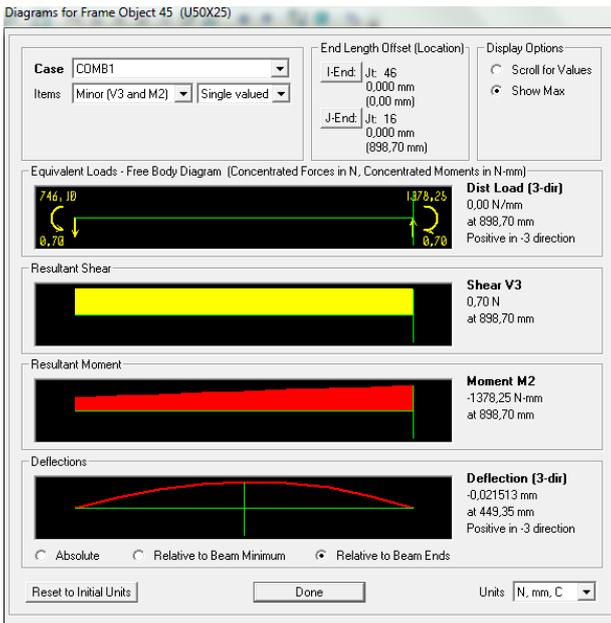
Barre 9

X= 898,70 mm

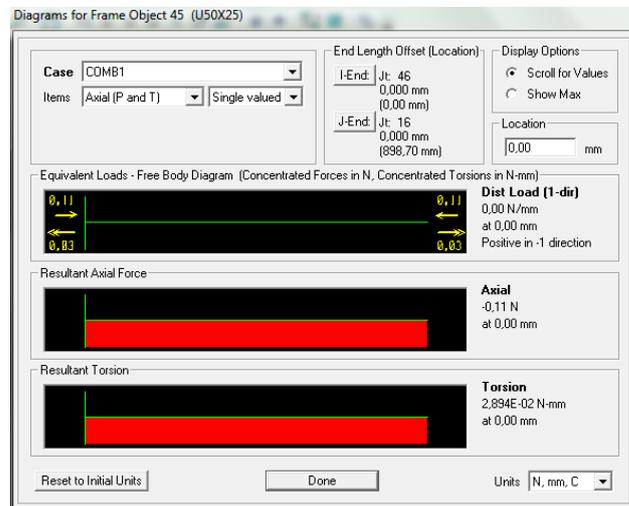
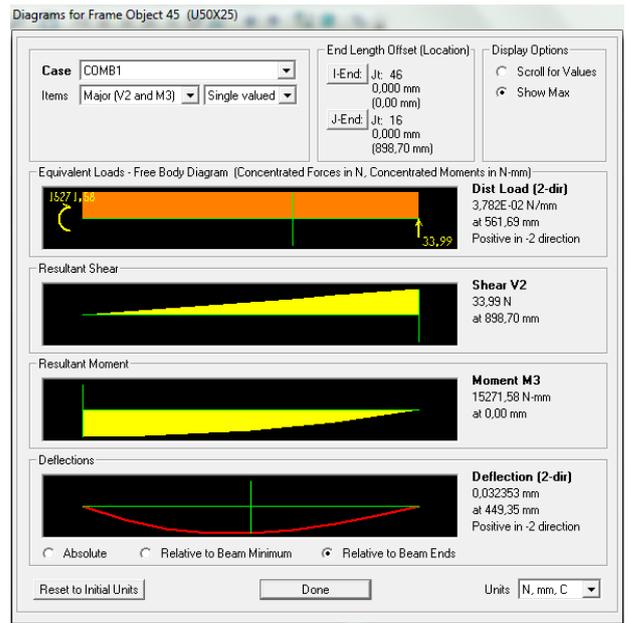
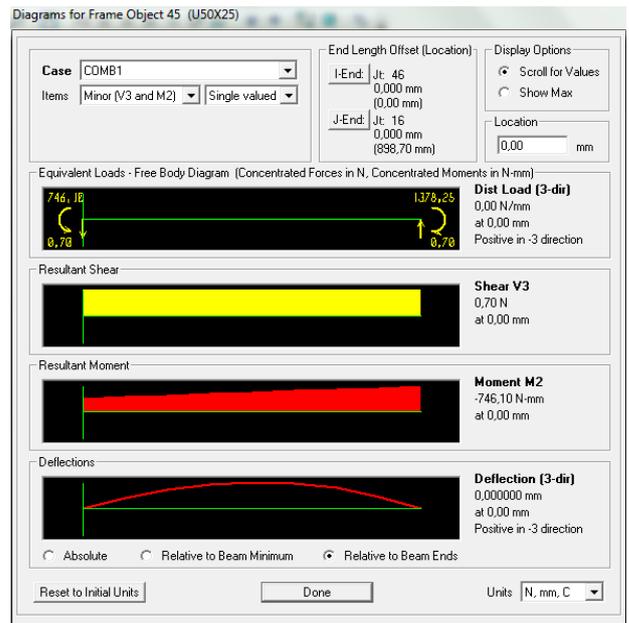


Barre 9'

X=898,70 mm

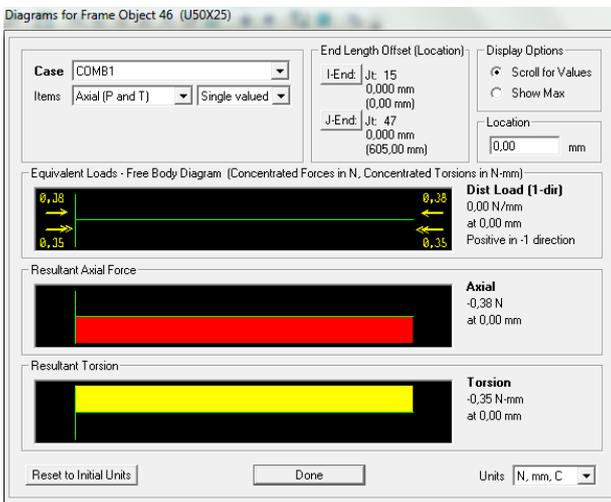
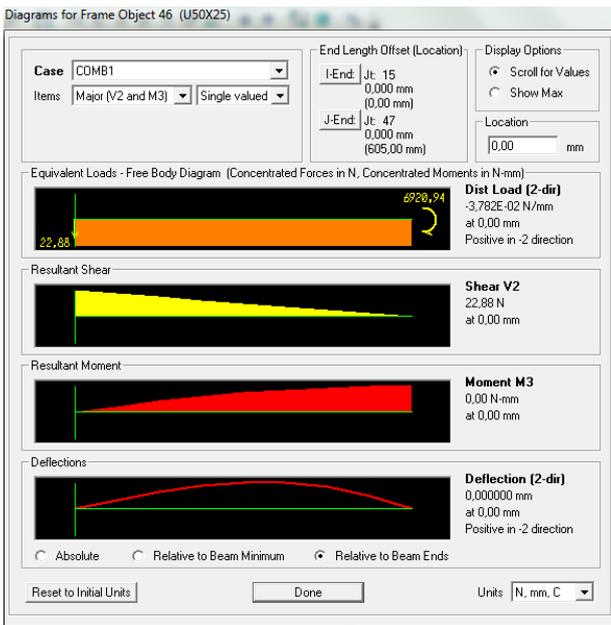
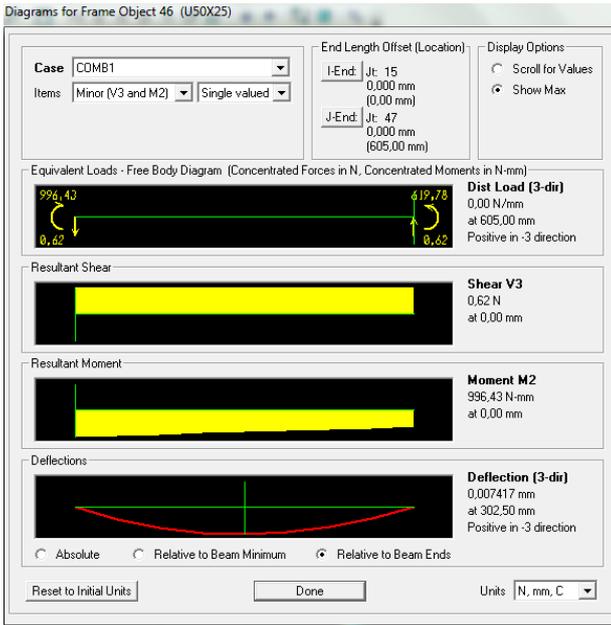


X= 0 mm

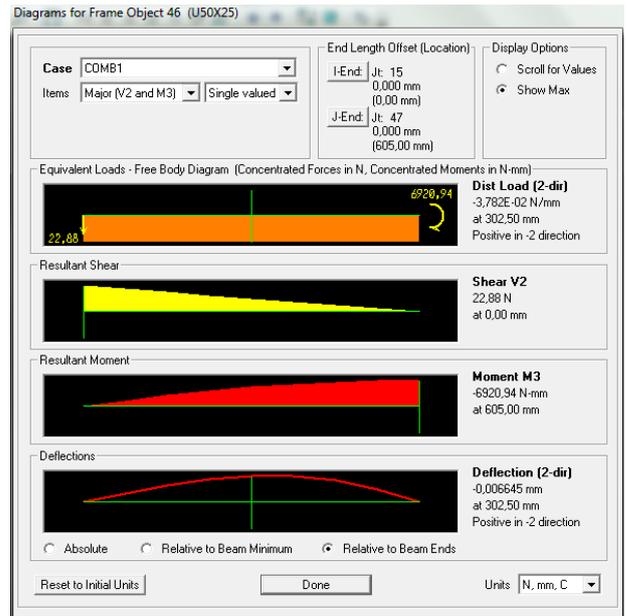
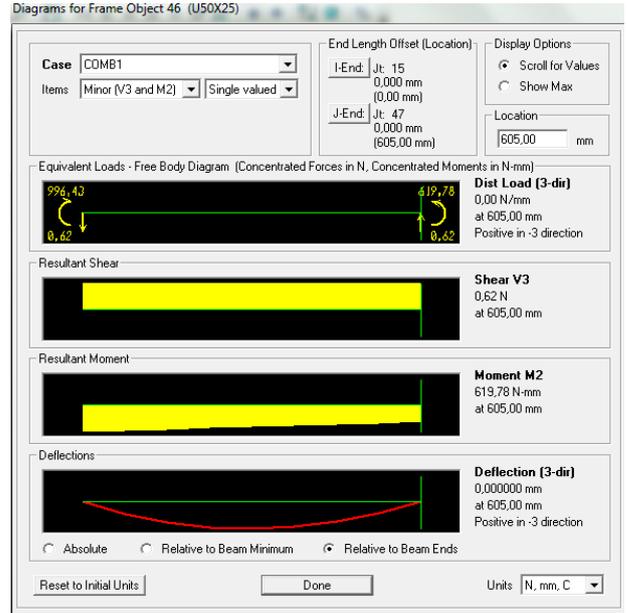


Barre 10

X= 0 mm

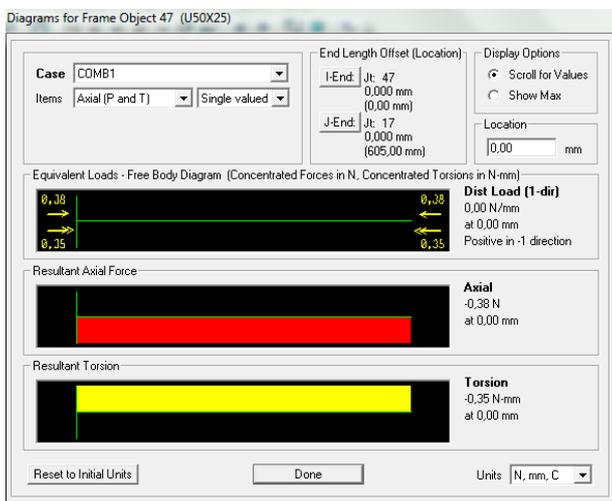
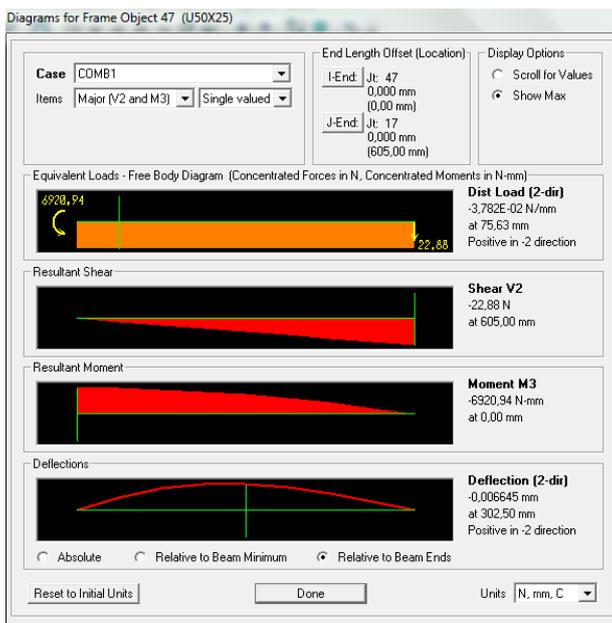
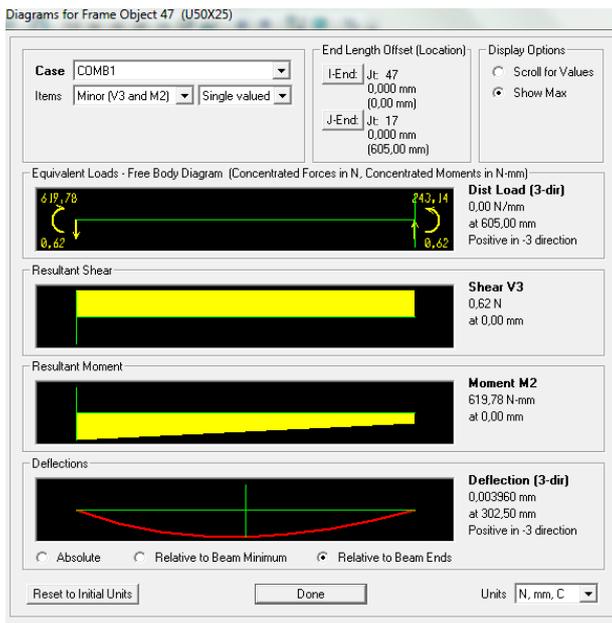


X= 605 mm



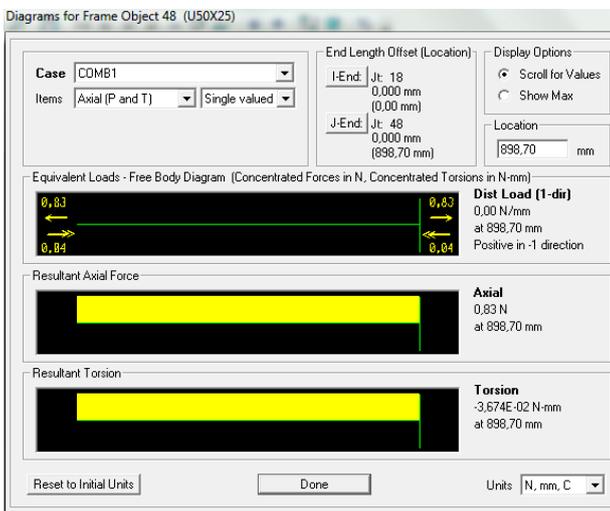
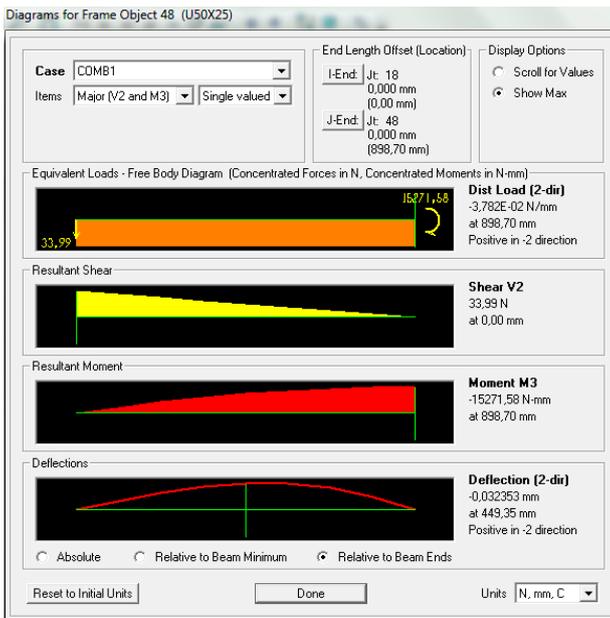
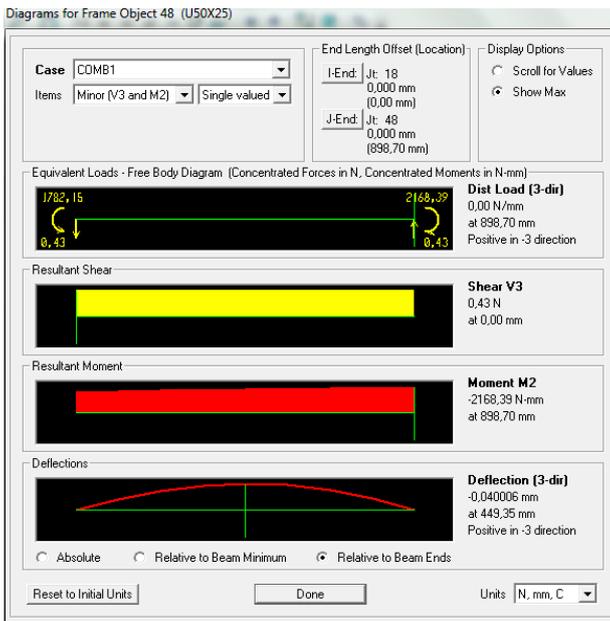
Barre 10'

X= 605 mm



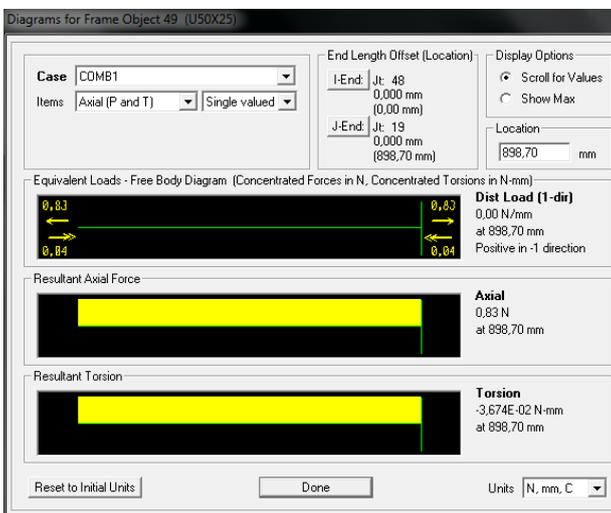
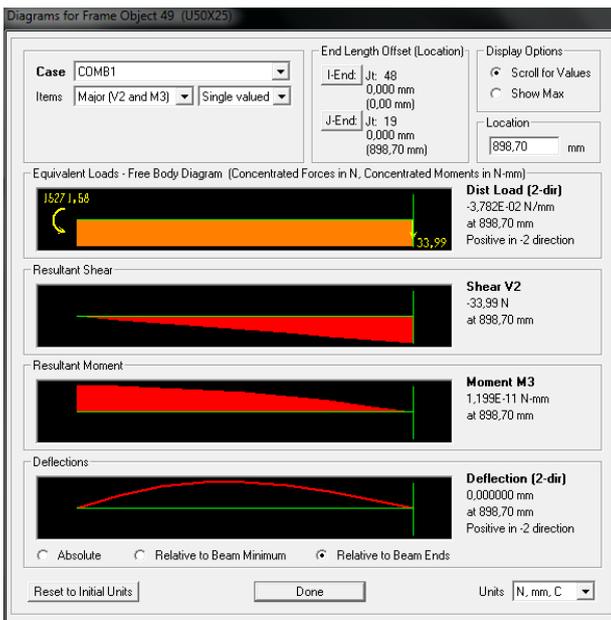
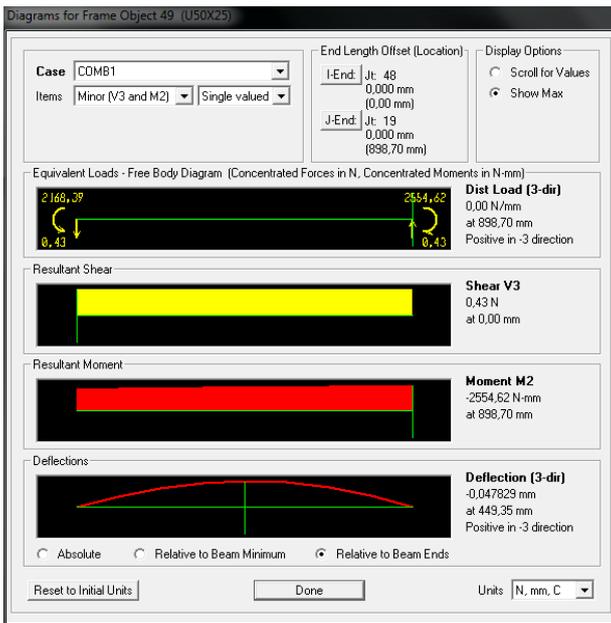
Barre 11

X= 898,70 mm

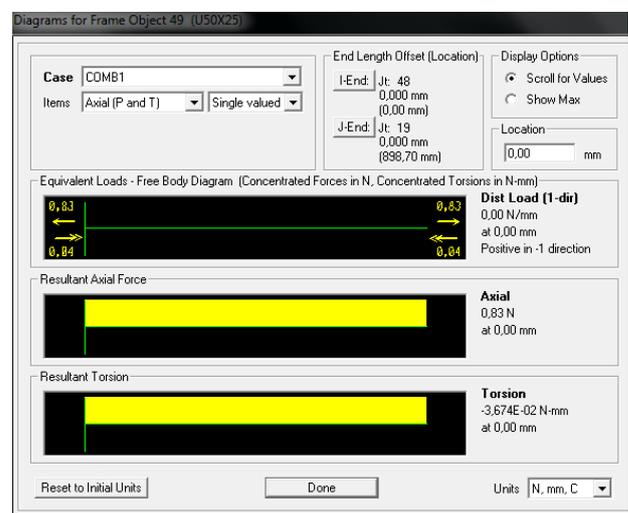
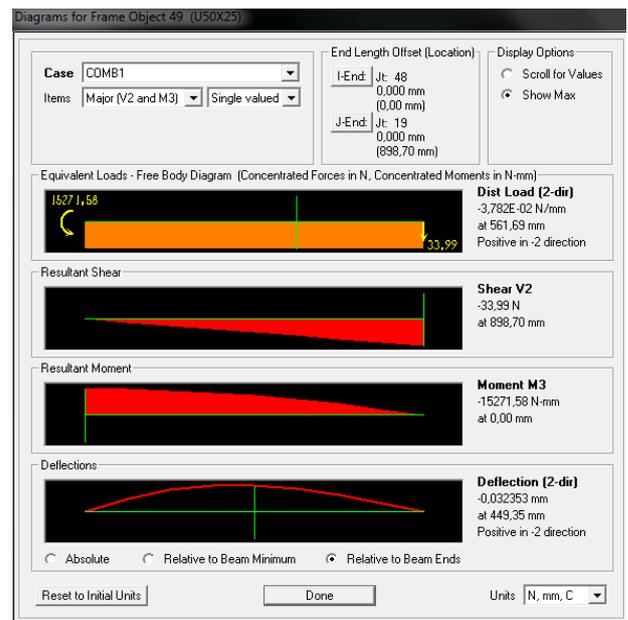
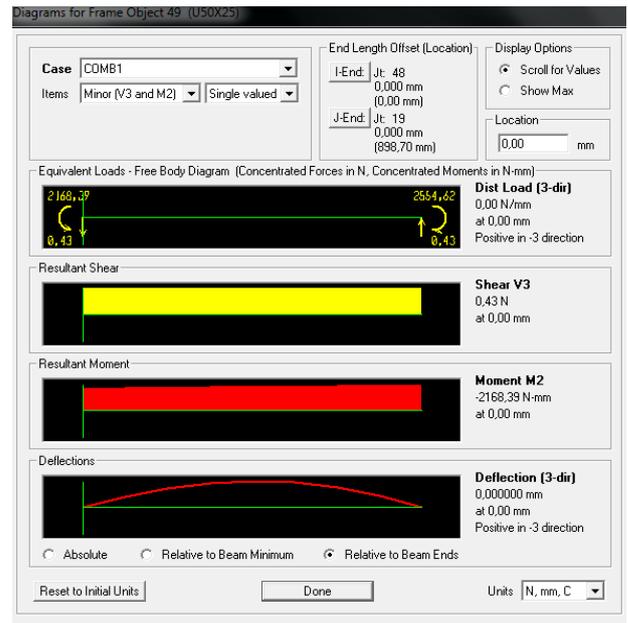


Barre 11'

X= 898,70 mm

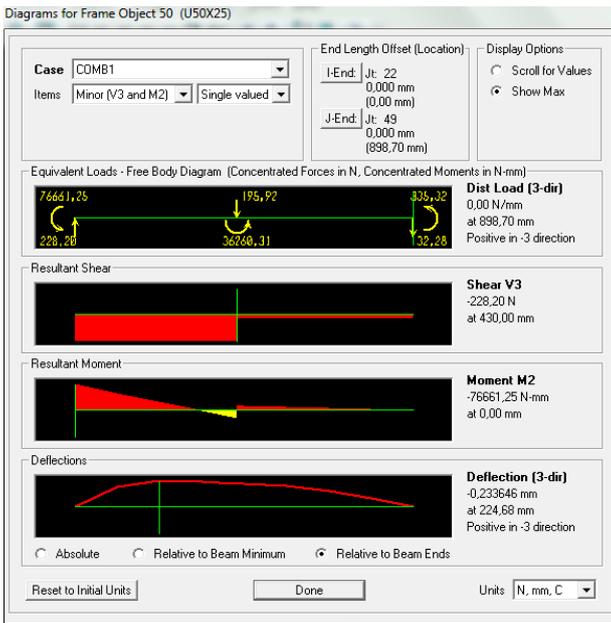


X= 0 mm

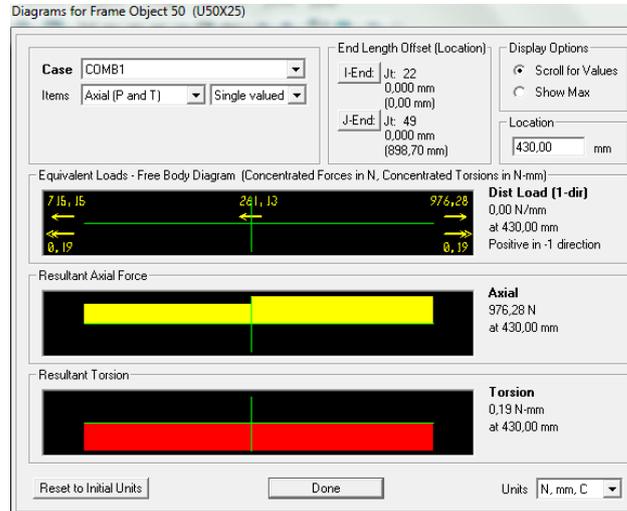
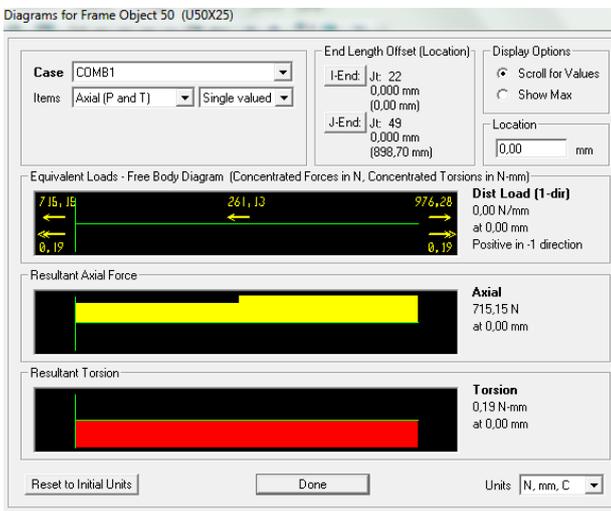
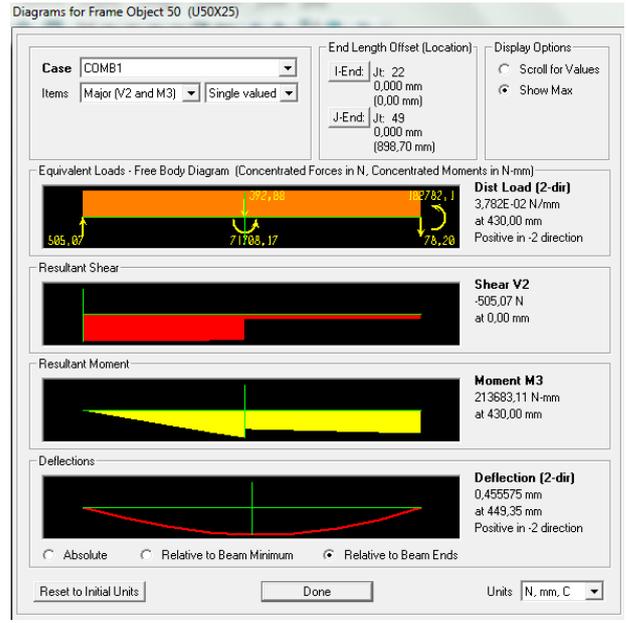
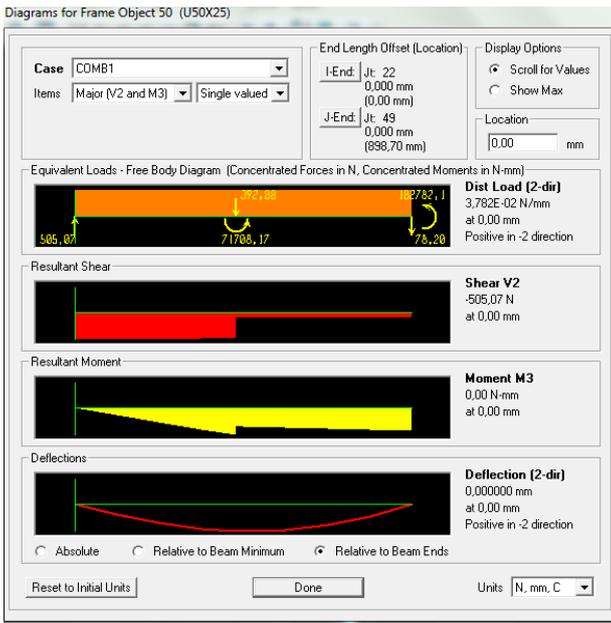
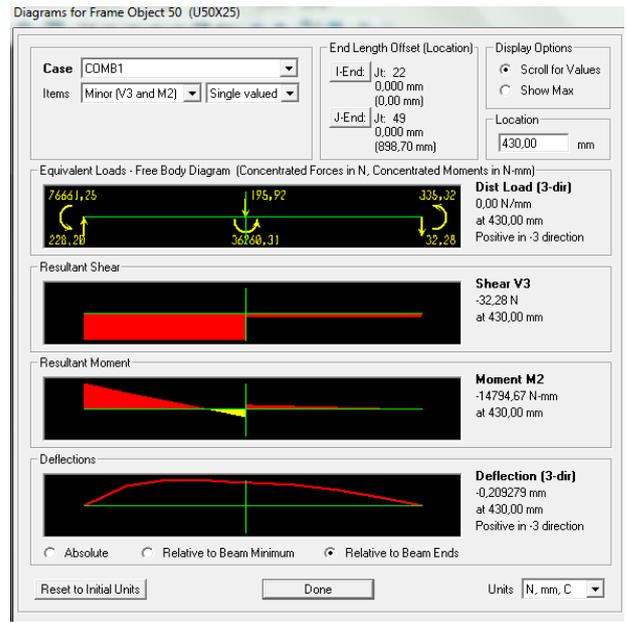


Barre 12

X= 0 mm

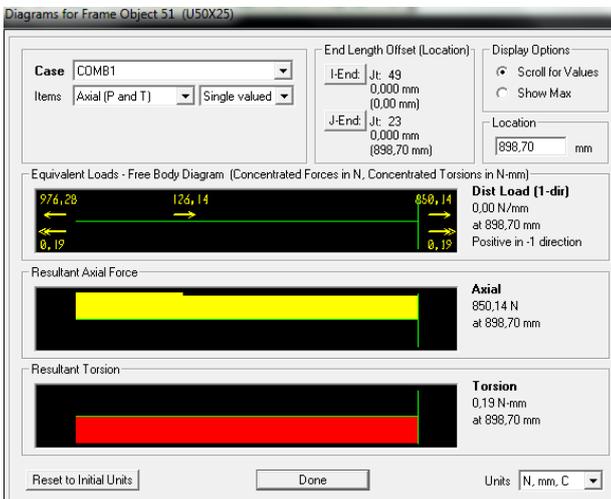
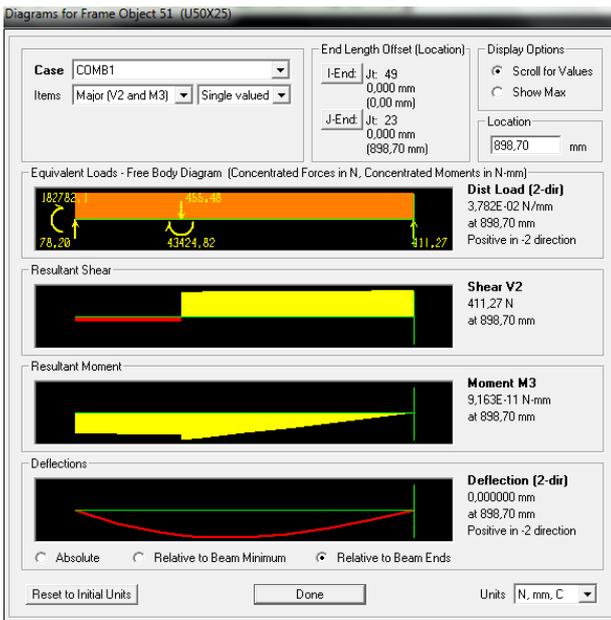
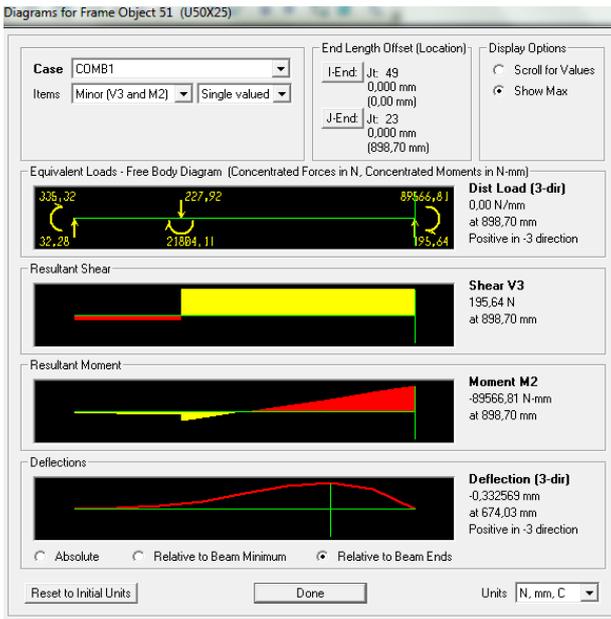


X= 430 mm

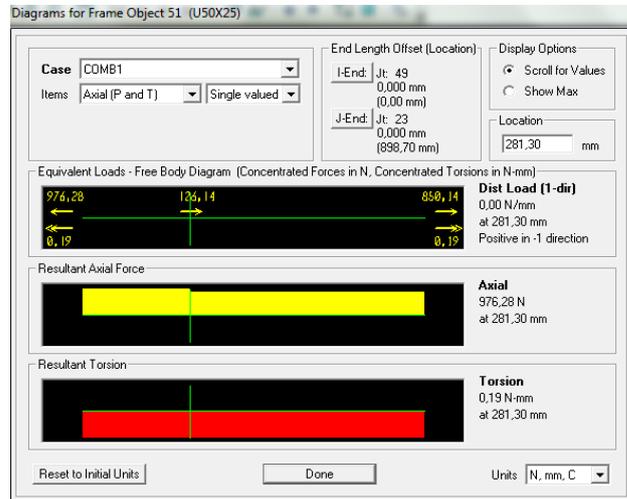
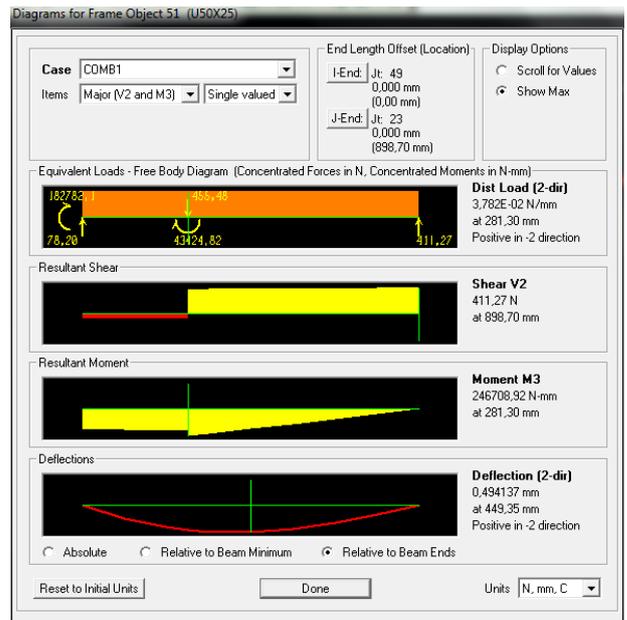
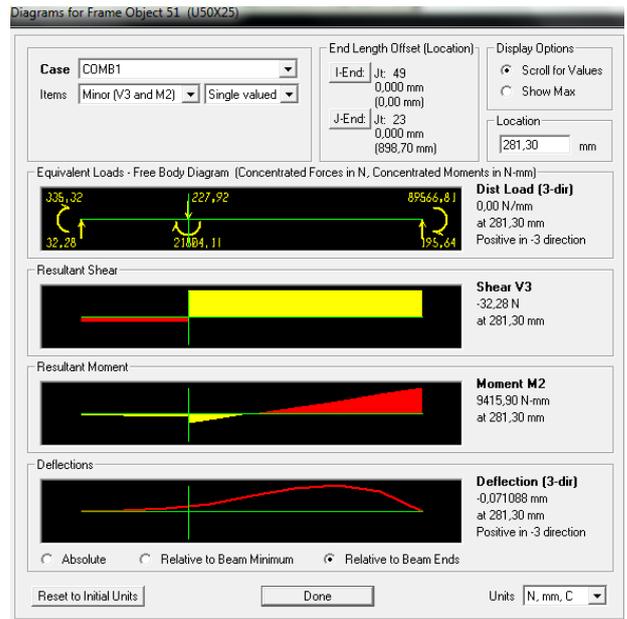


Barre 12'

X= 898,70 mm

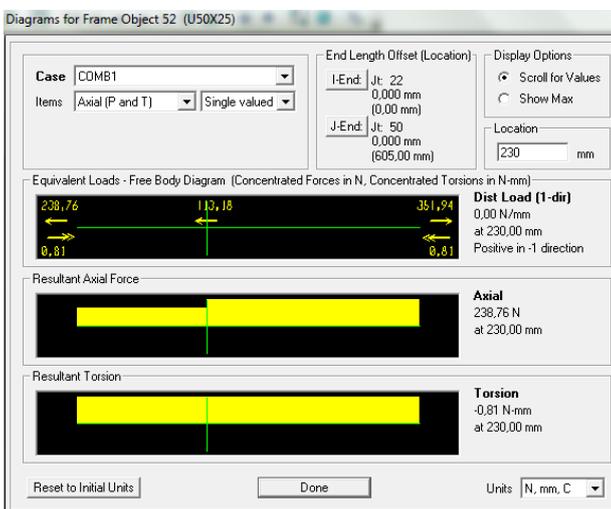
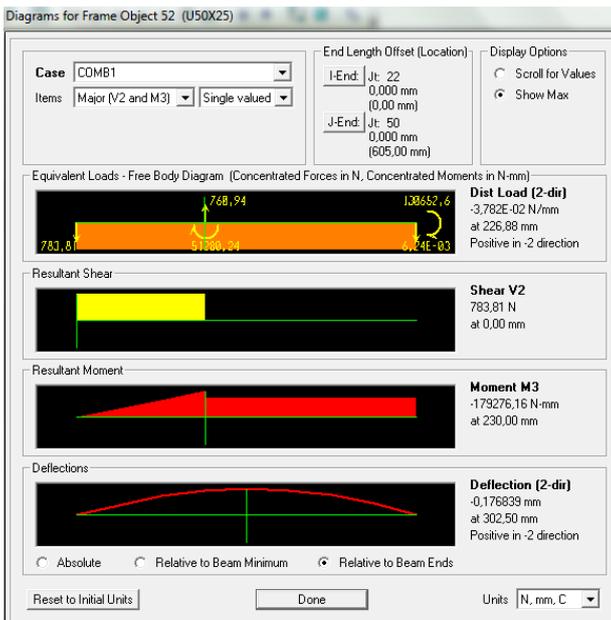
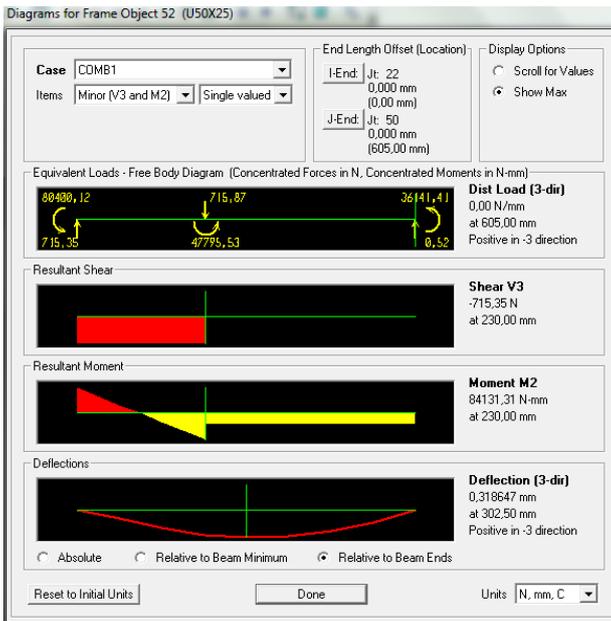


X= 281,30 mm



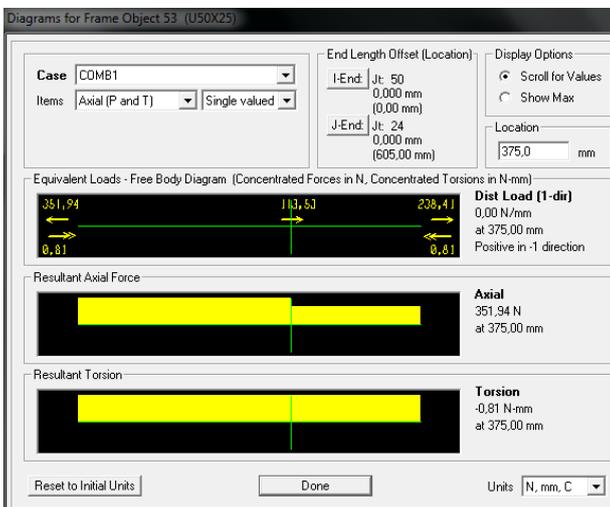
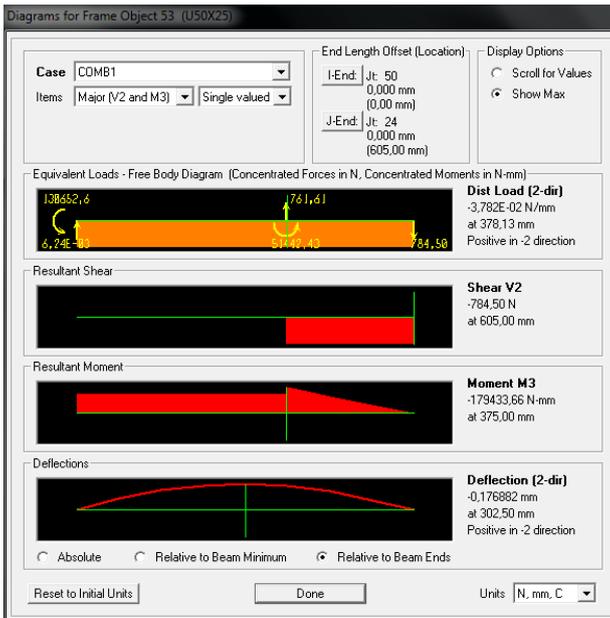
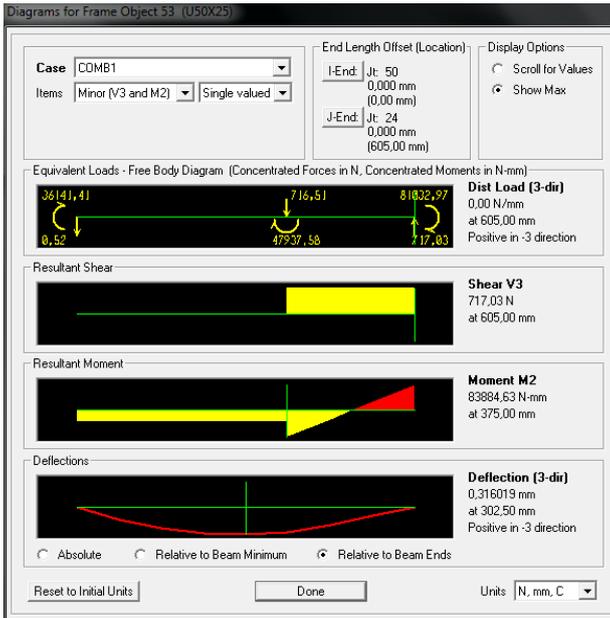
Barre 13

X= 230 mm



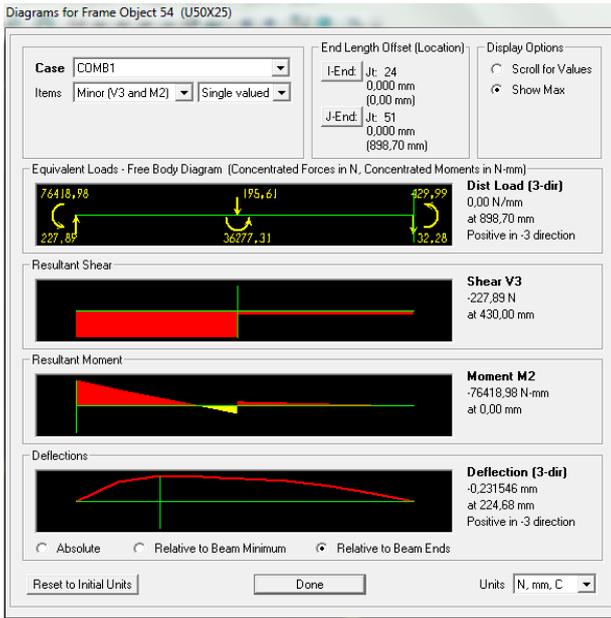
Barre 13'

X= 375 mm

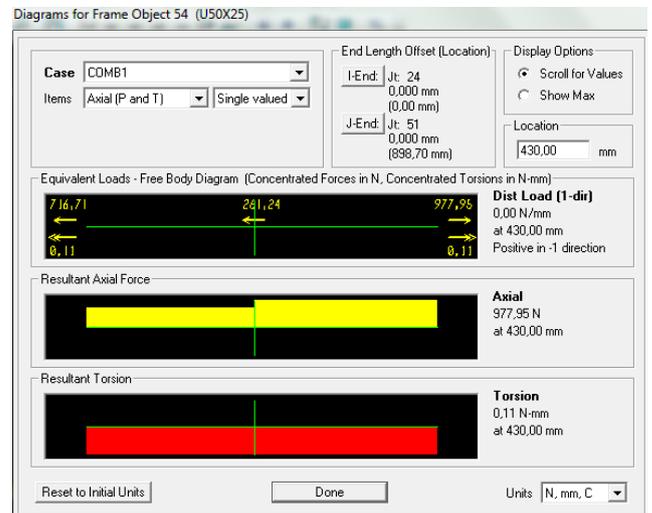
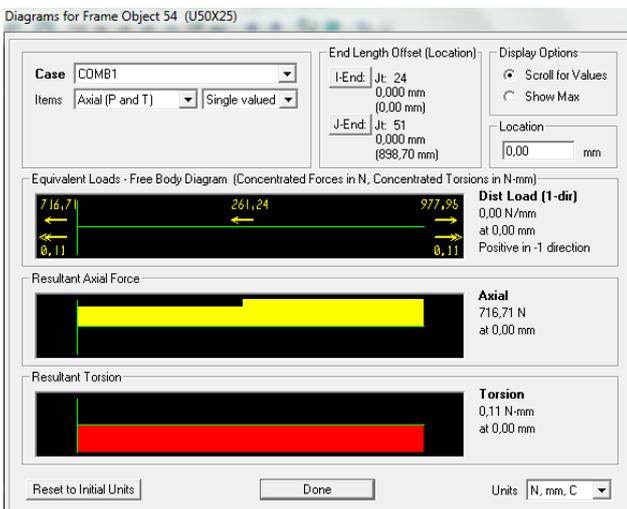
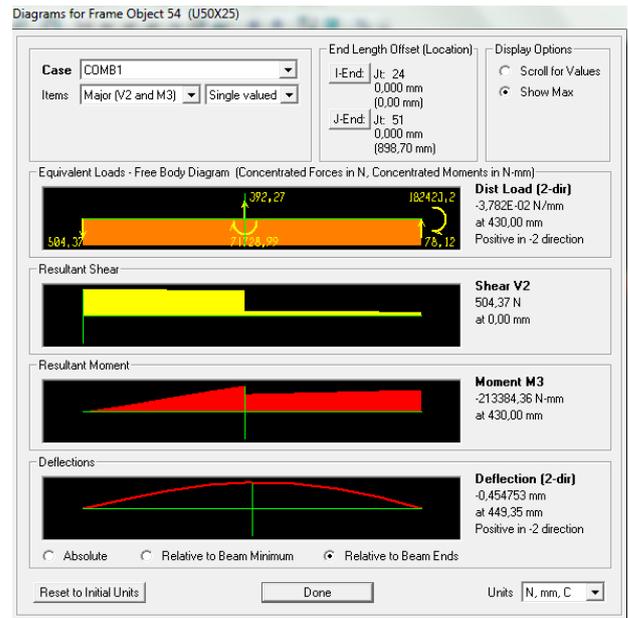
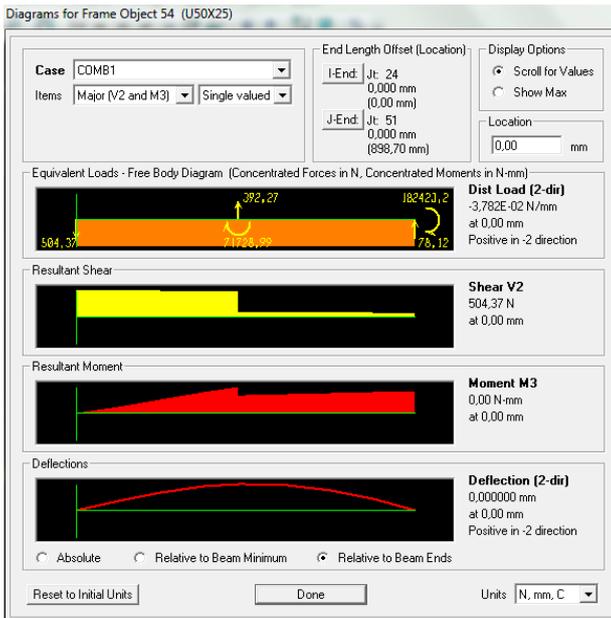
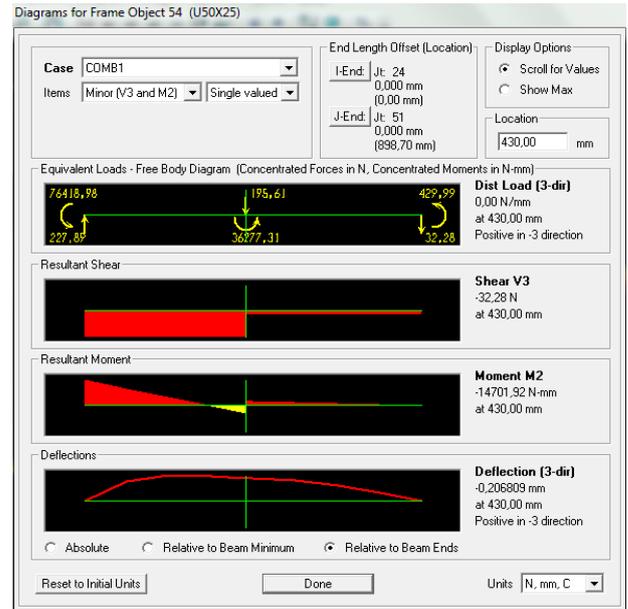


Barre 14 :

X=0 mm

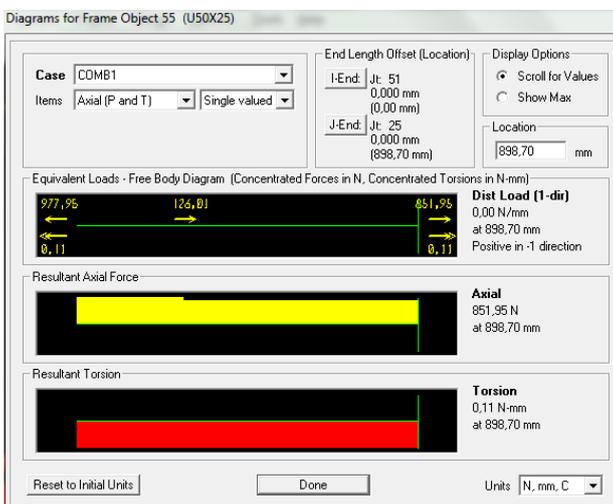
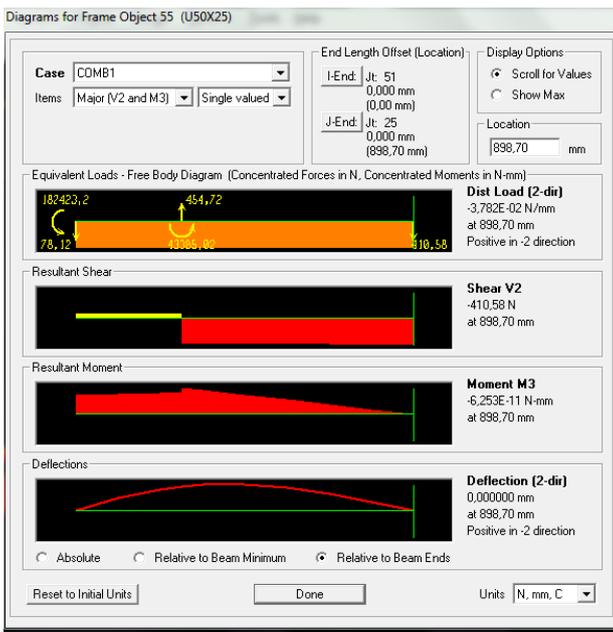
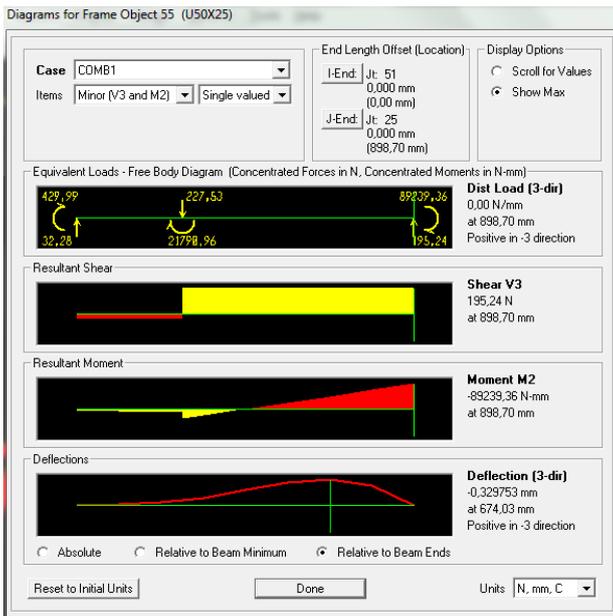


X= 430 mm

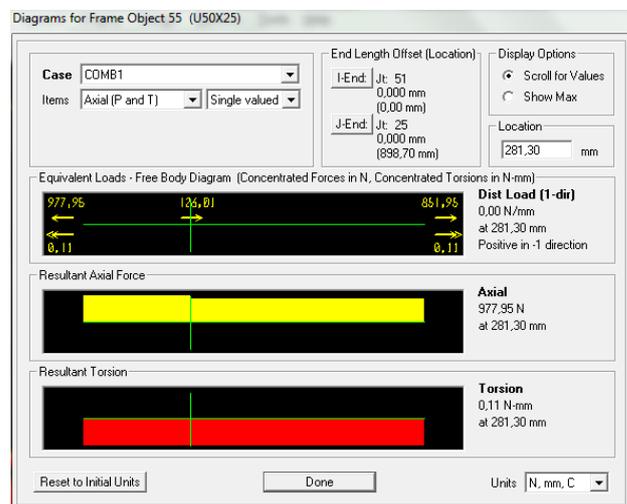
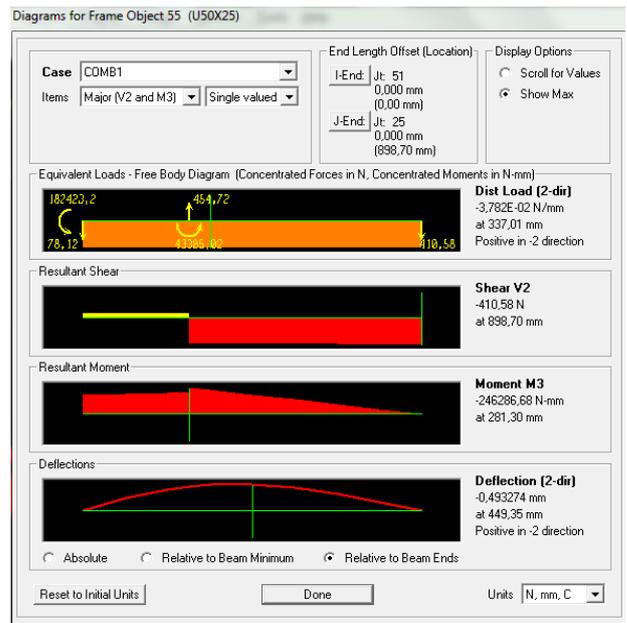
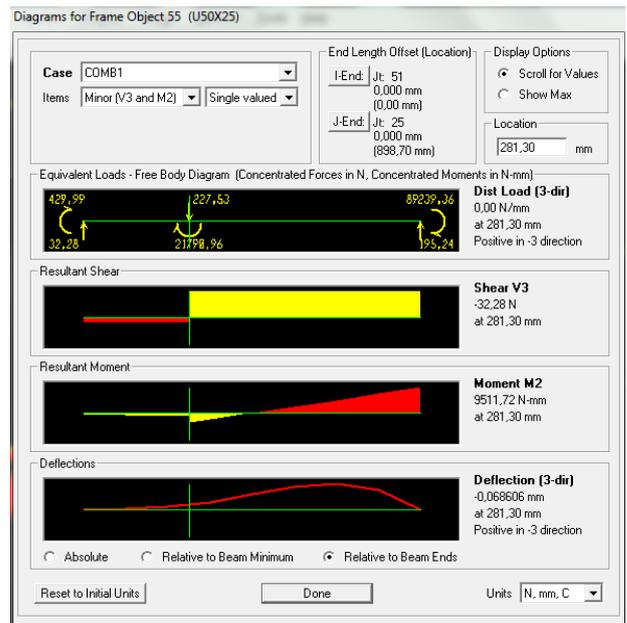


Barre 14'

X= 898,70 mm

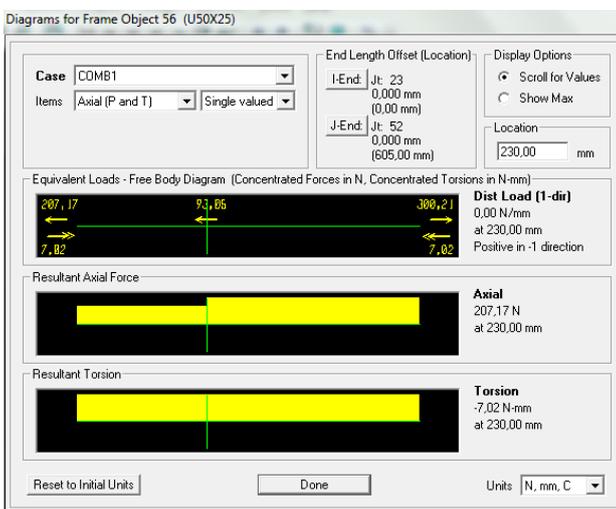
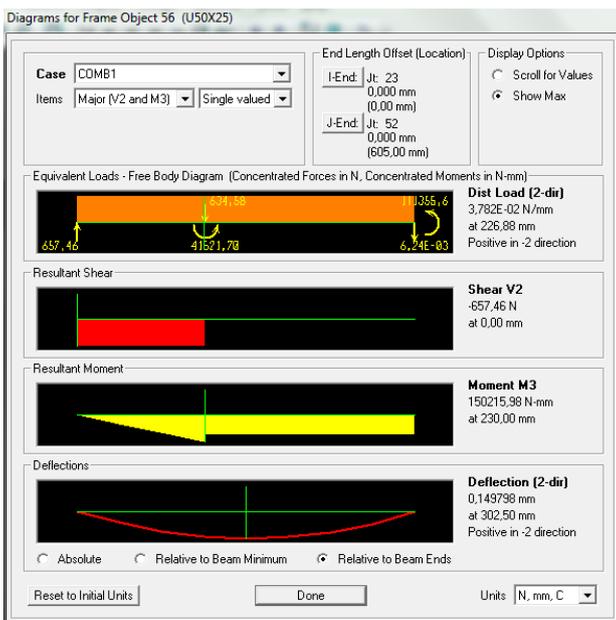
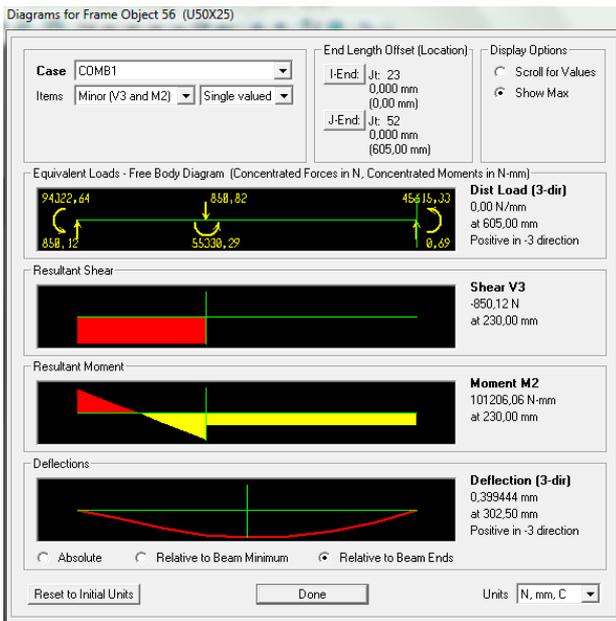


X= 281,30 mm



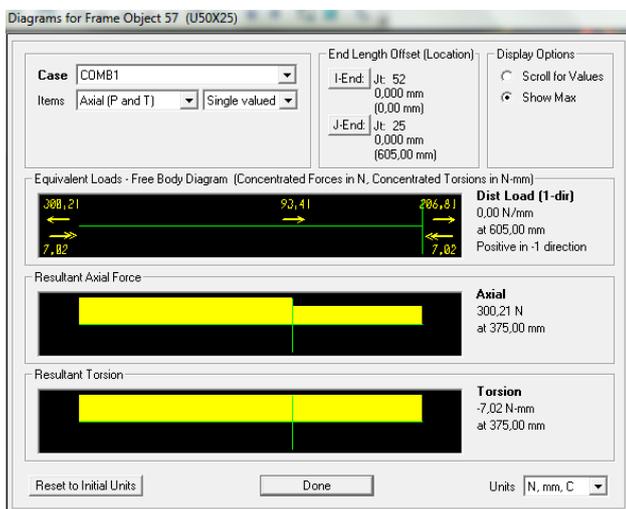
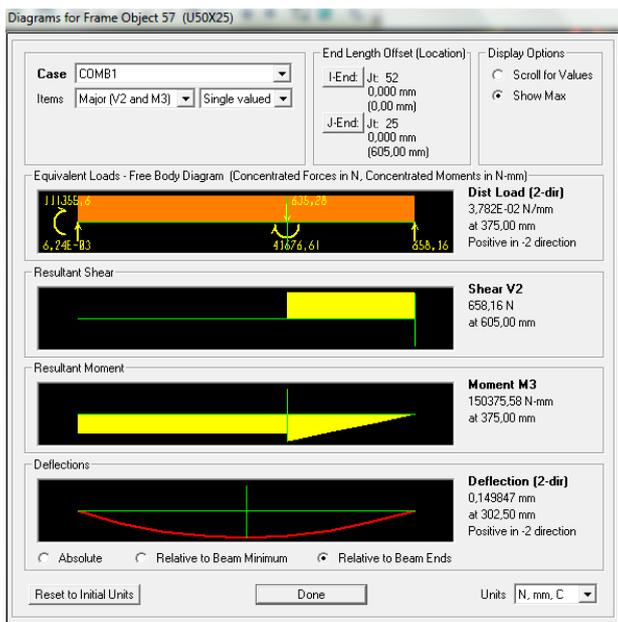
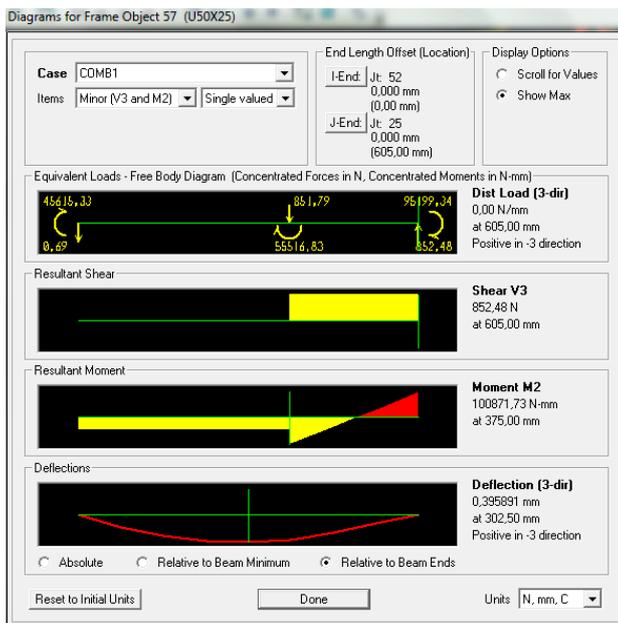
Barre 15

X= 230 mm



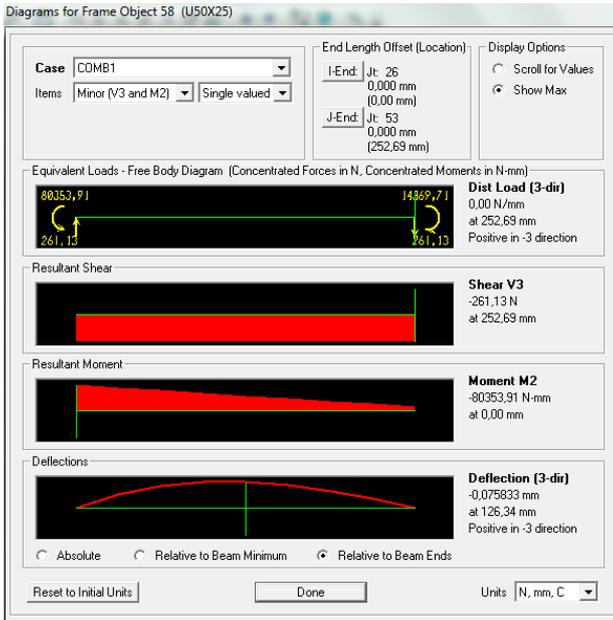
Barre 15'

X=375 mm

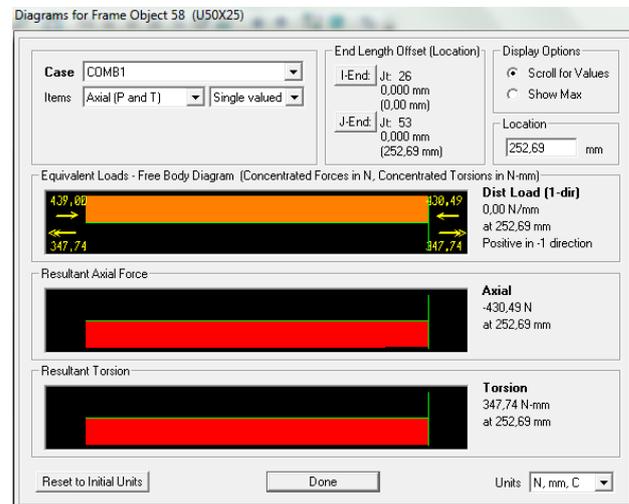
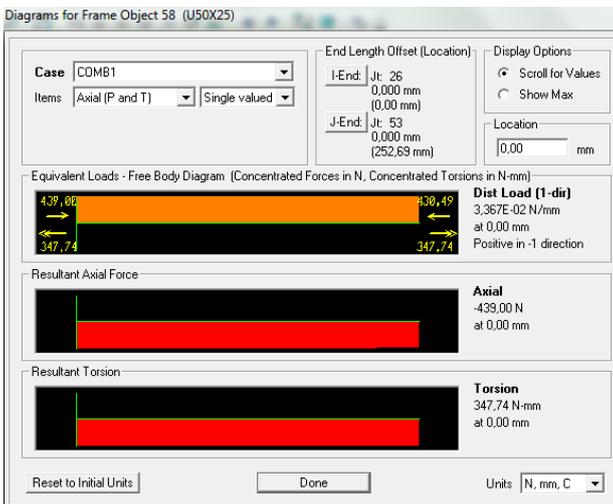
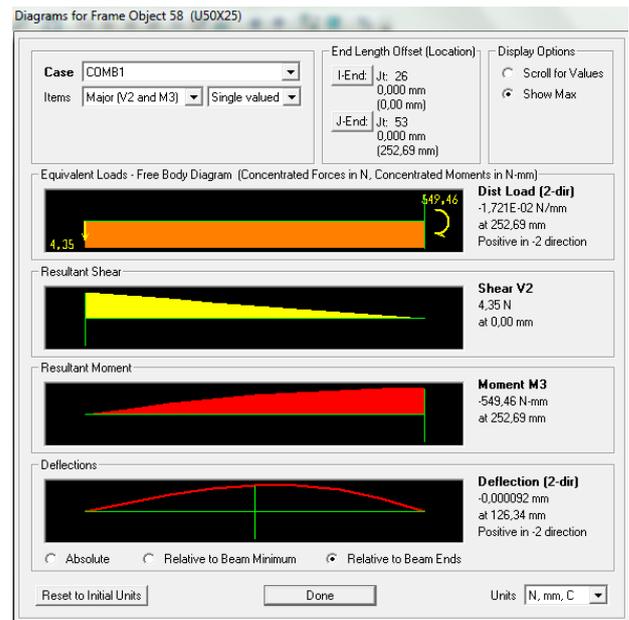
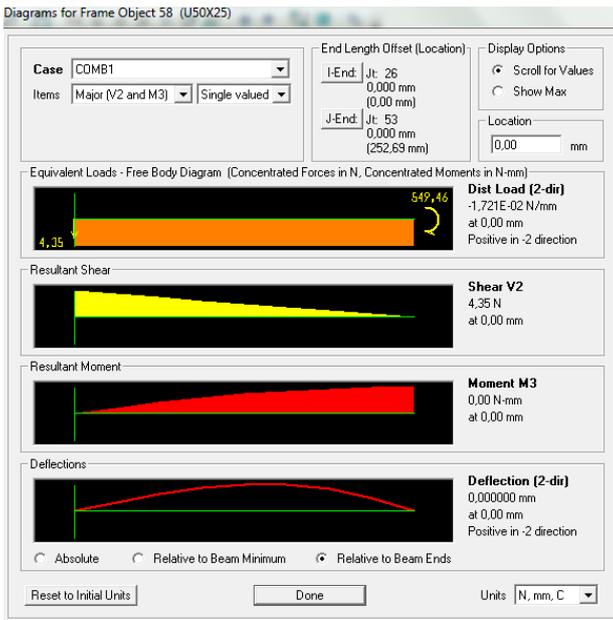
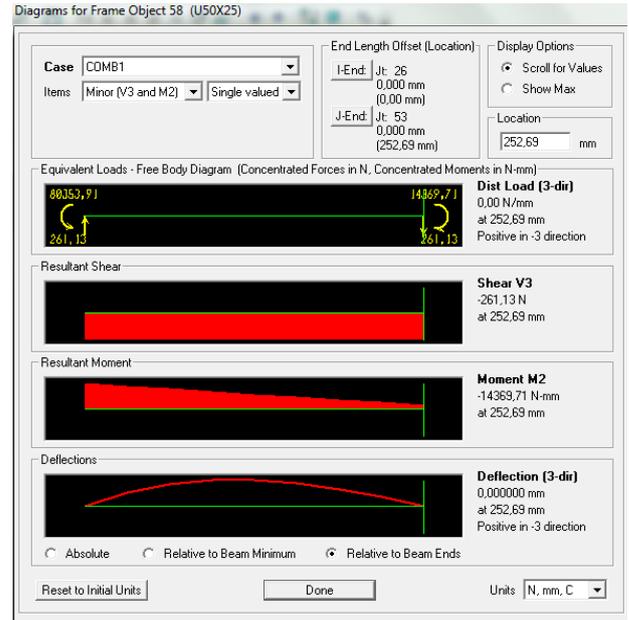


Barre 16

X= 0 mm

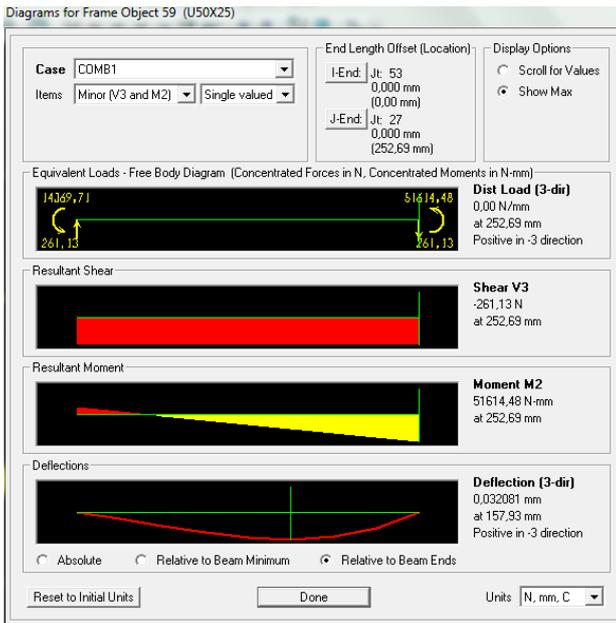


X= 252,69 mm

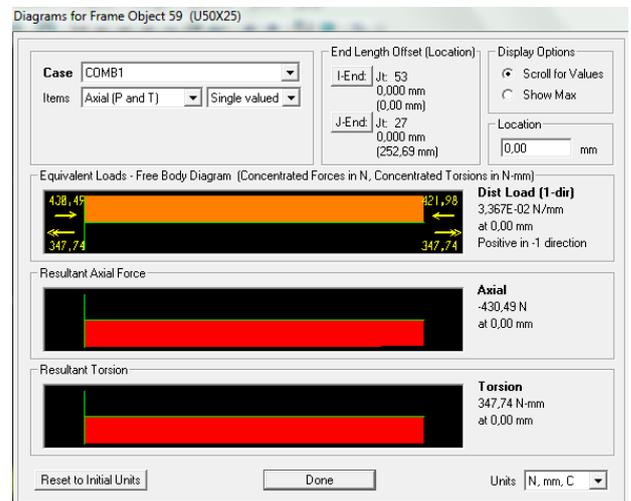
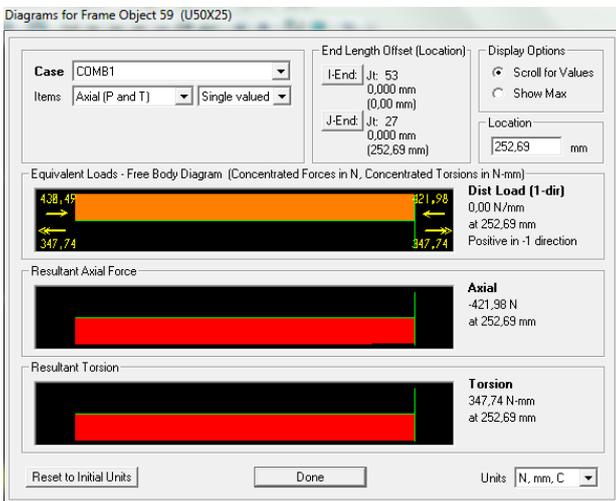
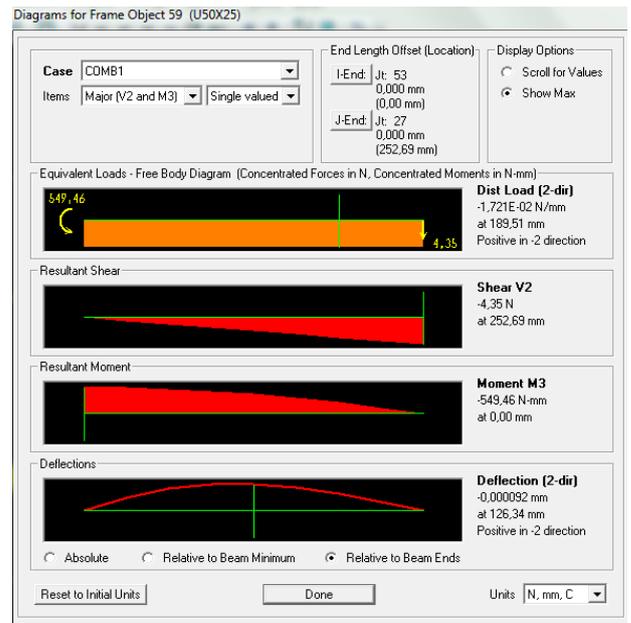
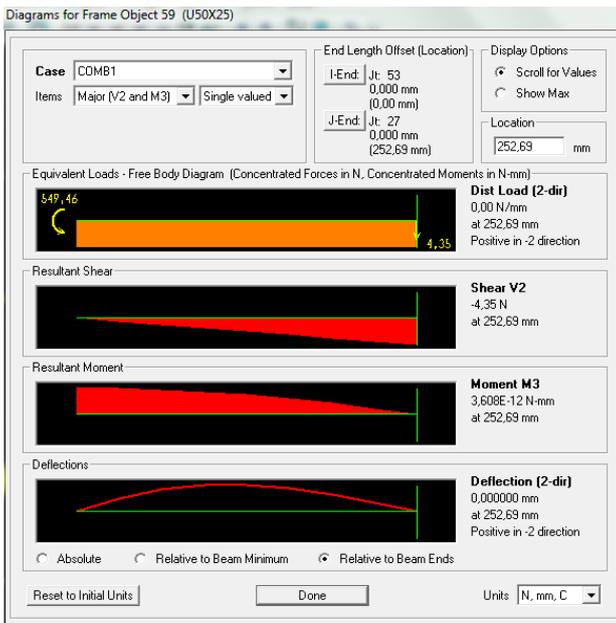
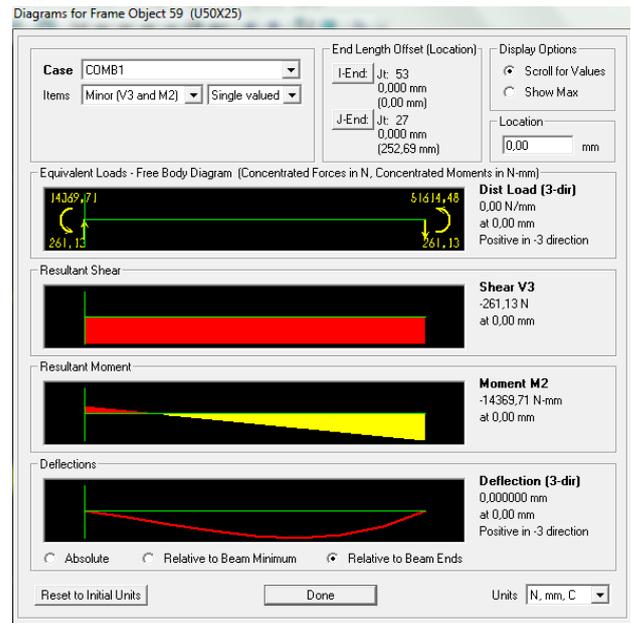


Barre 16'

X= 252,69 mm

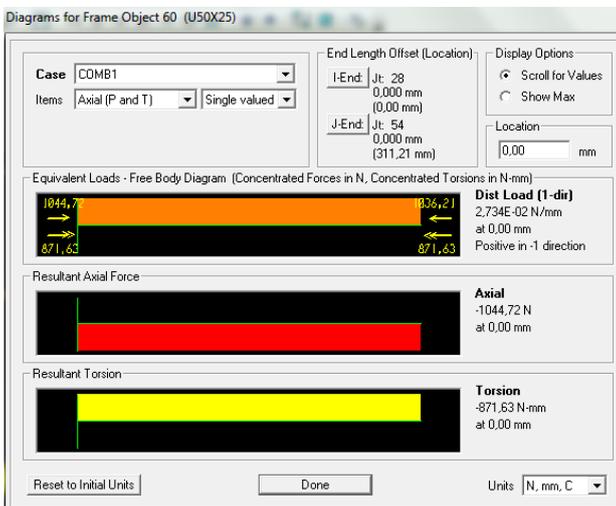
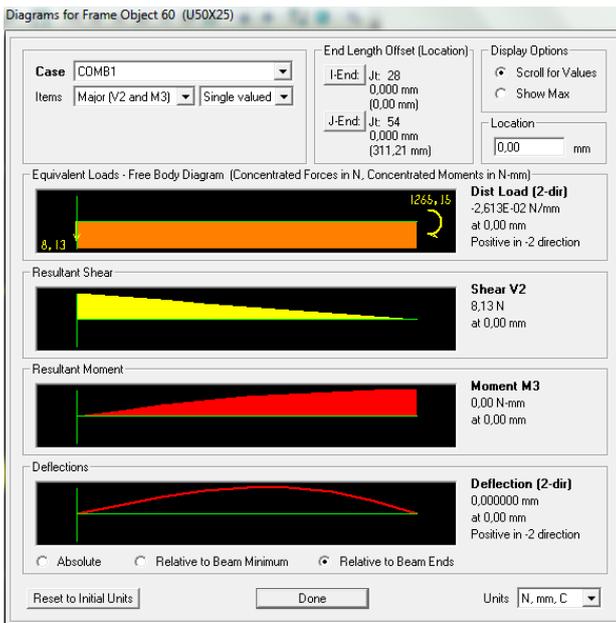
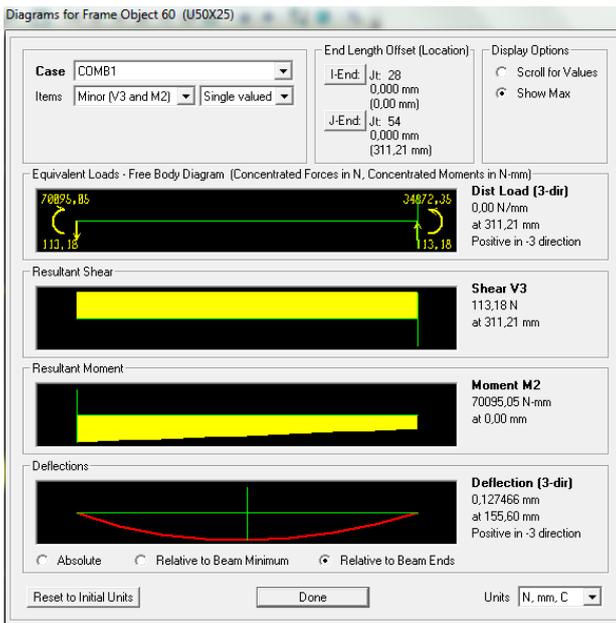


X= 0 mm

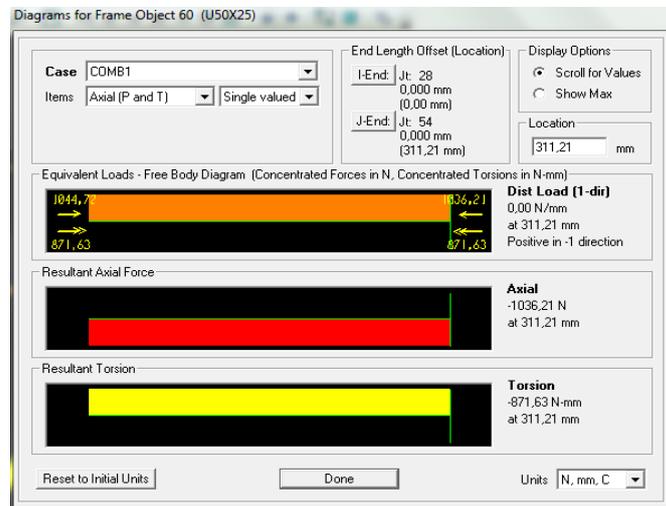
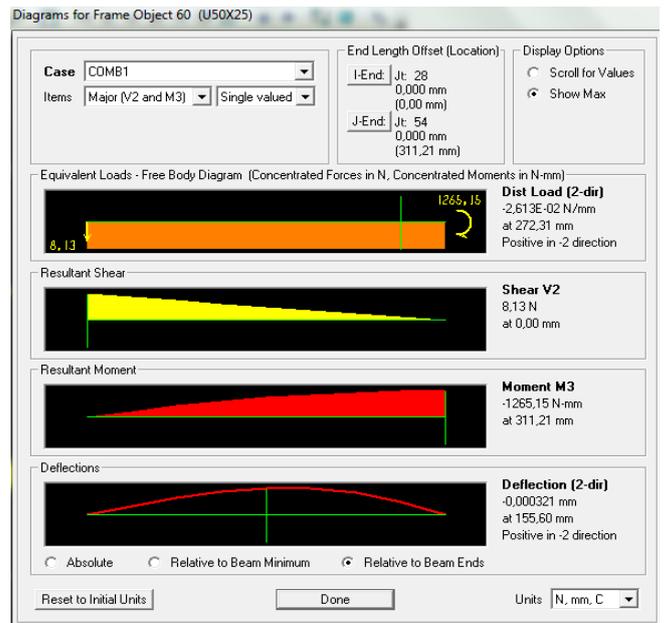
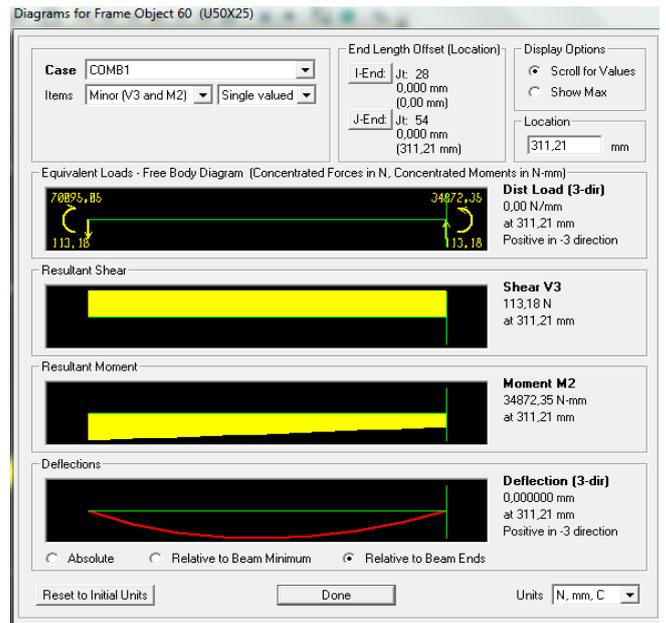


Barre 17

X= 0 mm

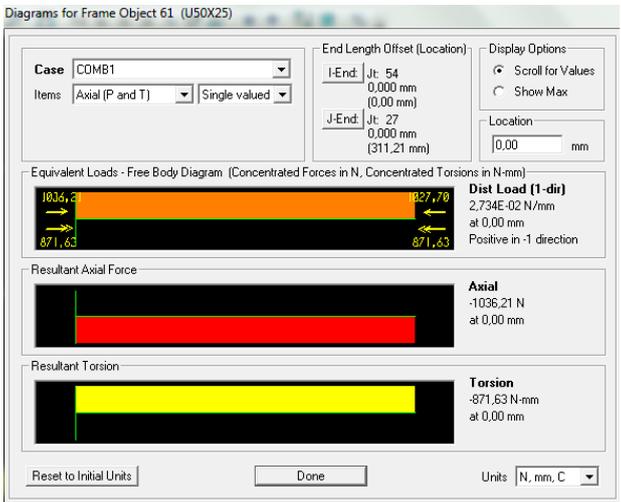
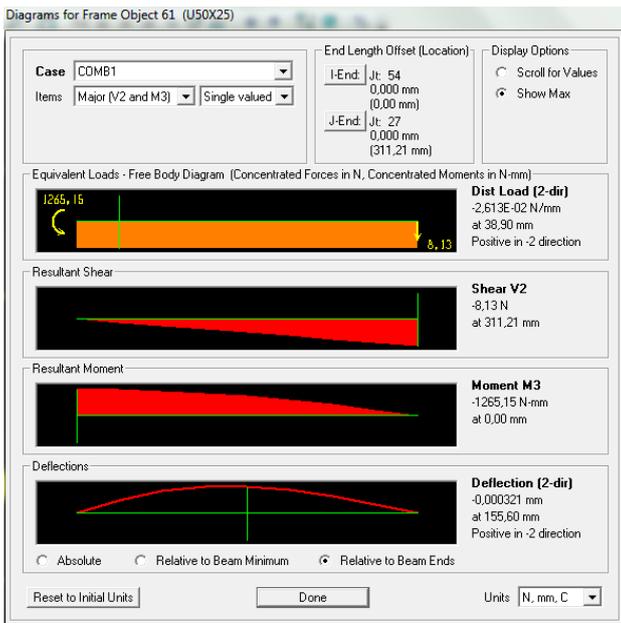
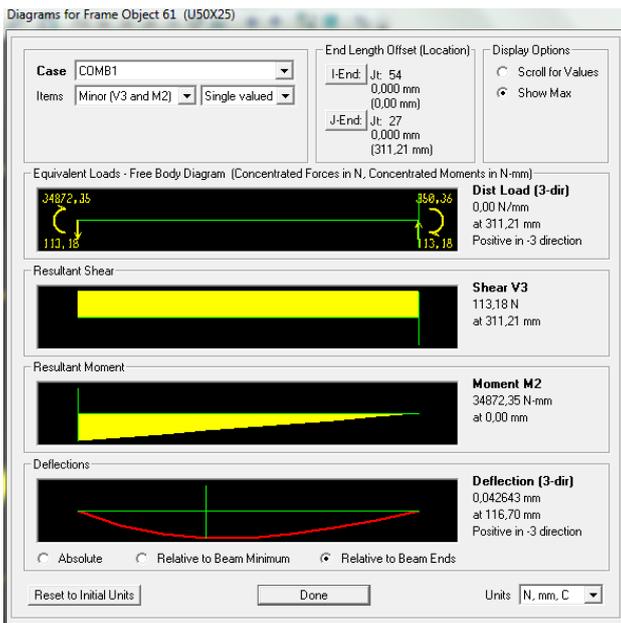


X= 311,21 mm



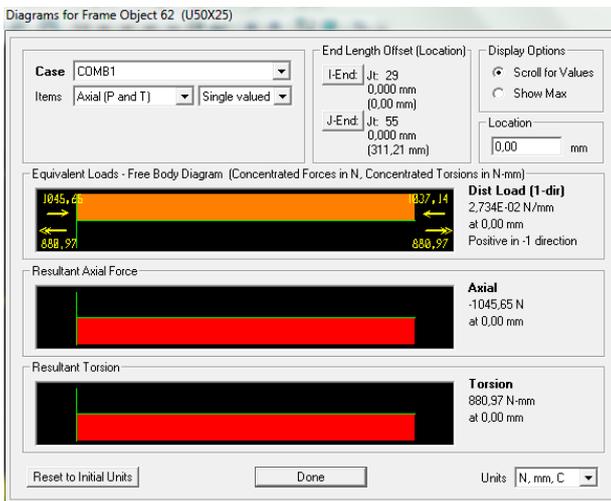
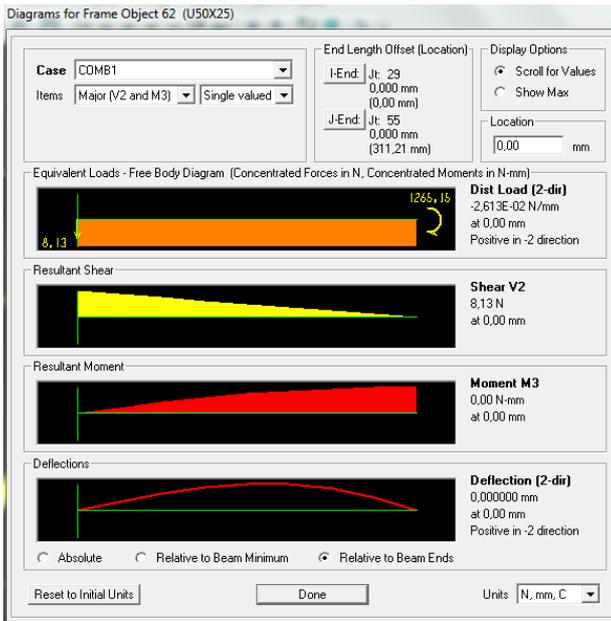
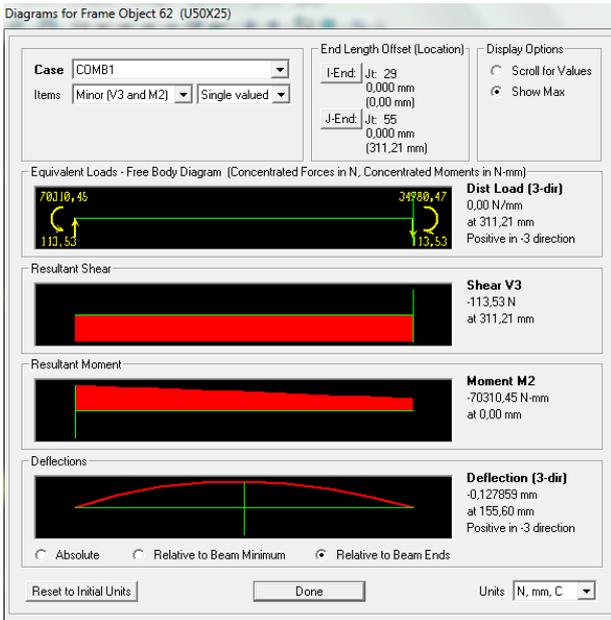
Barre 17'

X= 0 mm

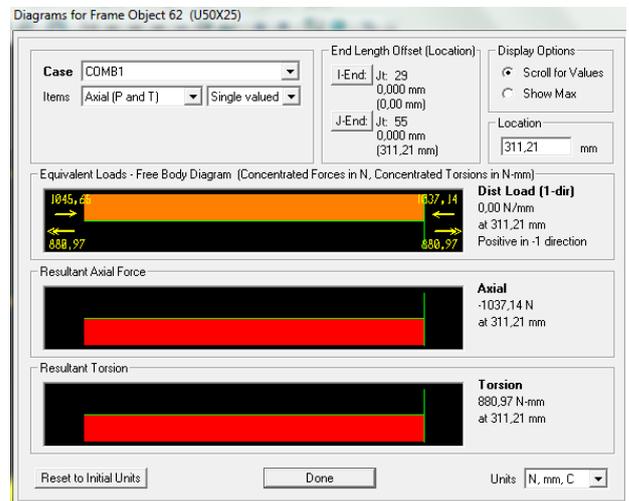
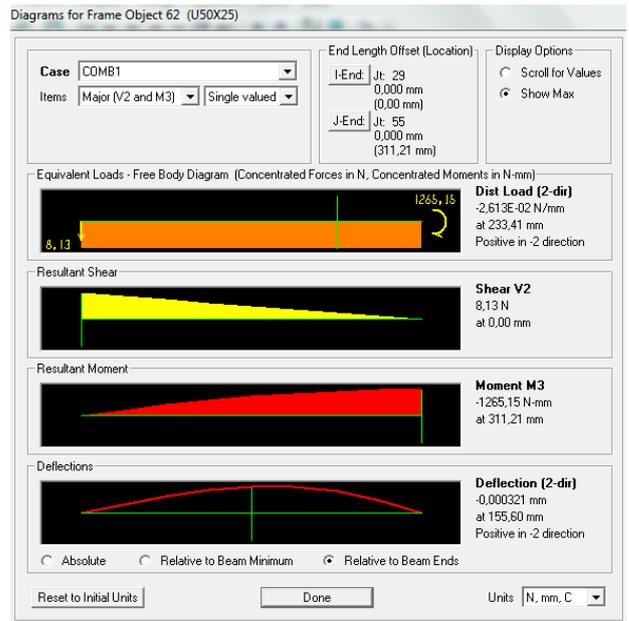
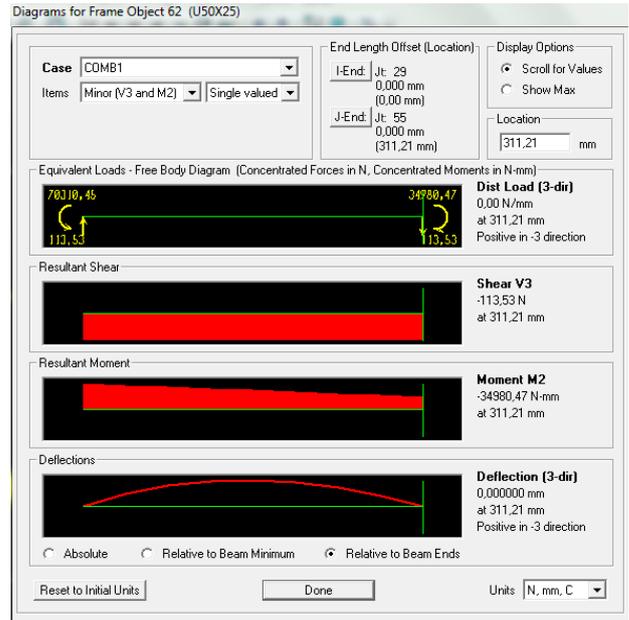


Barre 18

X= 0 mm

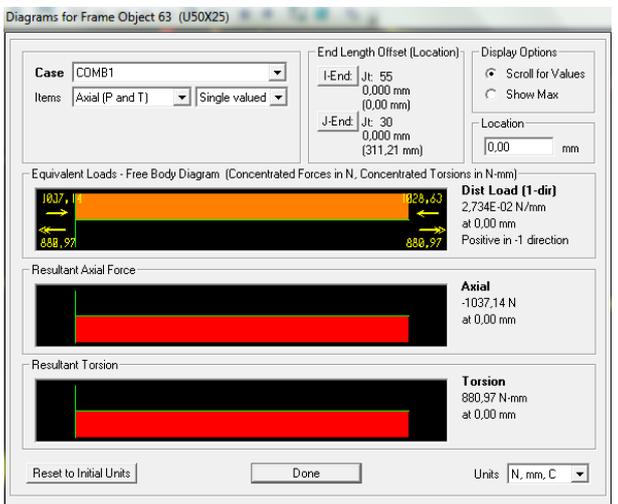
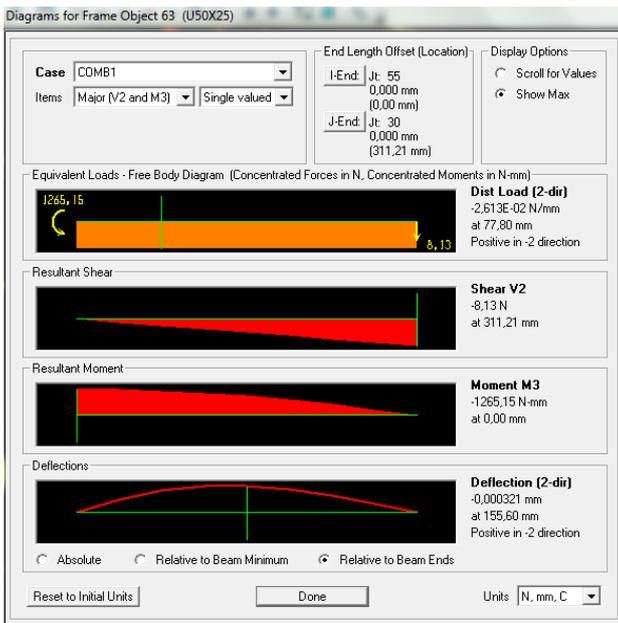
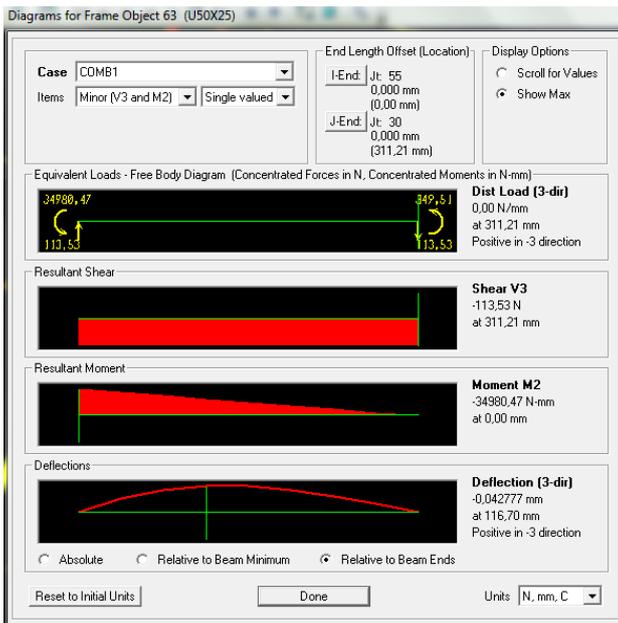


X= 311,21 mm



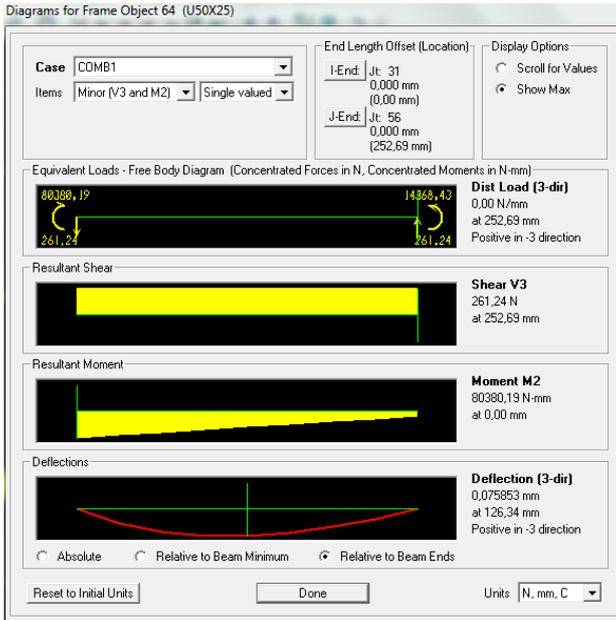
Barre 18'

X= 0 mm

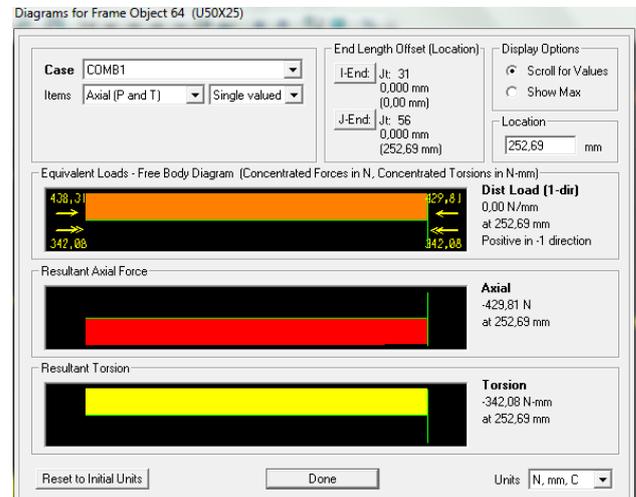
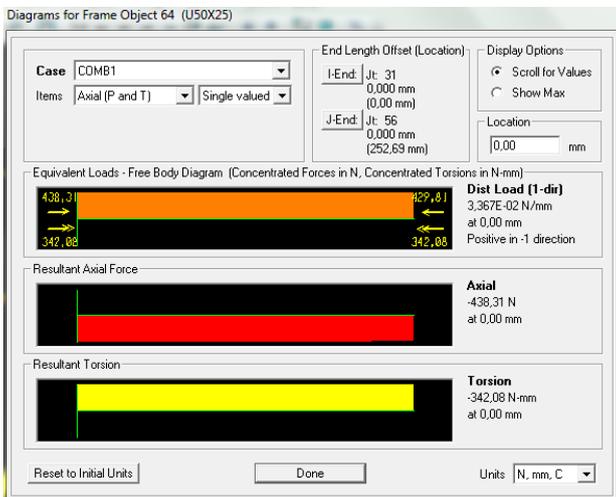
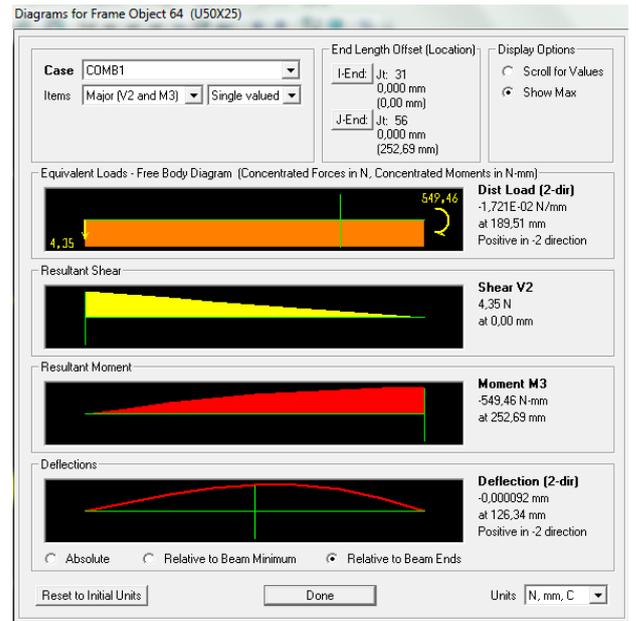
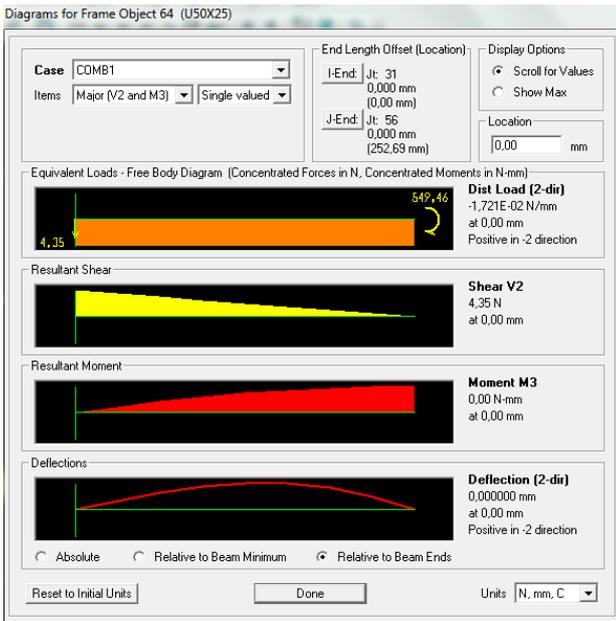
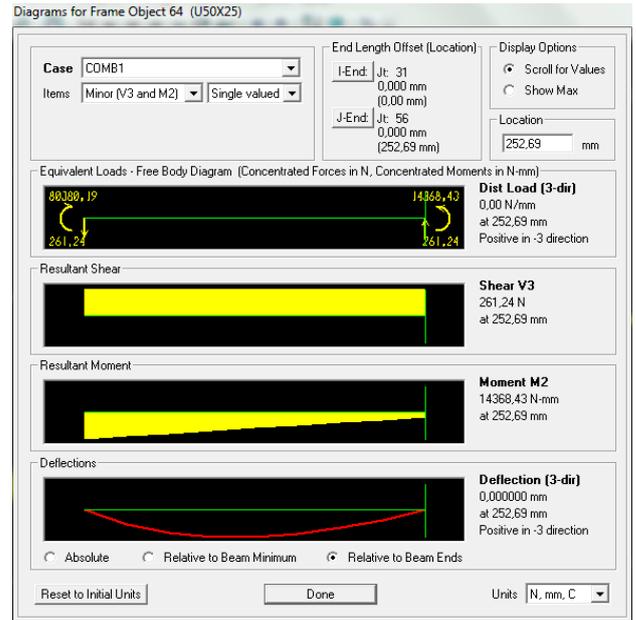


Barre 19

X=0 mm

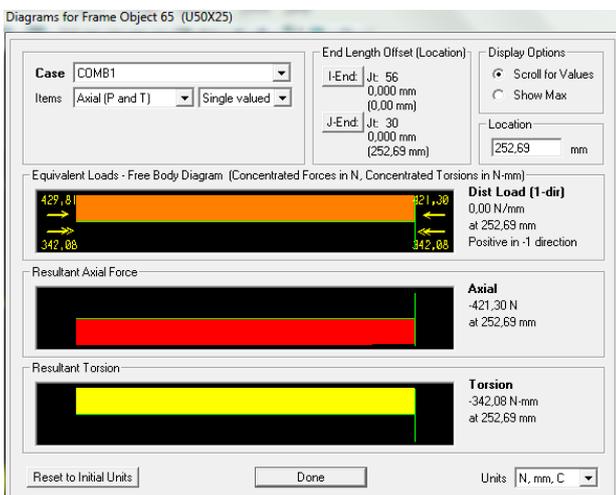
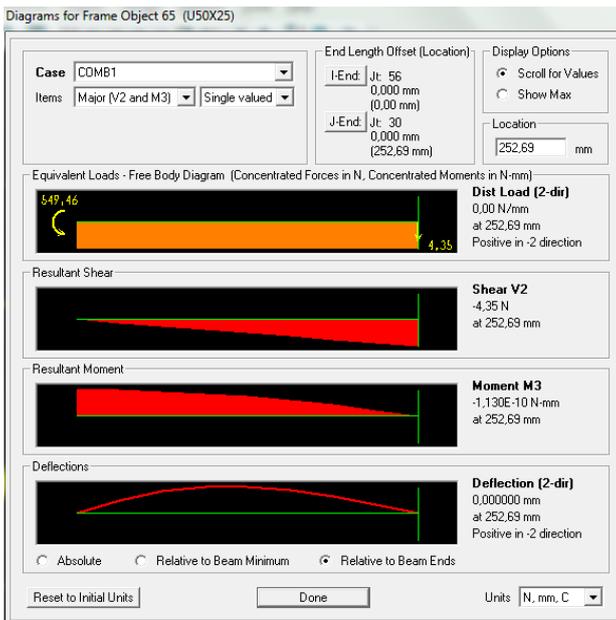
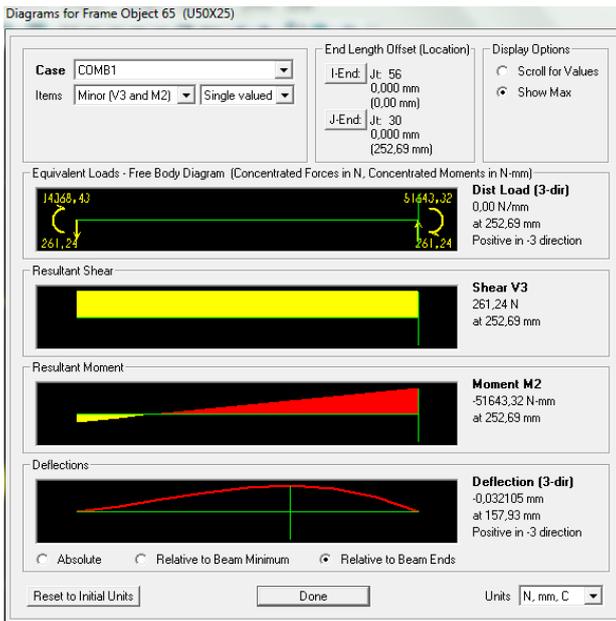


X= 252,69 mm

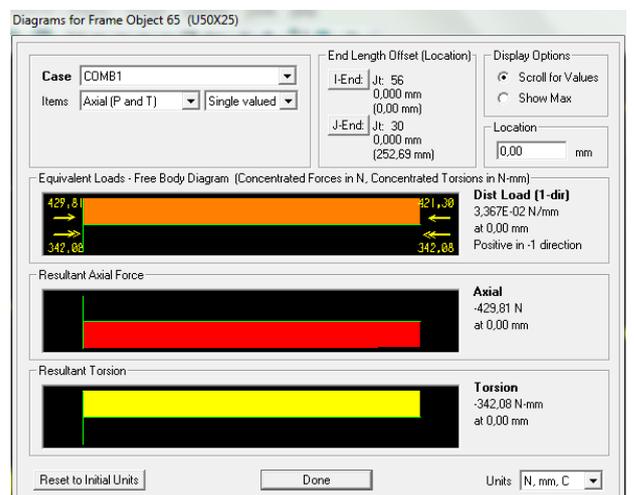
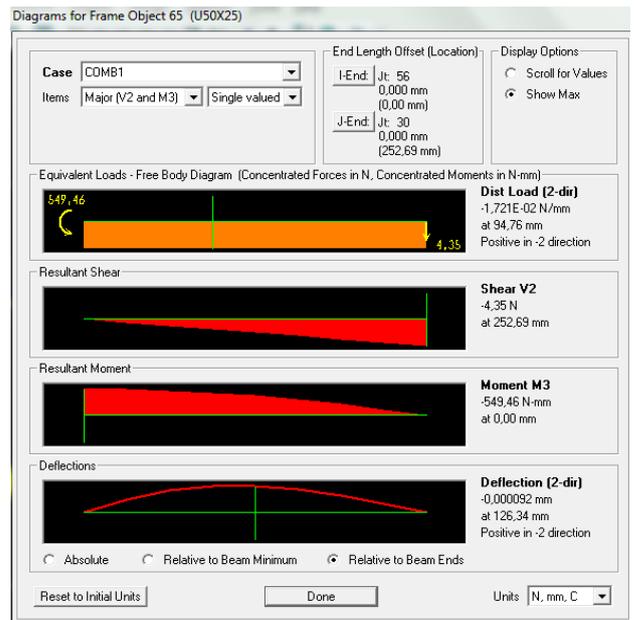
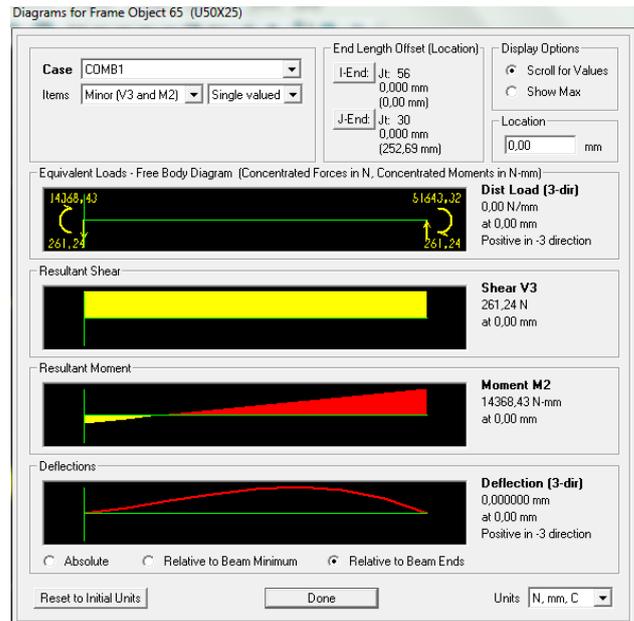


Barre 19'

X= 252,69 mm

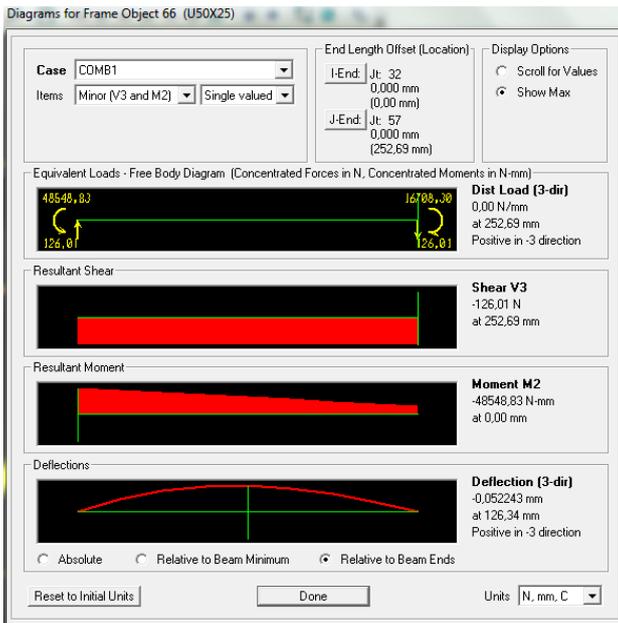


X= 0 mm

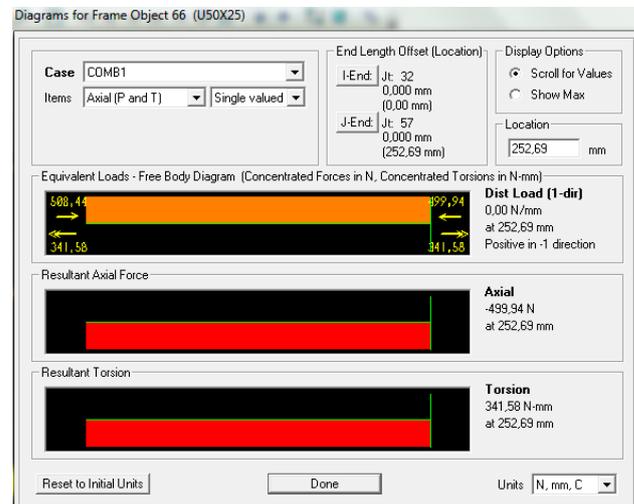
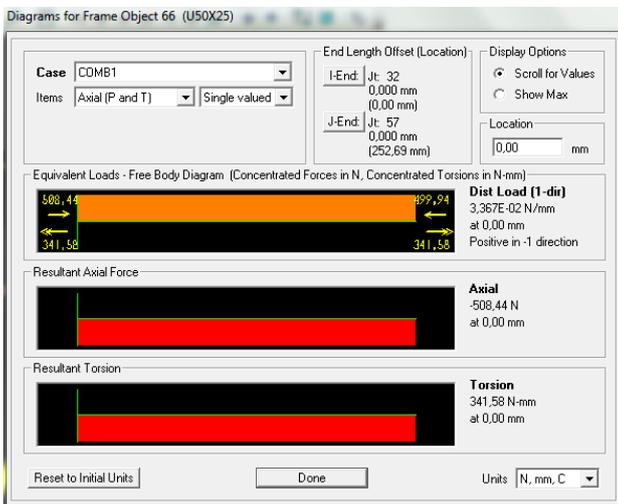
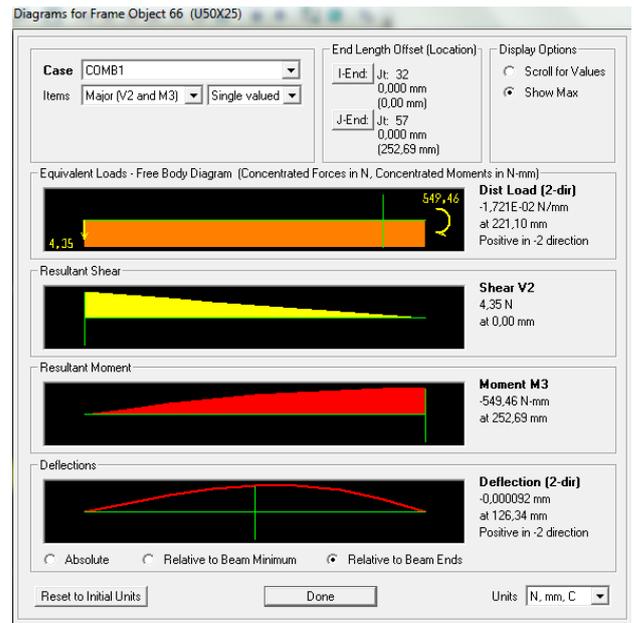
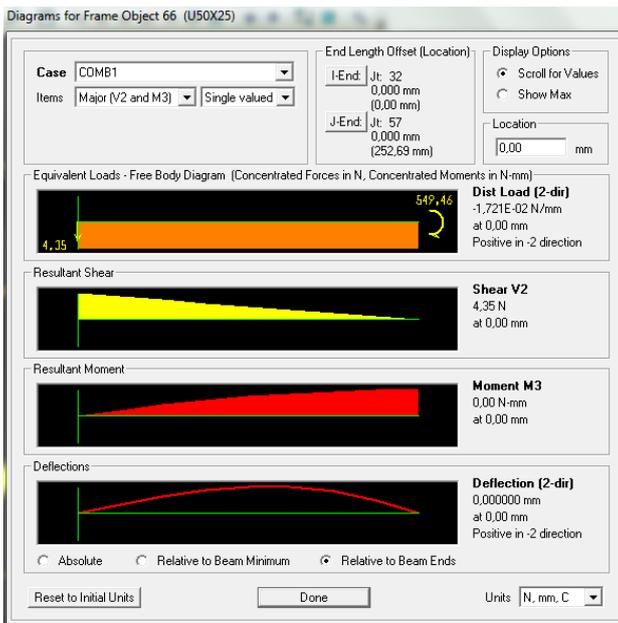
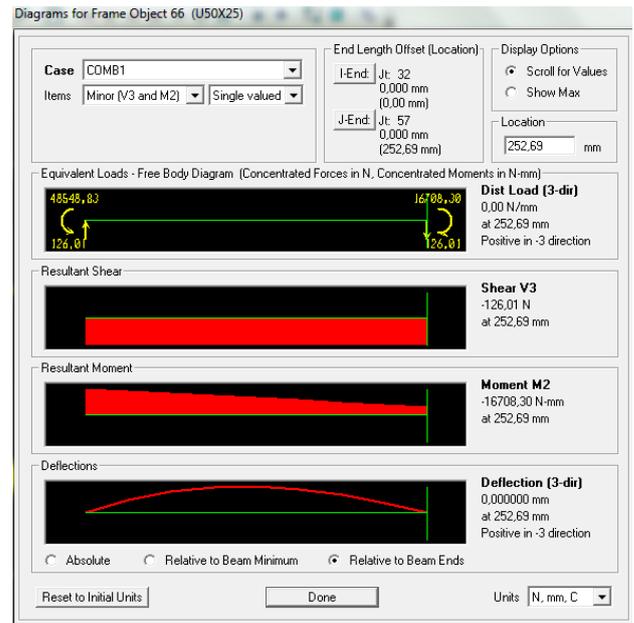


Barre 20

X= 0 mm

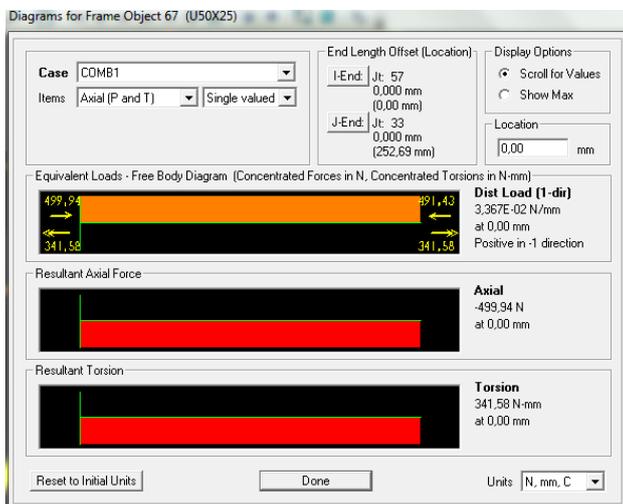
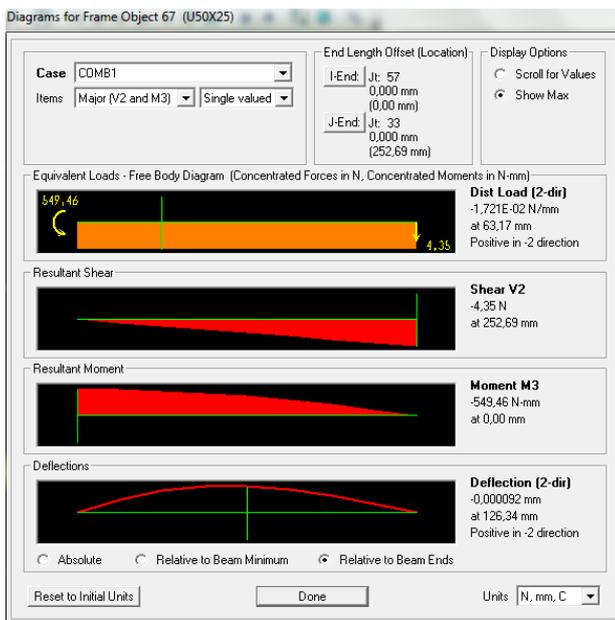
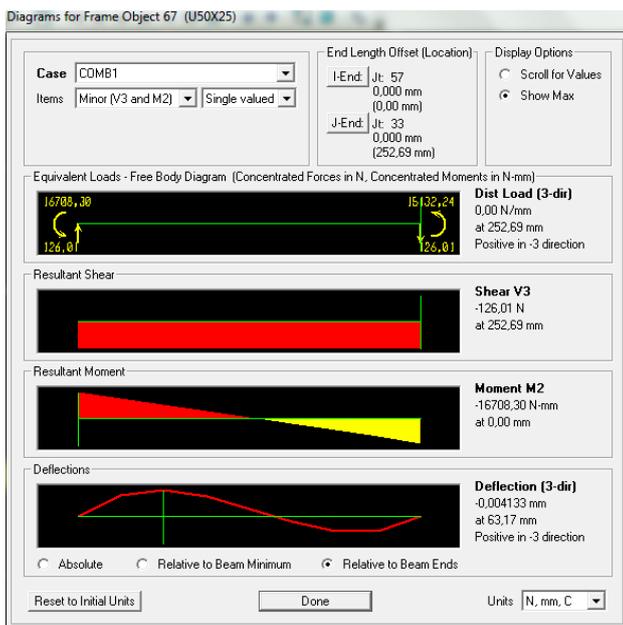


X= 252,69 mm



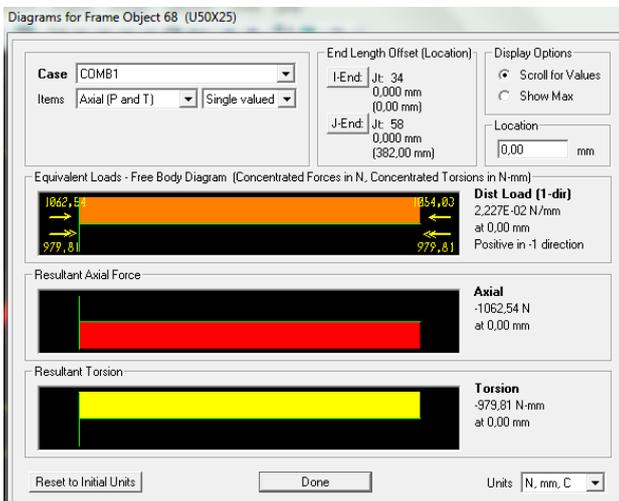
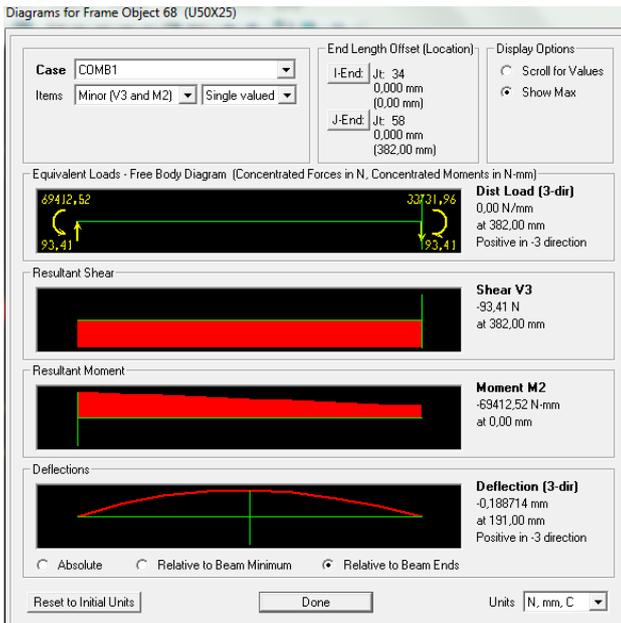
Barre 20'

X= 0 mm

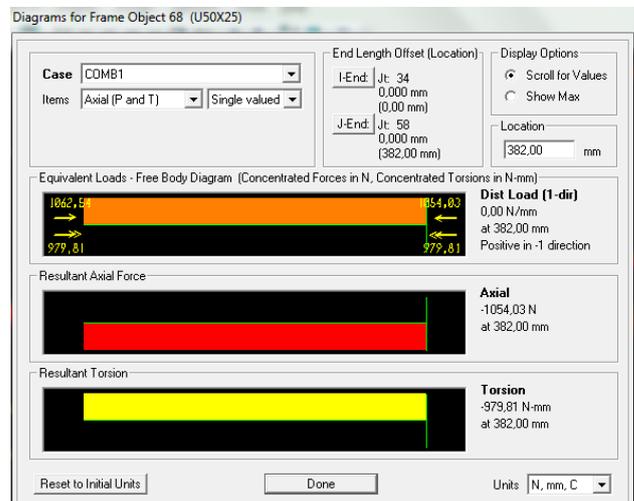
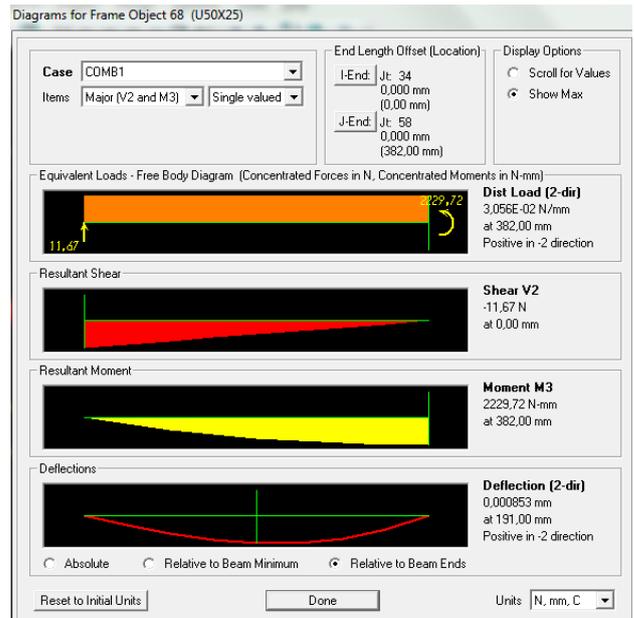
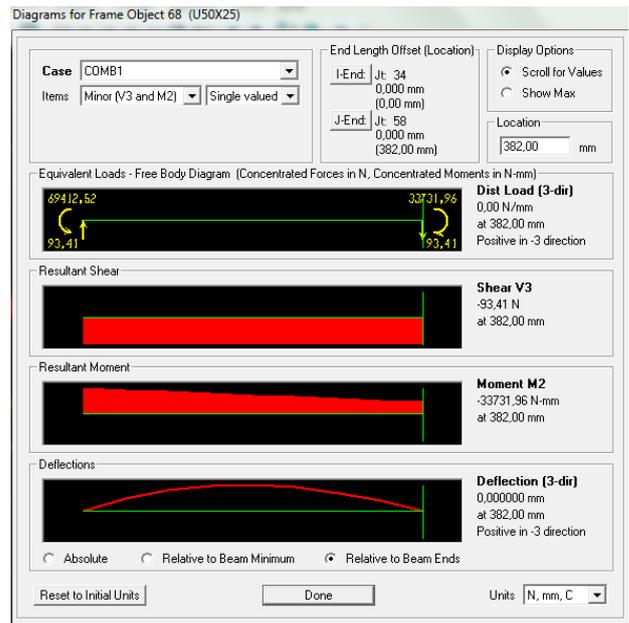


Barre 21

X= 0 mm

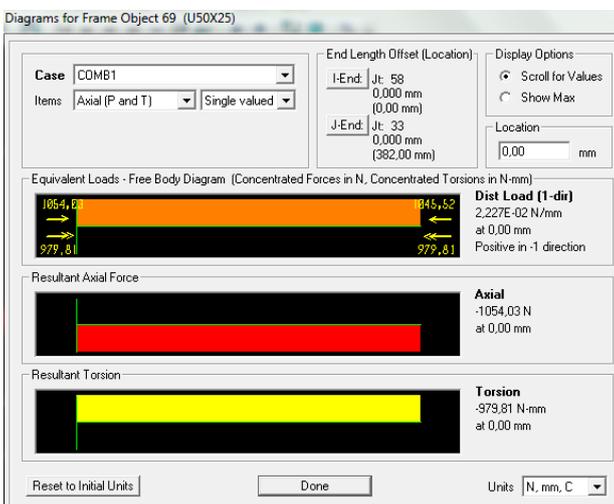
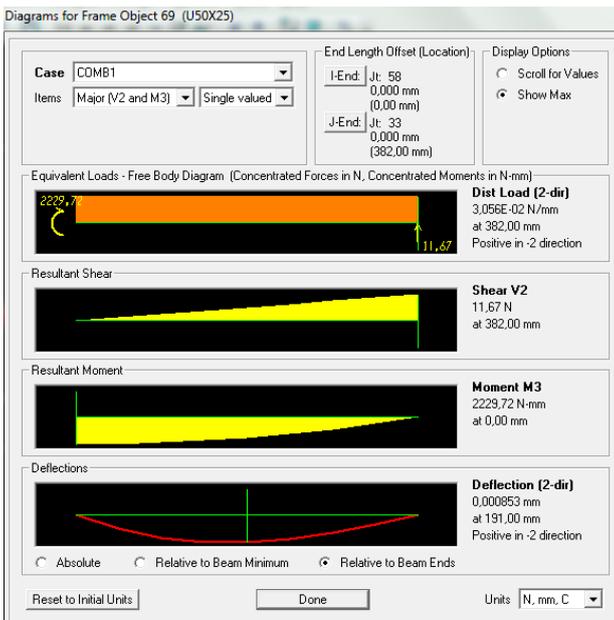
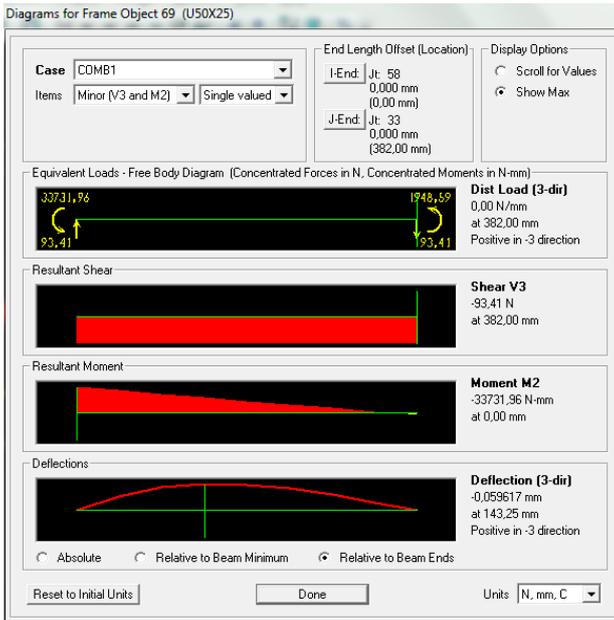


X= 382 mm



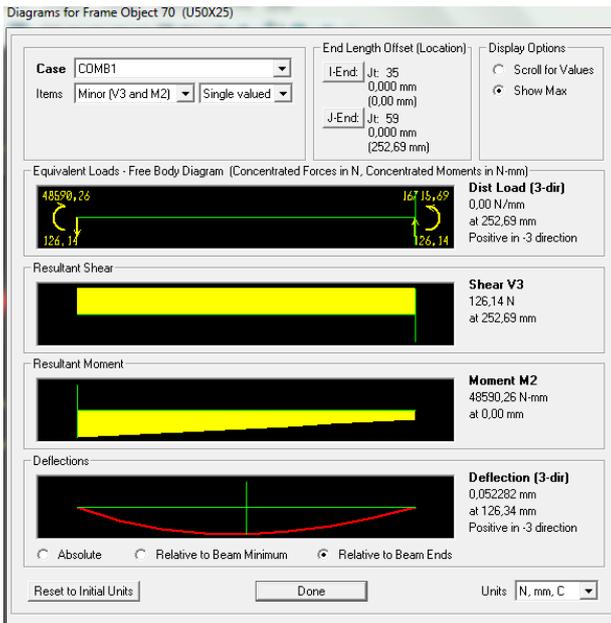
Barre 21'

X= 0 mm

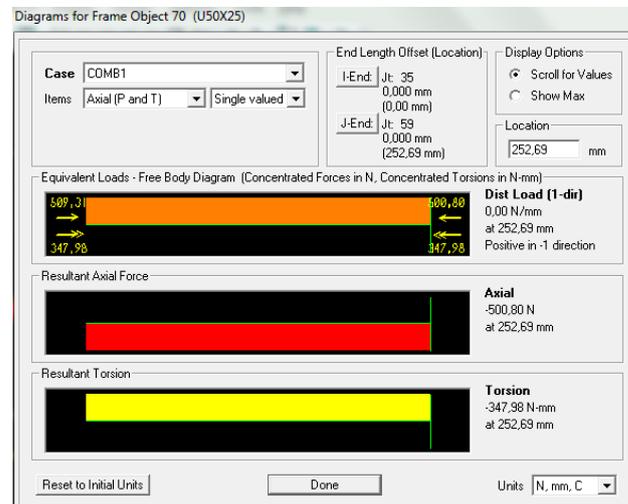
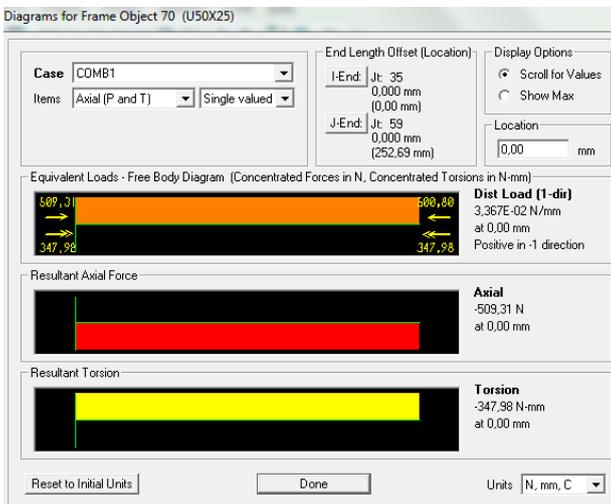
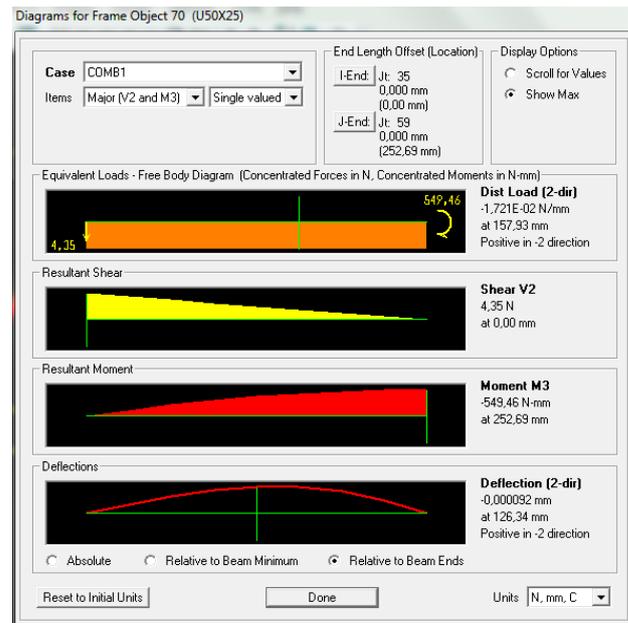
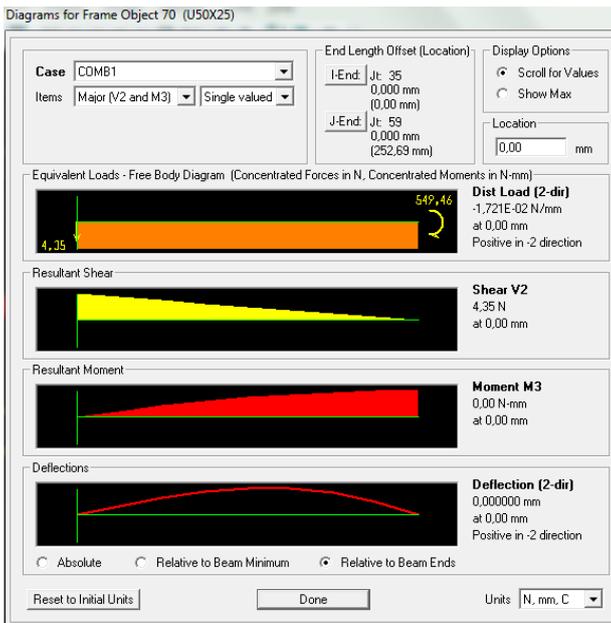
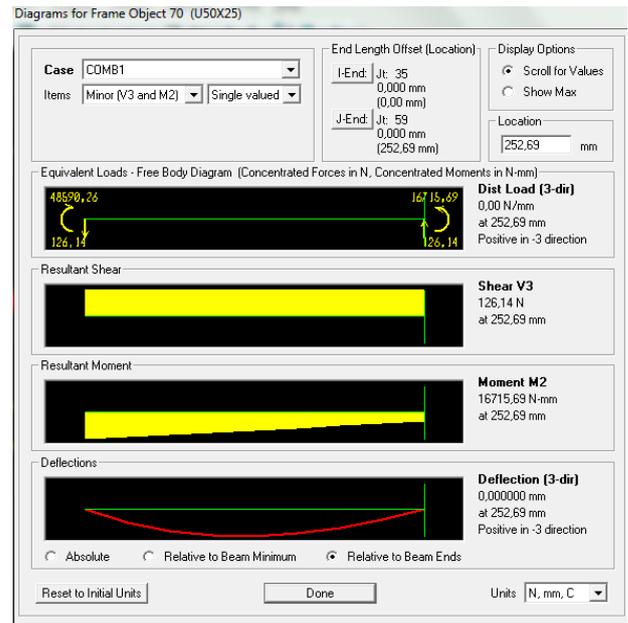


Barre 22

X= 0 mm

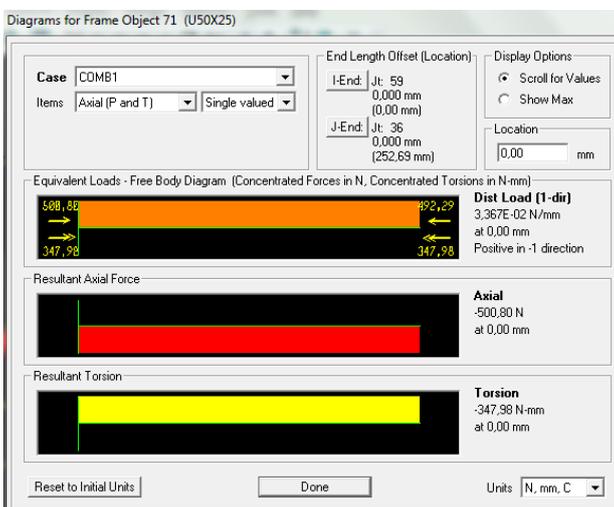
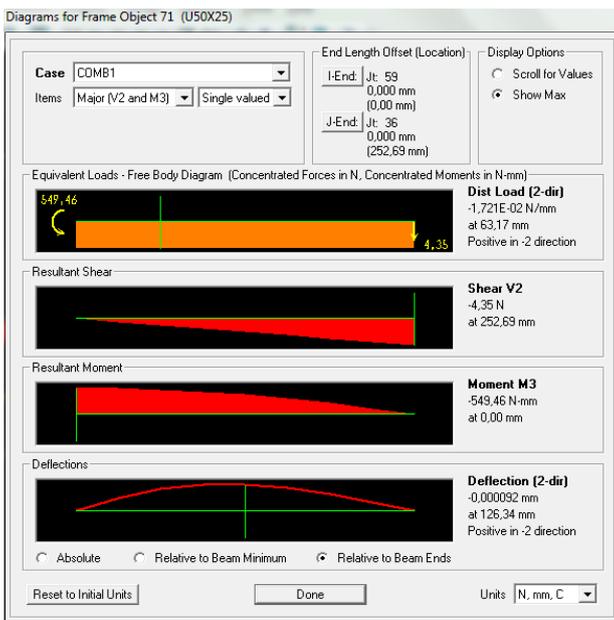
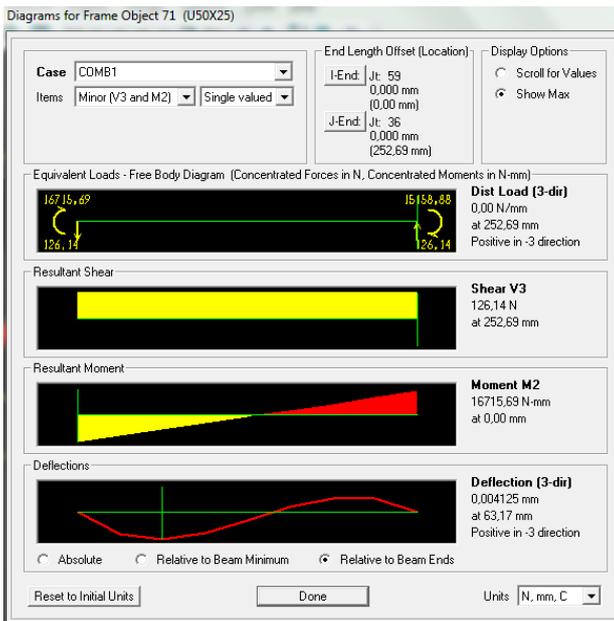


X= 252,69 mm



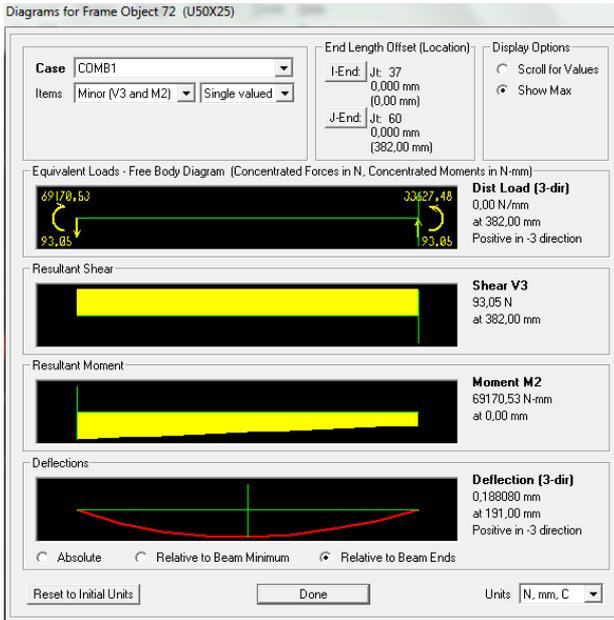
Barre 22'

X= 0 mm

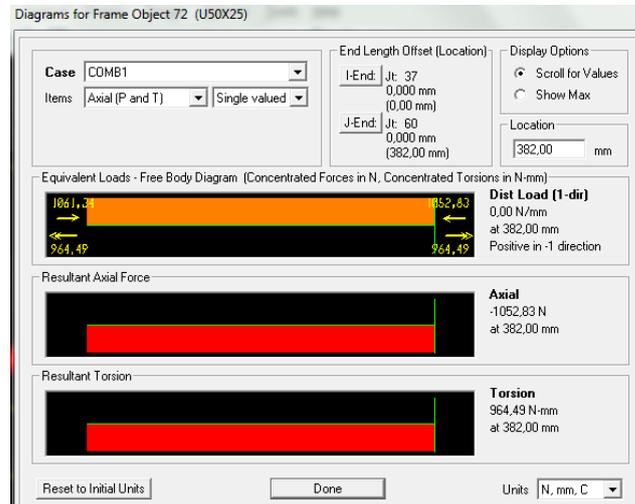
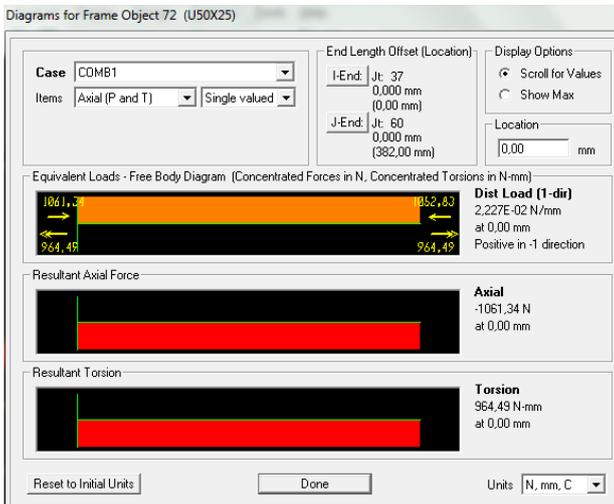
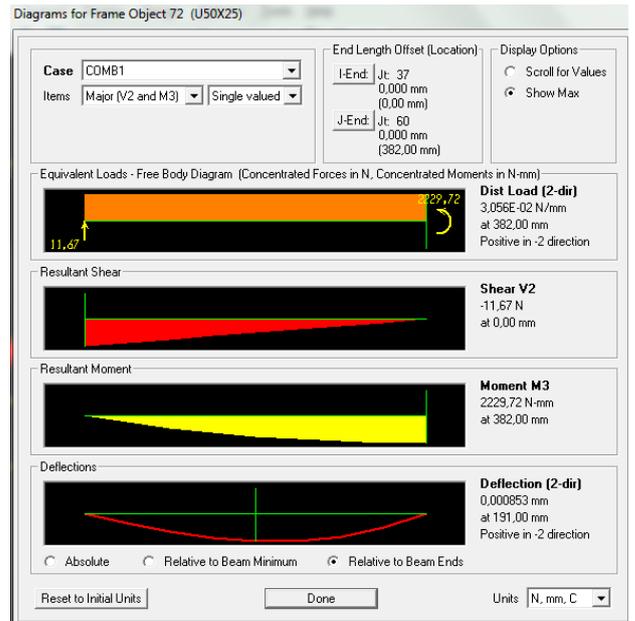
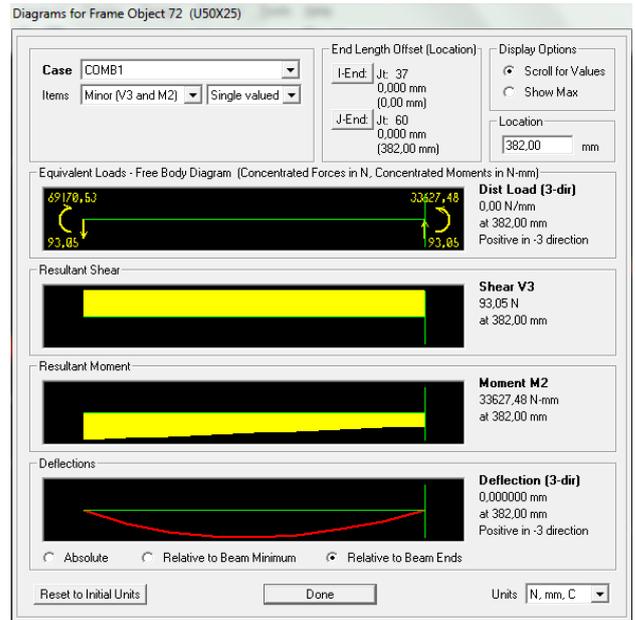


Barre 23

X= 0 mm

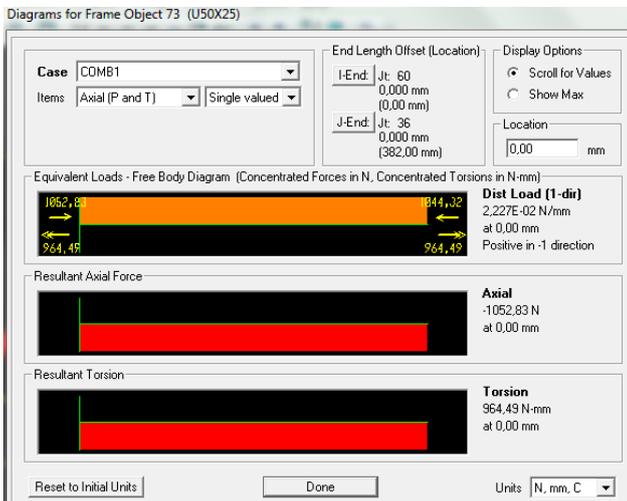
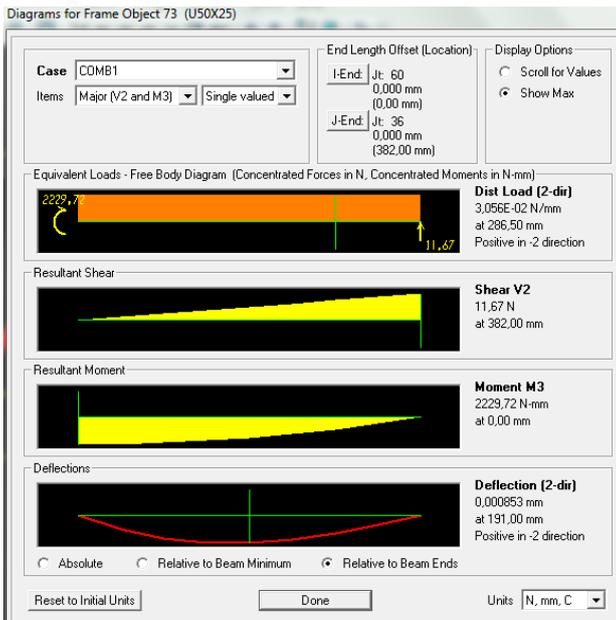
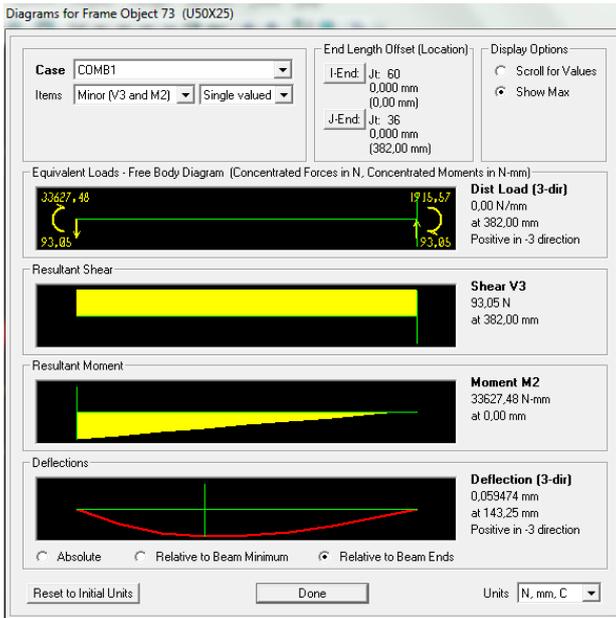


X= 382 mm



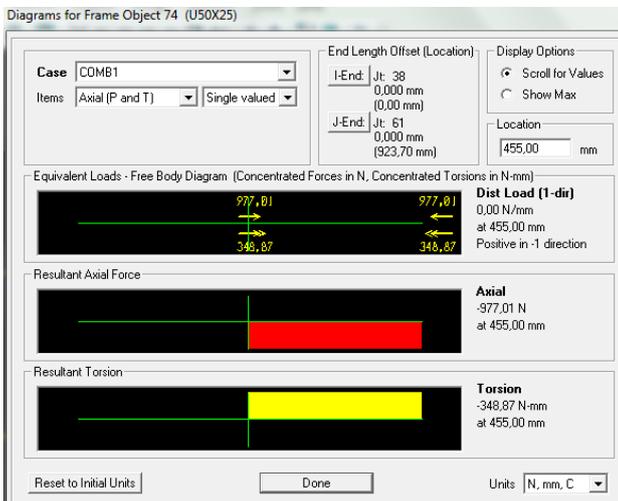
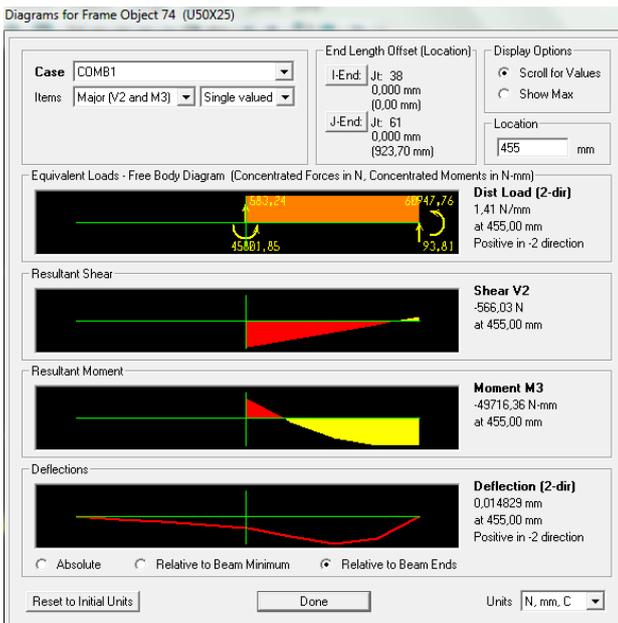
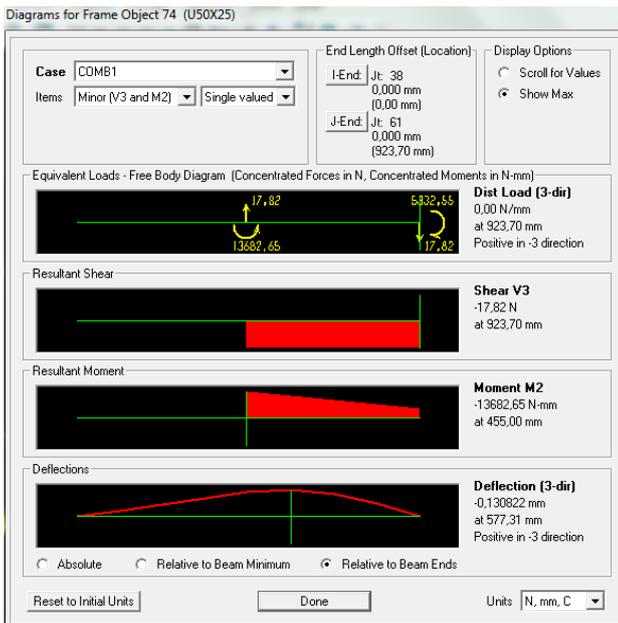
Barre 23'

X= 0 mm

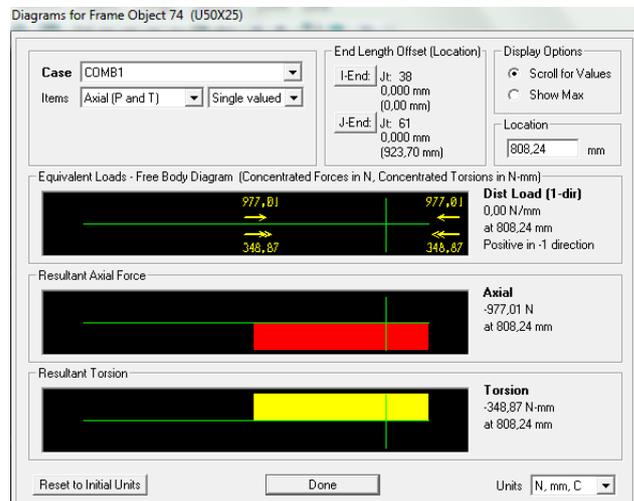
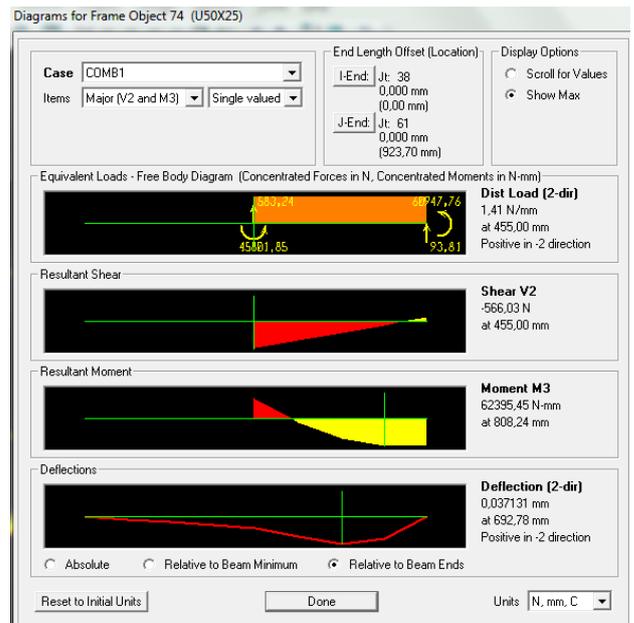
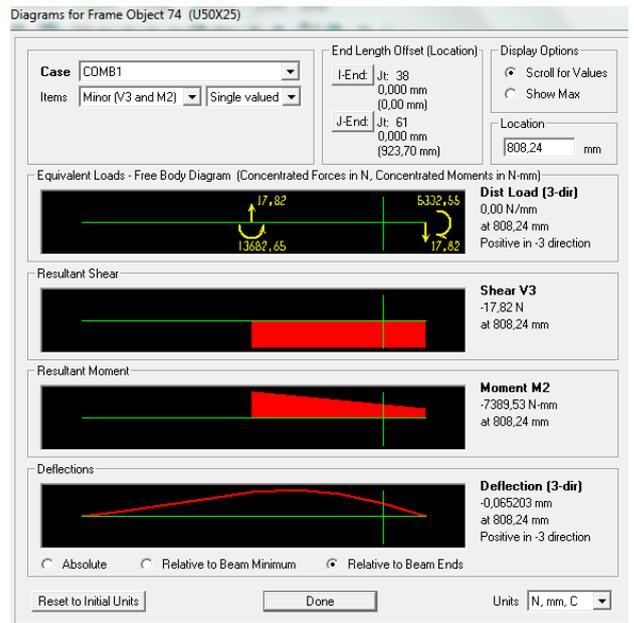


Barre 24

X= 455 mm

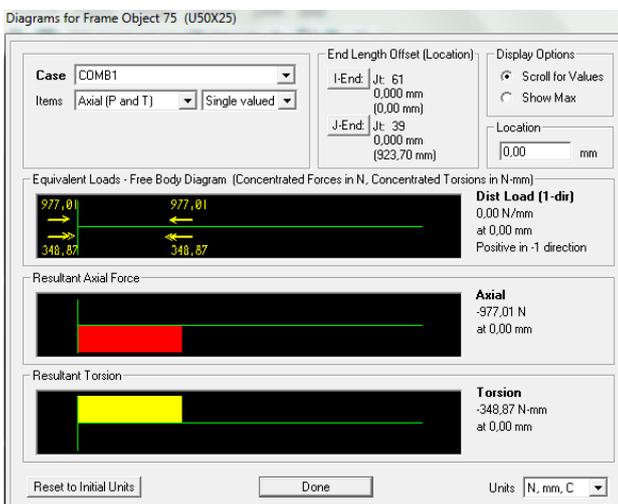
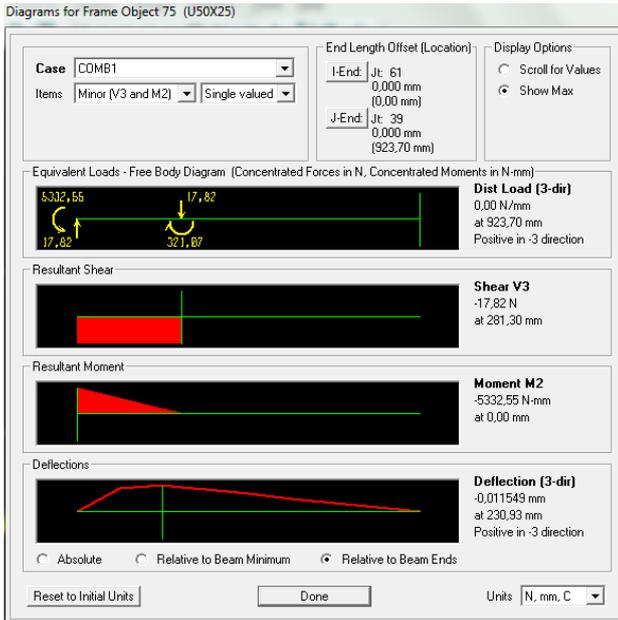


X= 808,24 mm



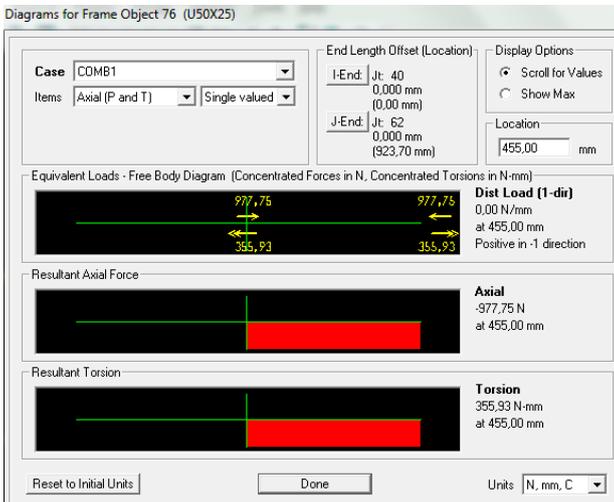
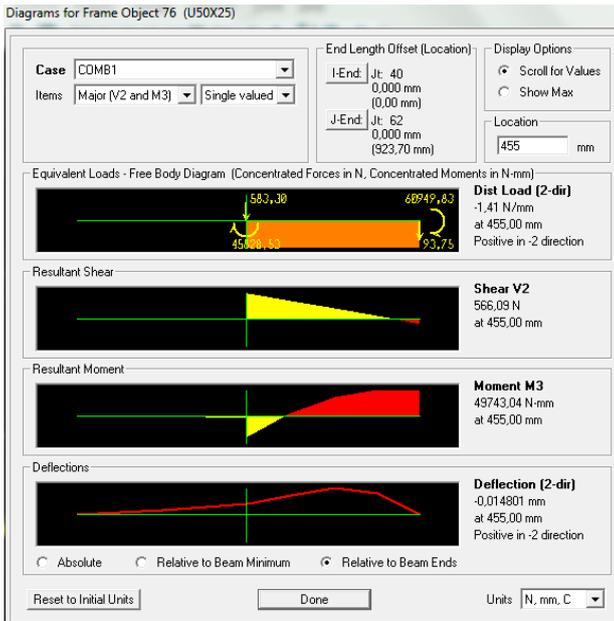
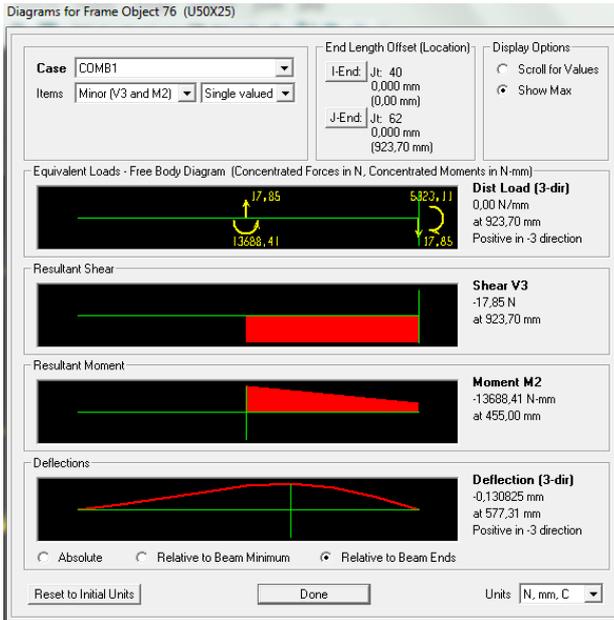
Barre 24'

X= 0 mm

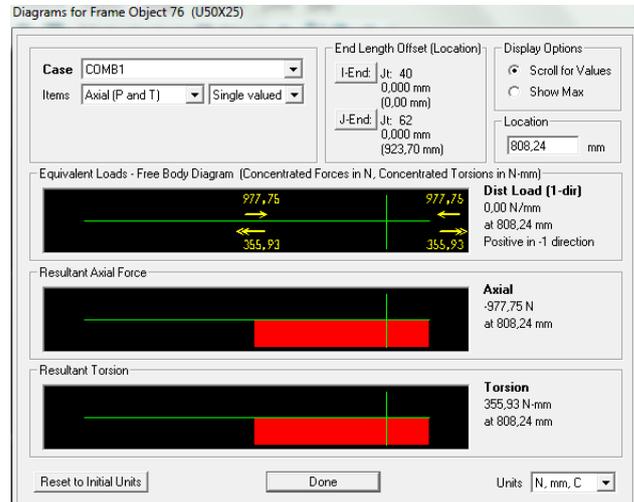
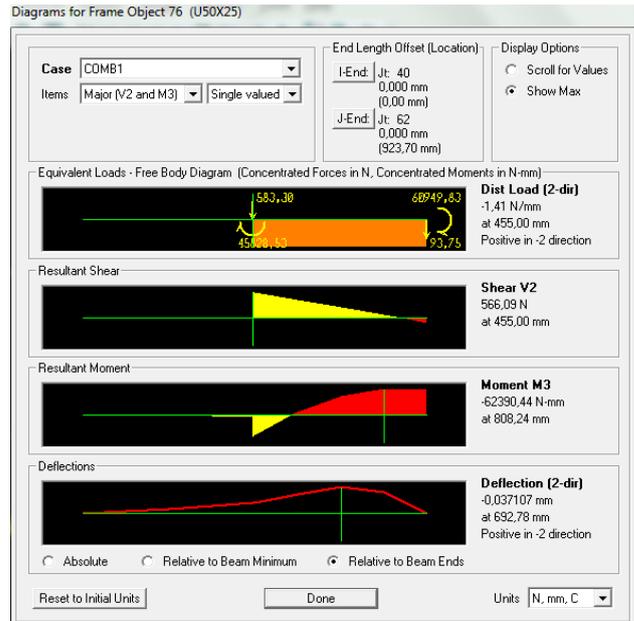
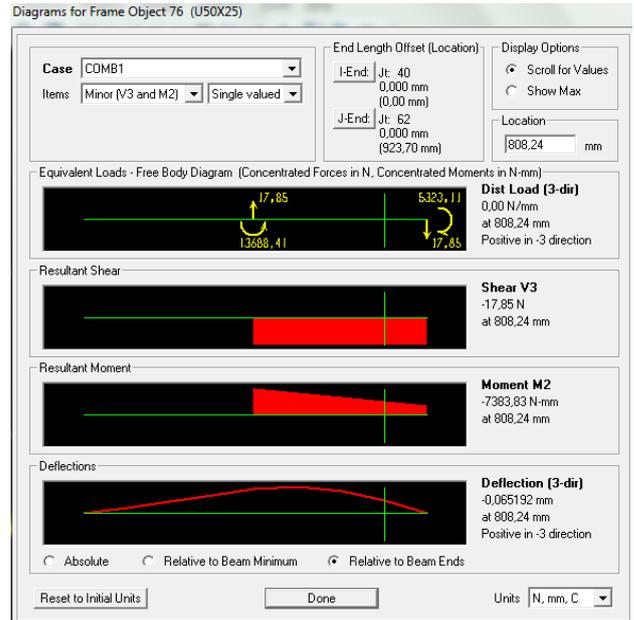


Barre 25

X= 455 mm

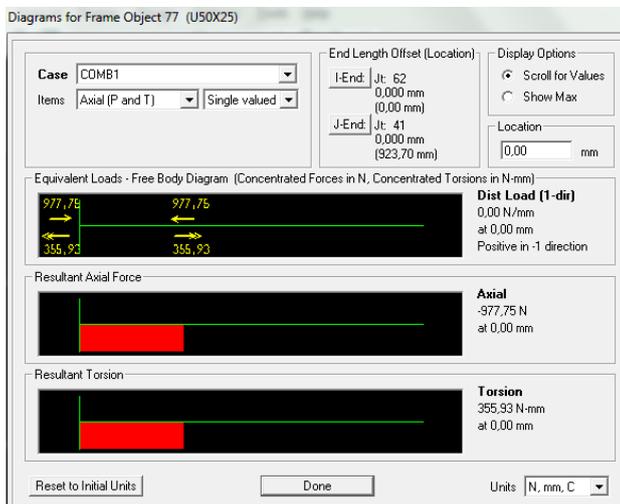
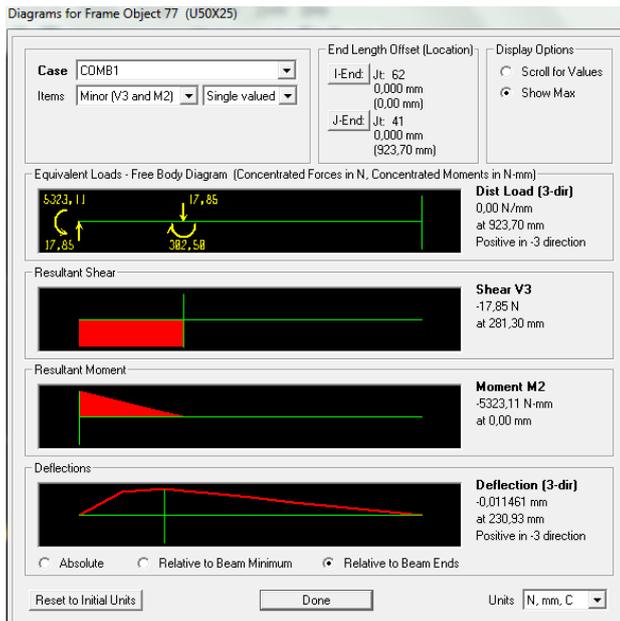


X= 808,24 mm



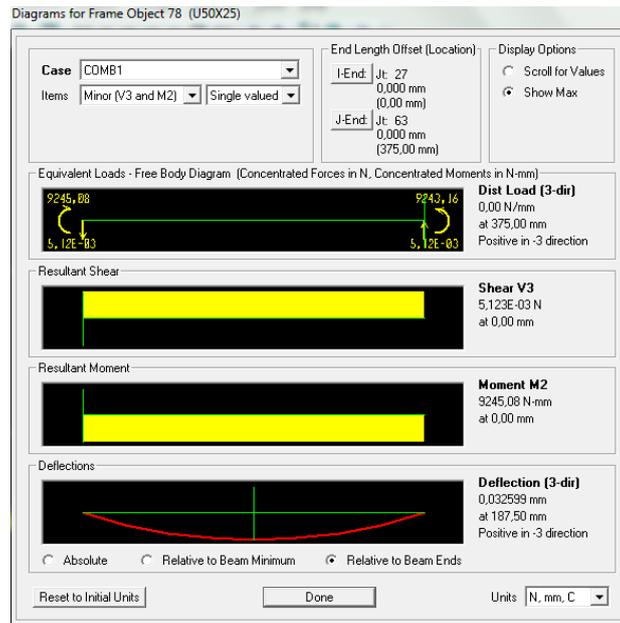
Barre 25'

X= 0 mm

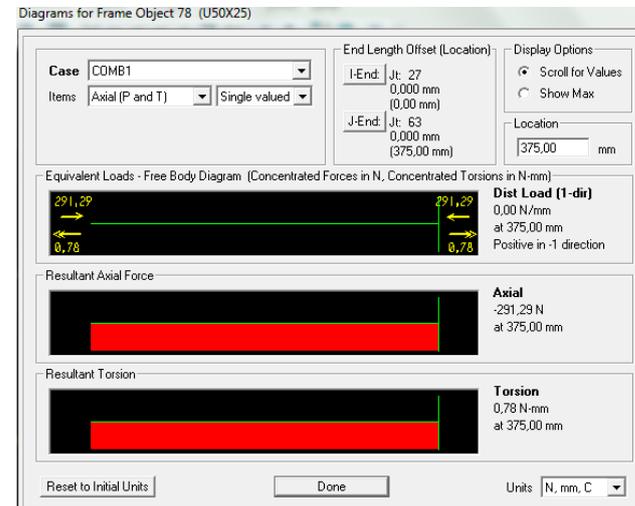
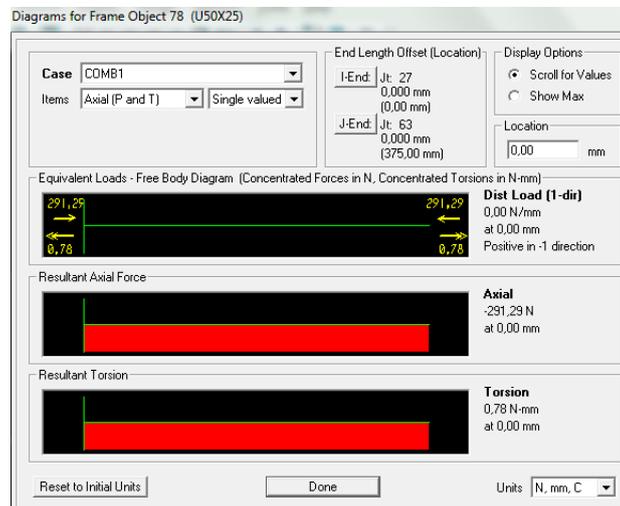
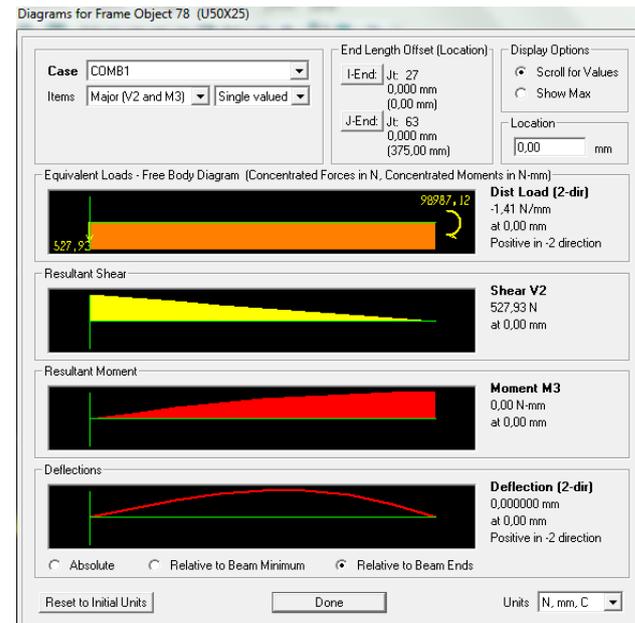
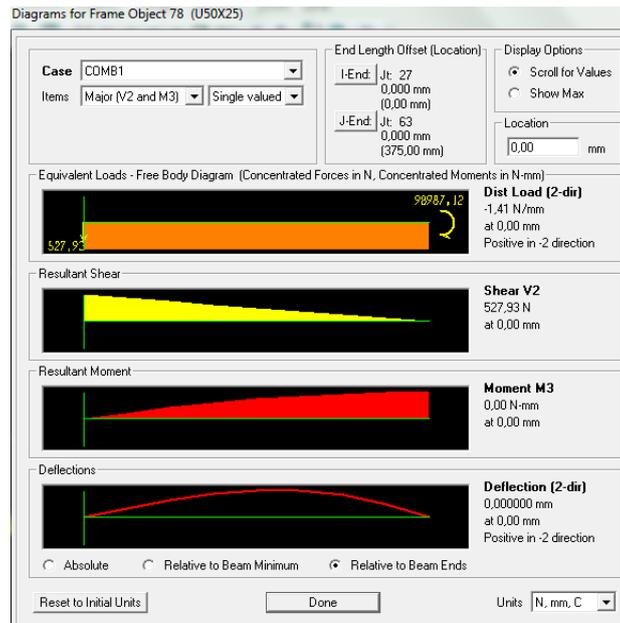
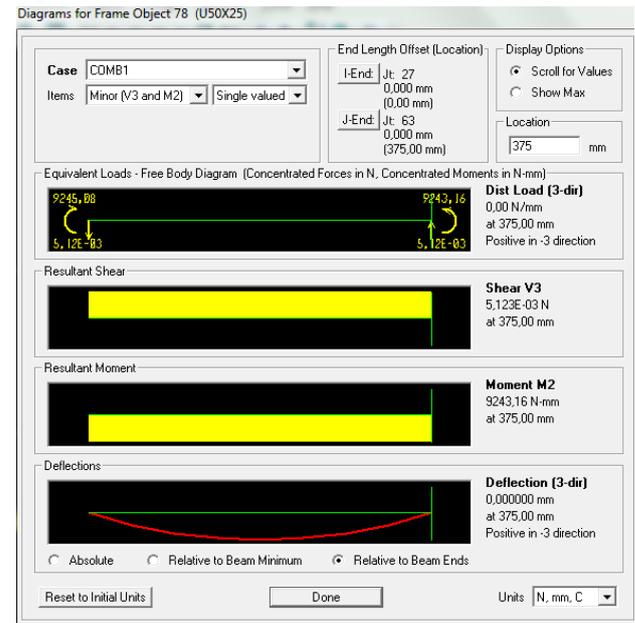


Barre 26

X= 0 mm

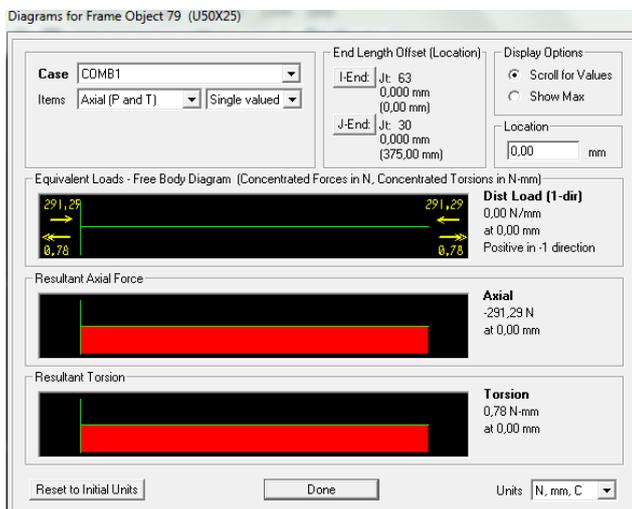
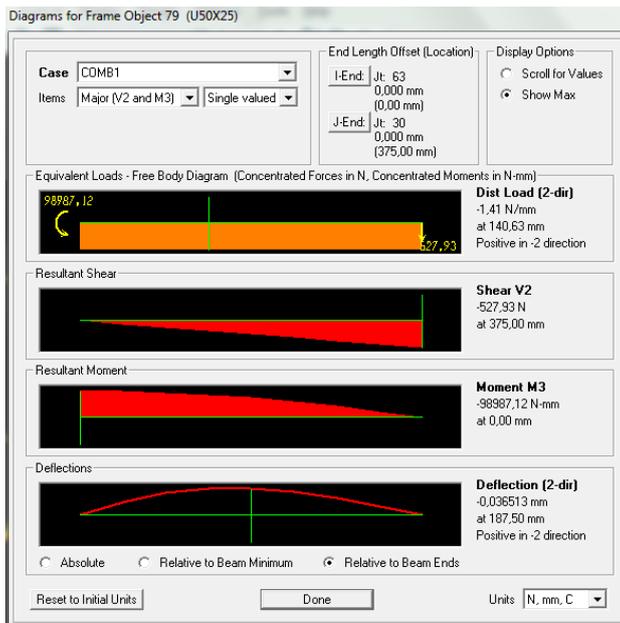
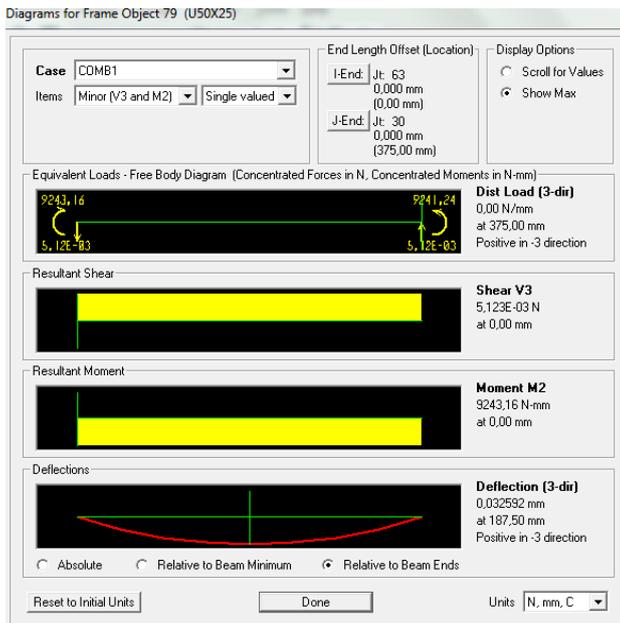


X=375 mm



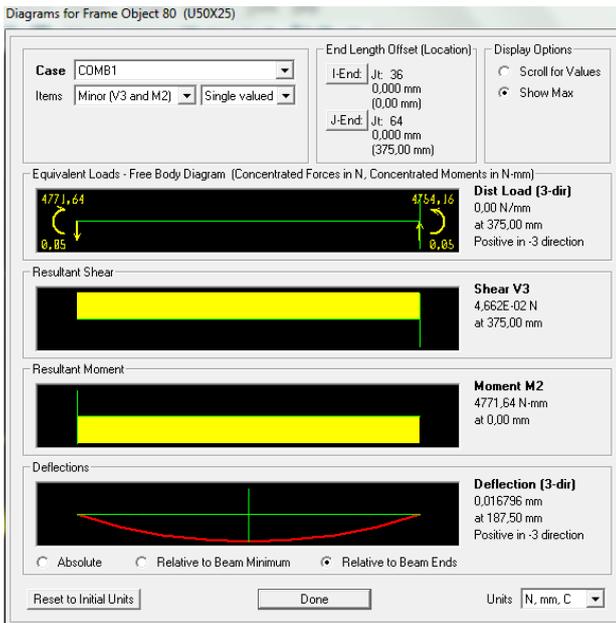
Barre 26'

X= 0 mm

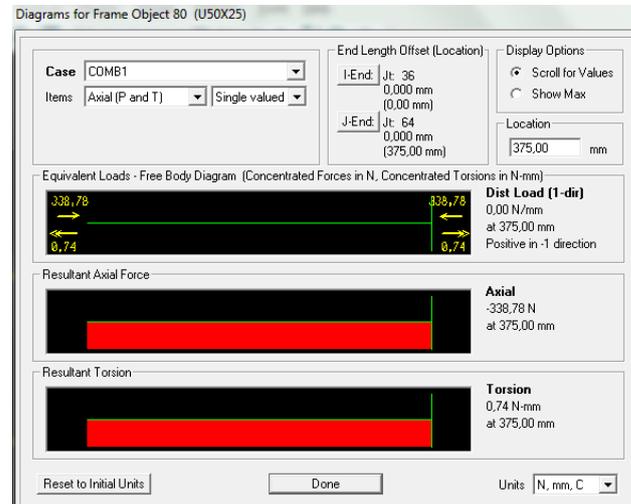
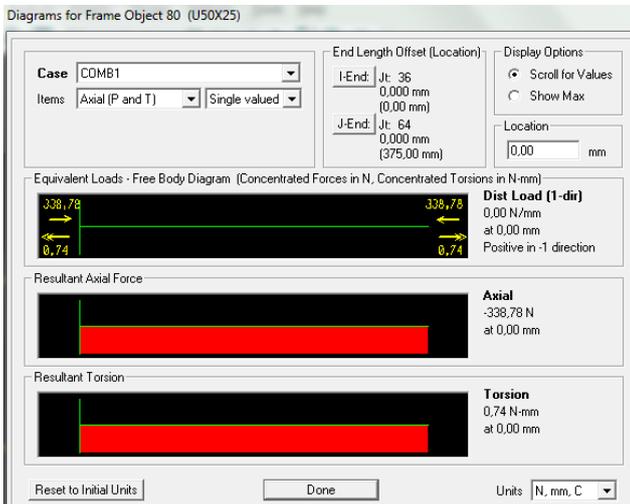
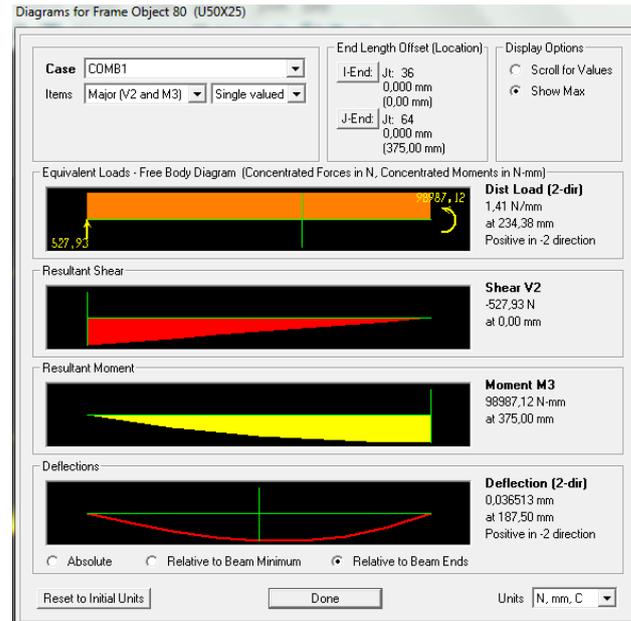
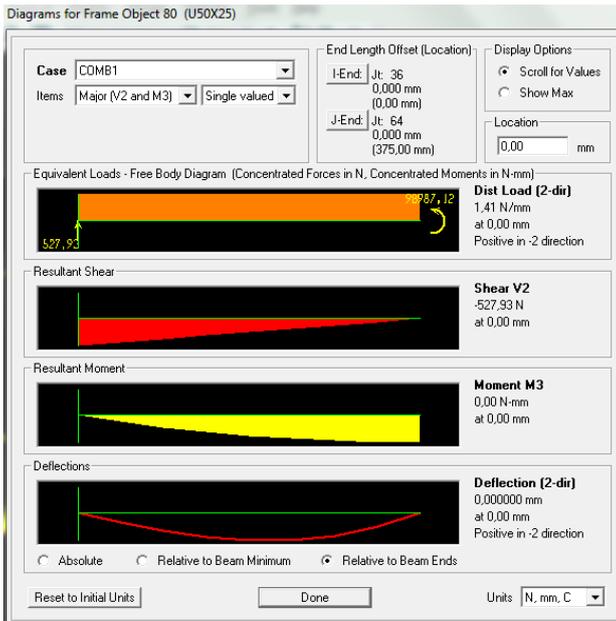
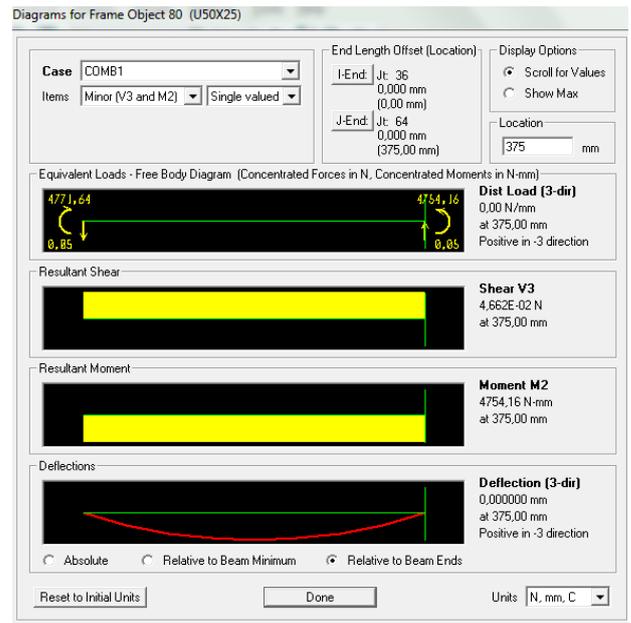


Barre 27

X= 0 mm

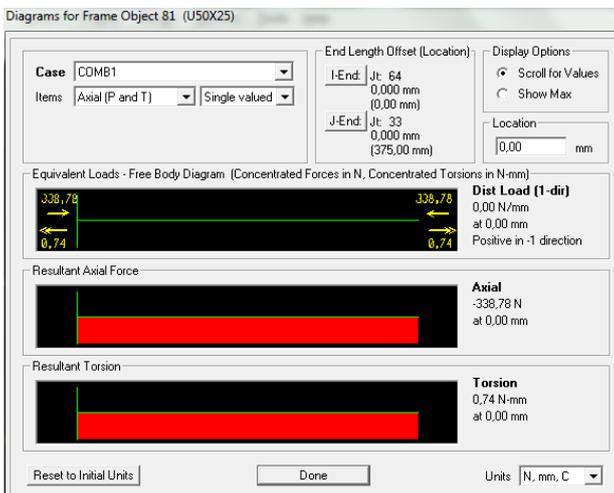
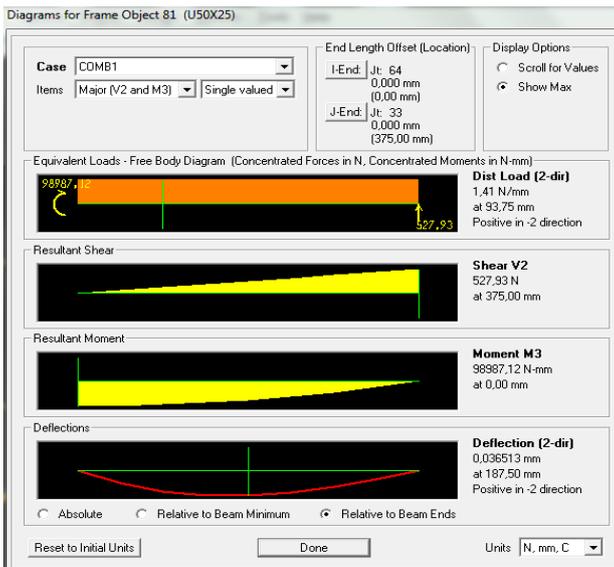
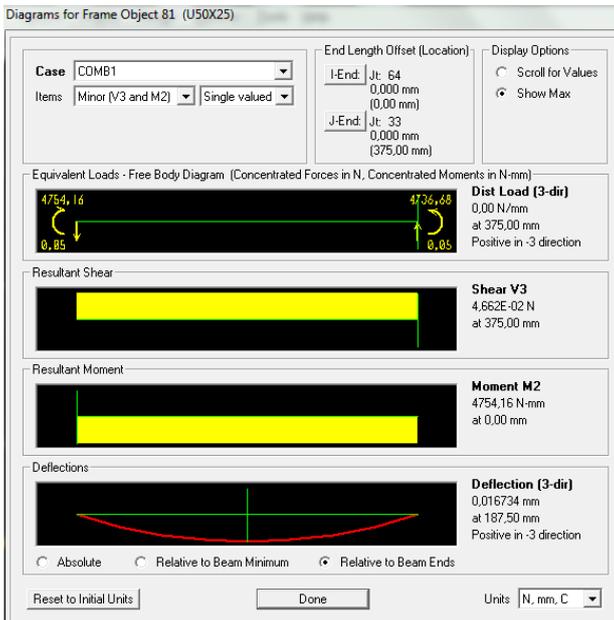


X= 375 mm



Barre 27'

X= 0 mm

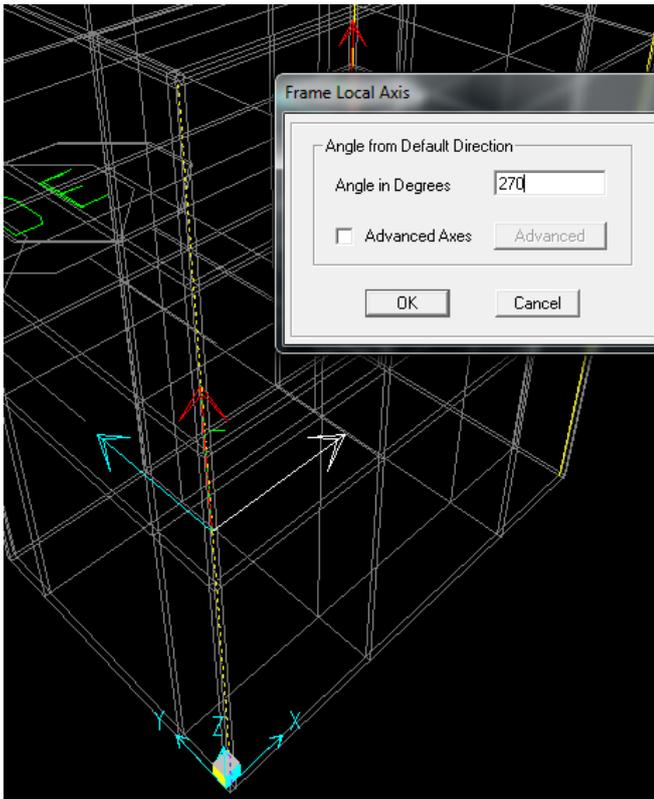


ANNEXE 03

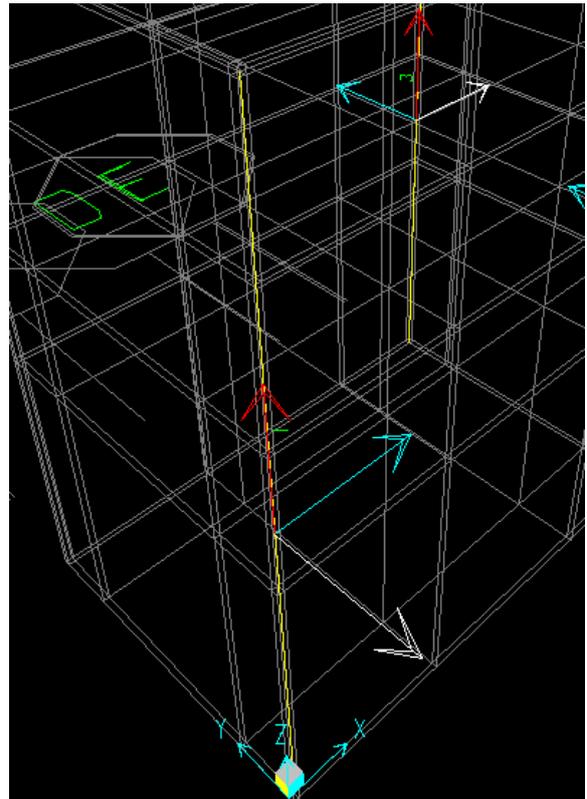
L'orientation des axes locaux

Barre 1 avant le changement :

Angle : 270°

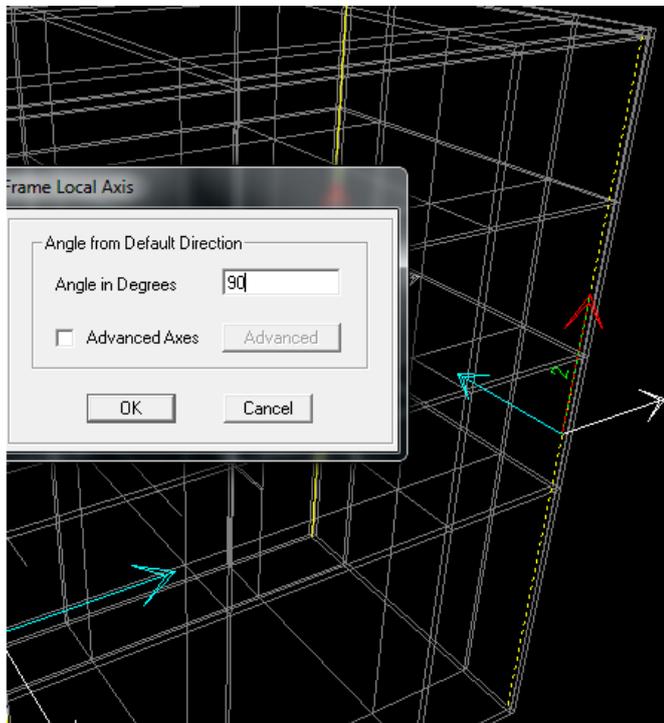


Barre 1 après le changement :

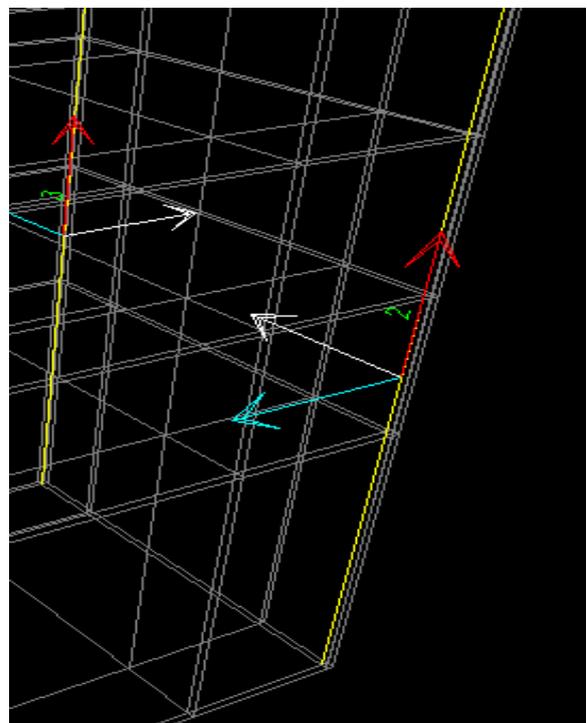


Barre 2 avant le changement :

Angle : 90°

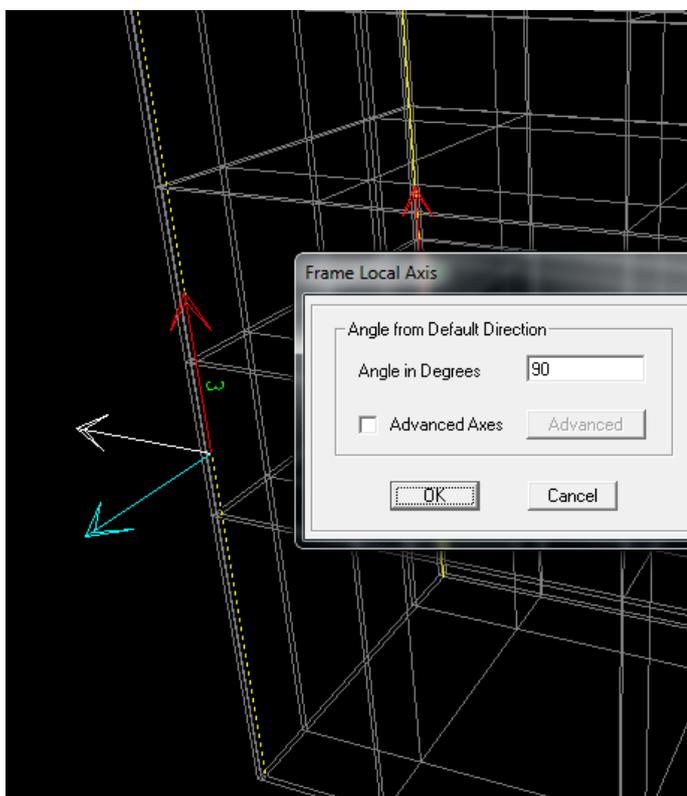


Barre 2 après le changement

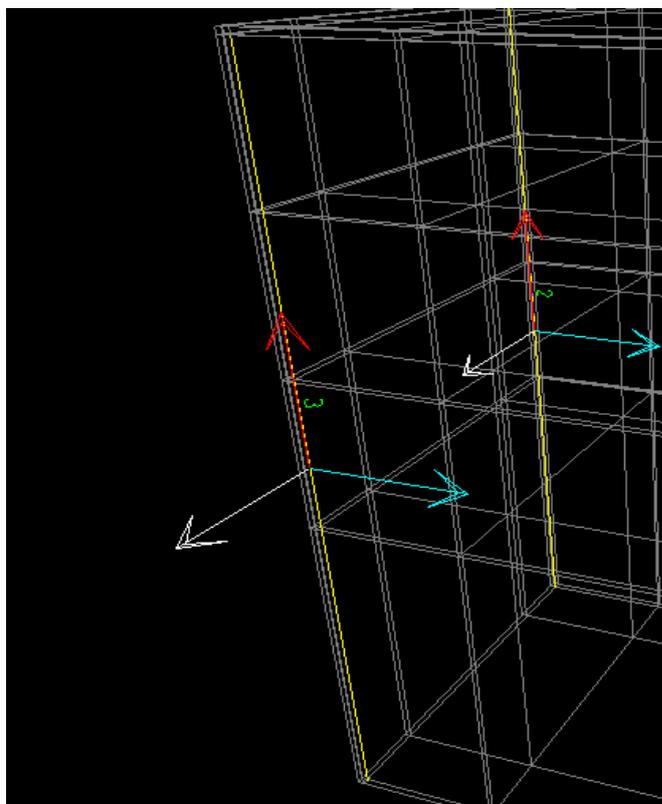


Barre 3 avant le changement :

Angle : 90°

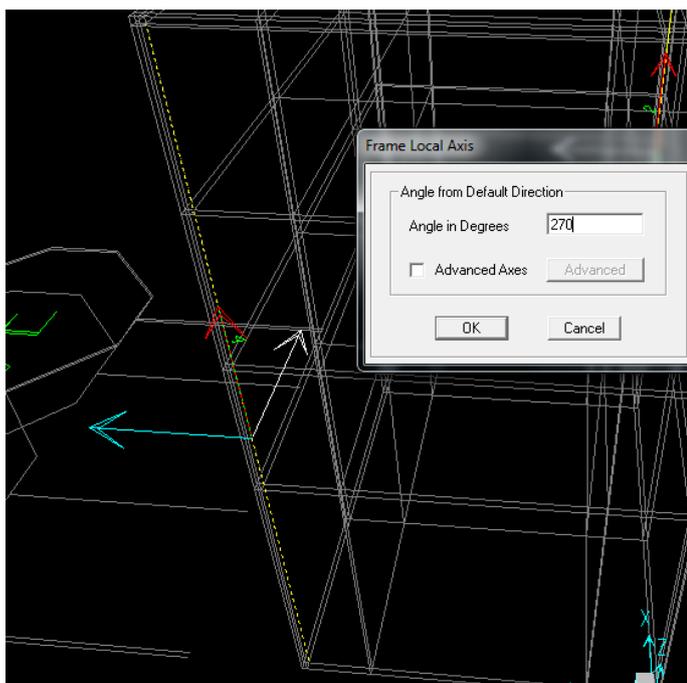


Barre 3 après le changement :

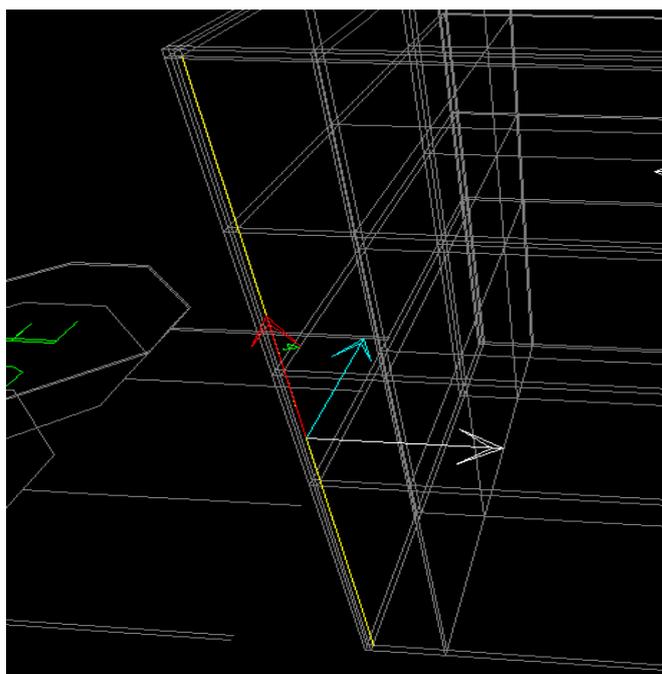


Barre 4 avant le changement :

Angle : 270°

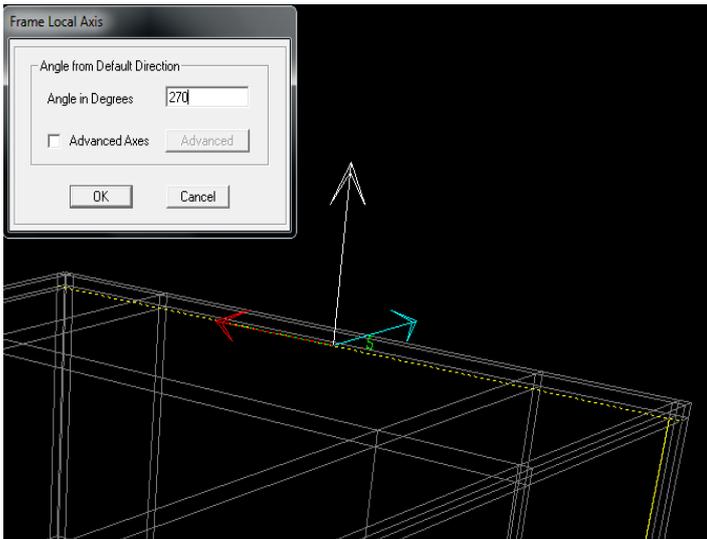


Barre 4 après le changement :

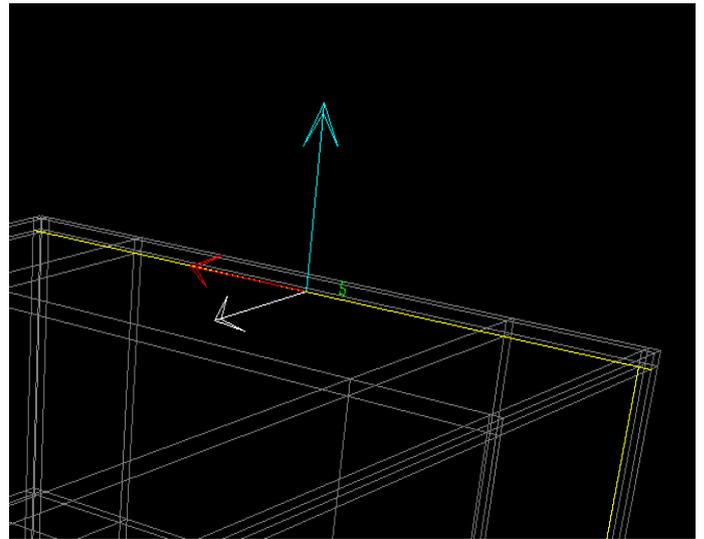


Barre 5 avant le changement :

Angle : 270°

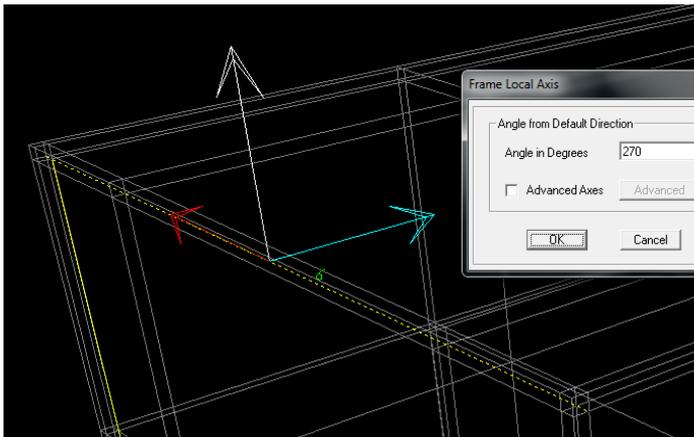


Barre 5 après le changement :

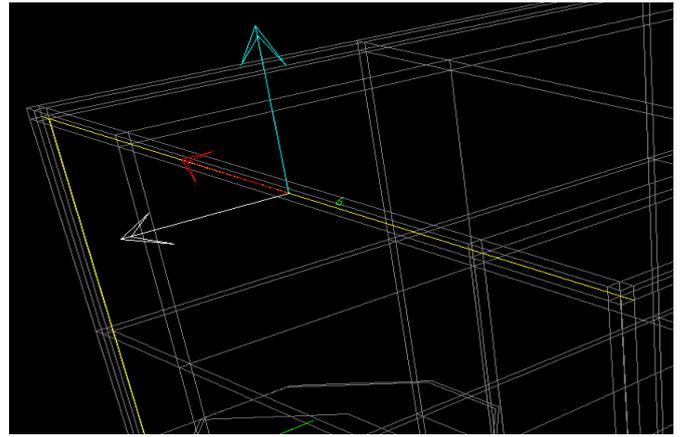


Barre 6 avant le changement :

Angle : 270°

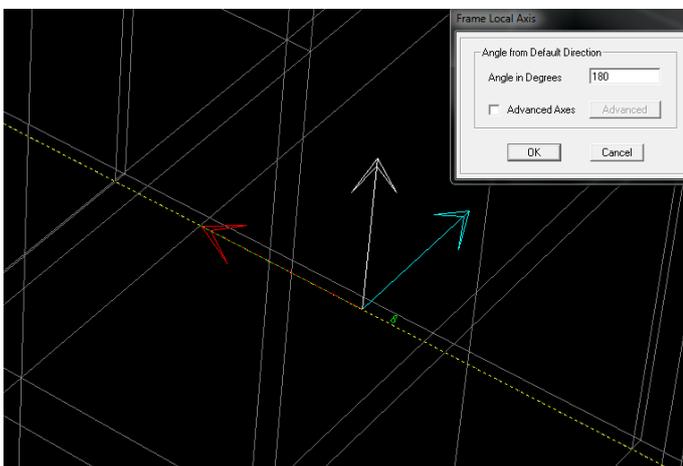


Barre 6 après le changement :

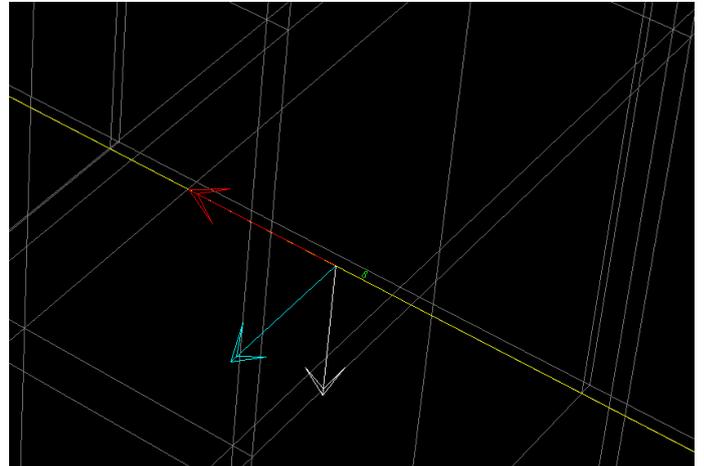


Barre 8 avant le changement :

Angle : 180°

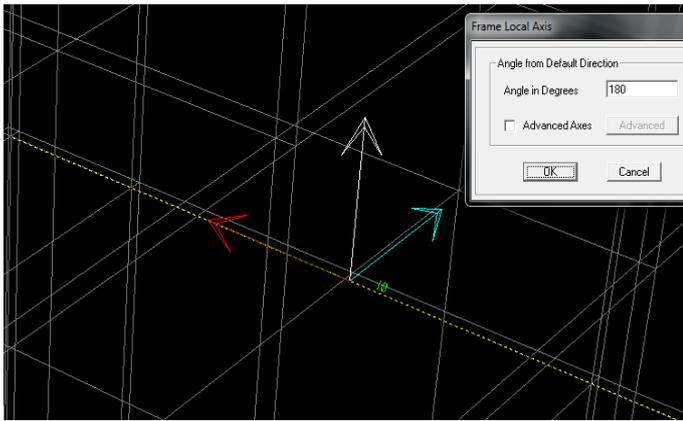


Barre 8 après le changement :

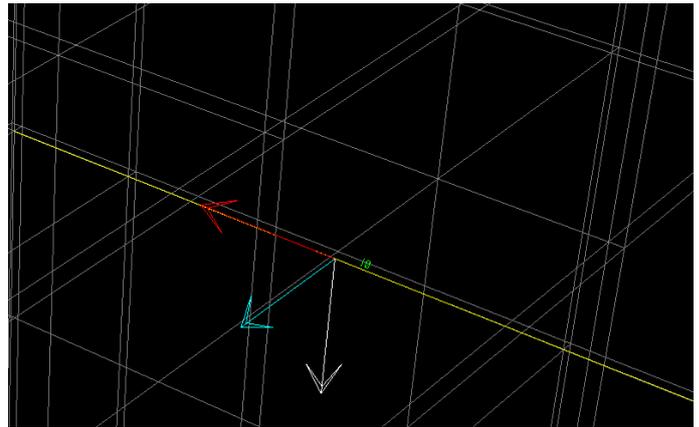


Barre 10 avant le changement :

Angle : 180°

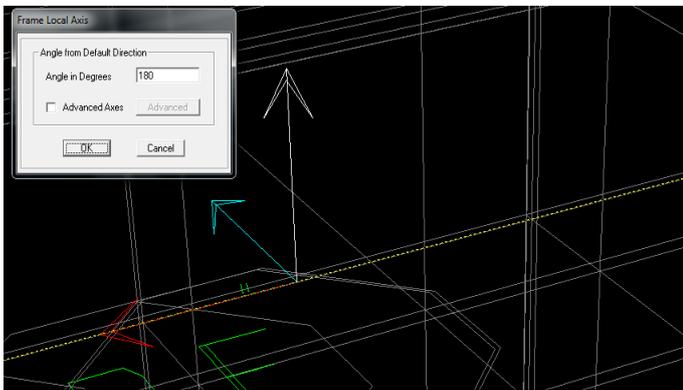


Barre 10 après le changement :

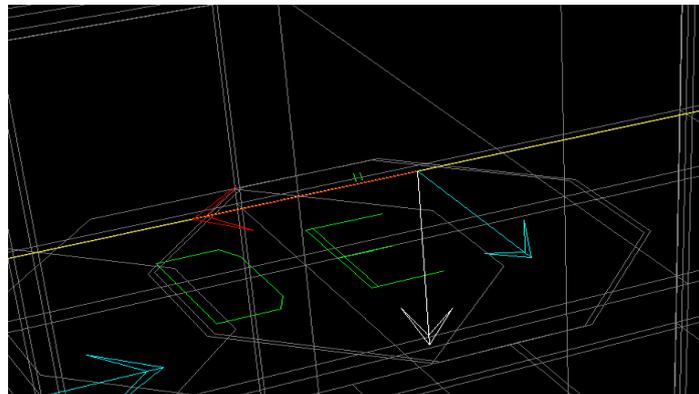


Barre 11 avant le changement :

Angle : 180°

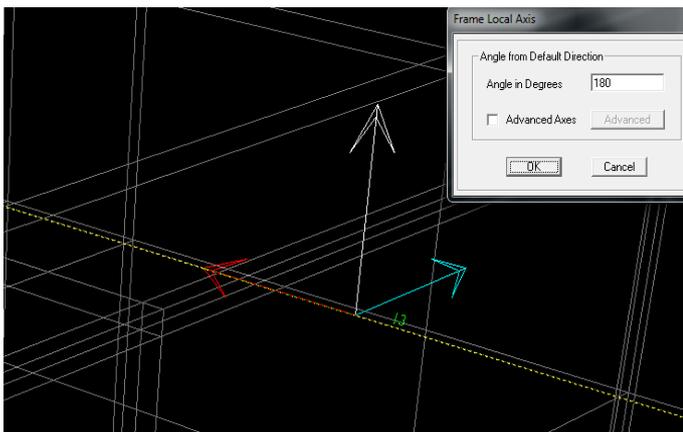


Barre 11 après le changement :

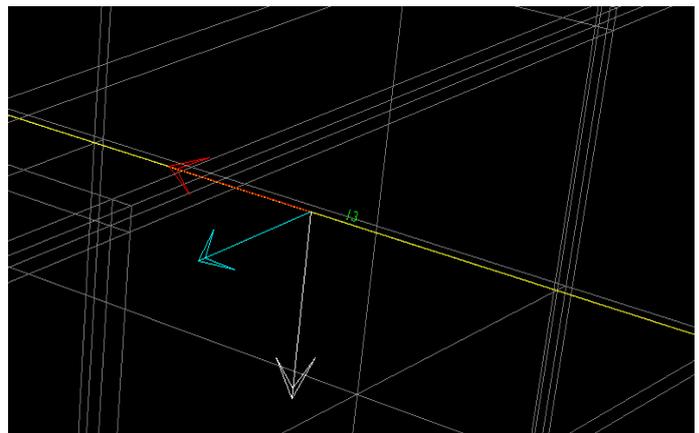


Barre 13 avant le changement :

Angle : 180°

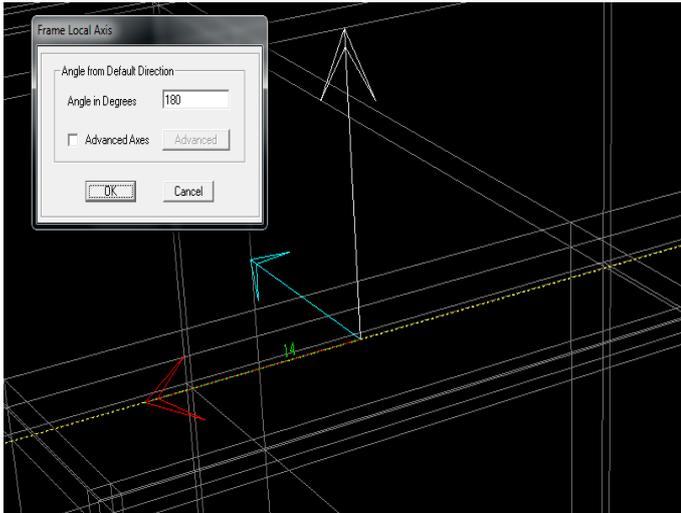


Barre 13 après le changement :

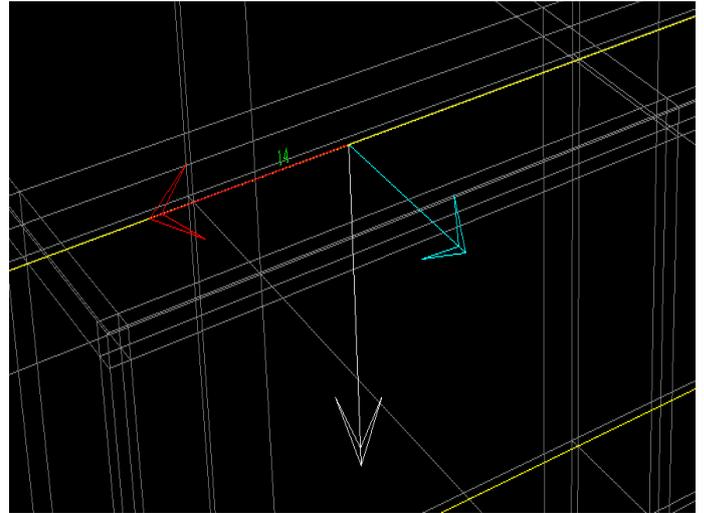


Barre 14 avant le changement :

Angle : 180°

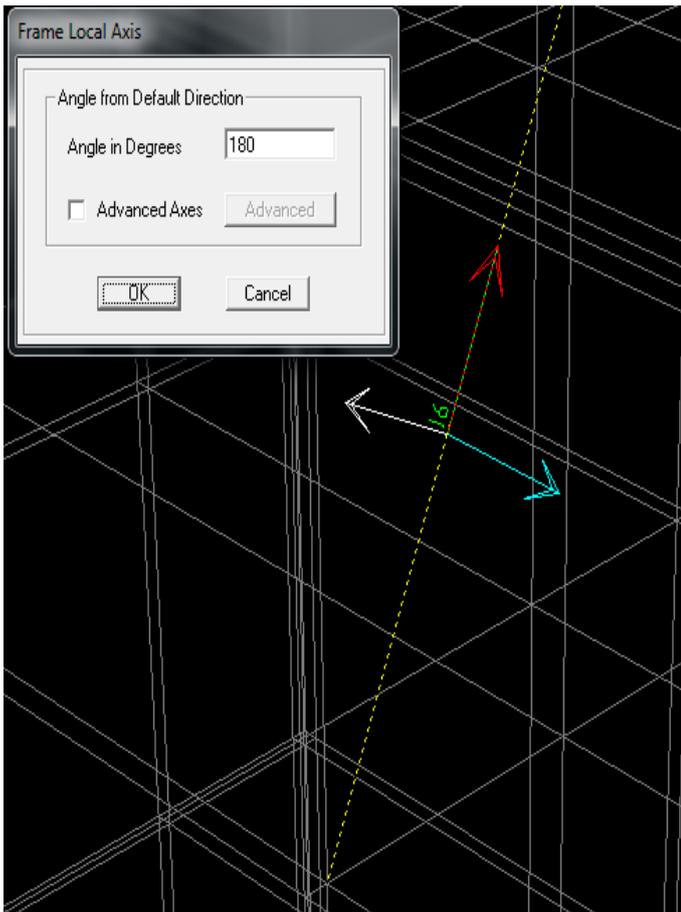


Barre 14 après le changement :

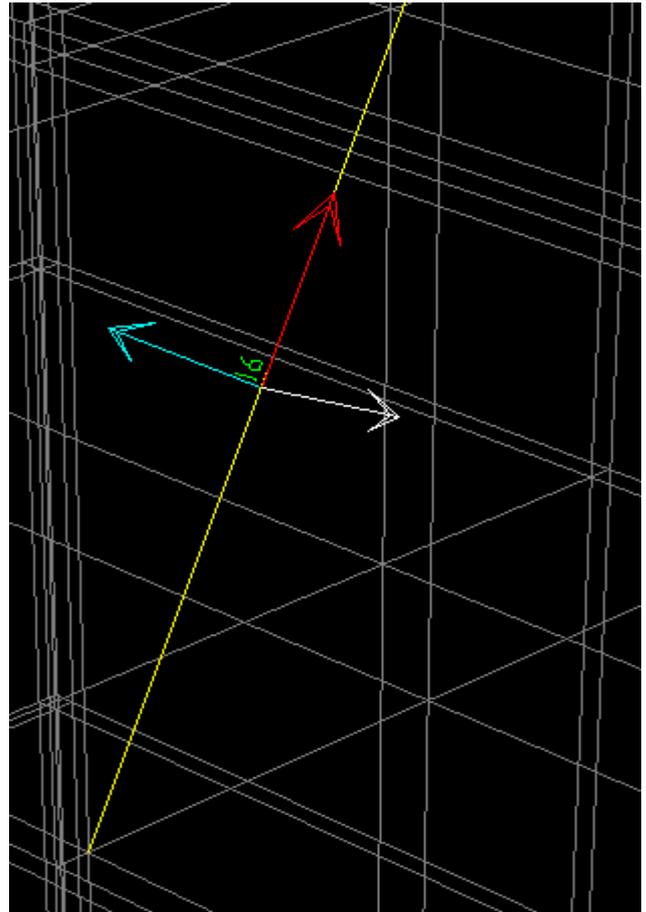


Barre 16 avant le changement :

Angle : 180°

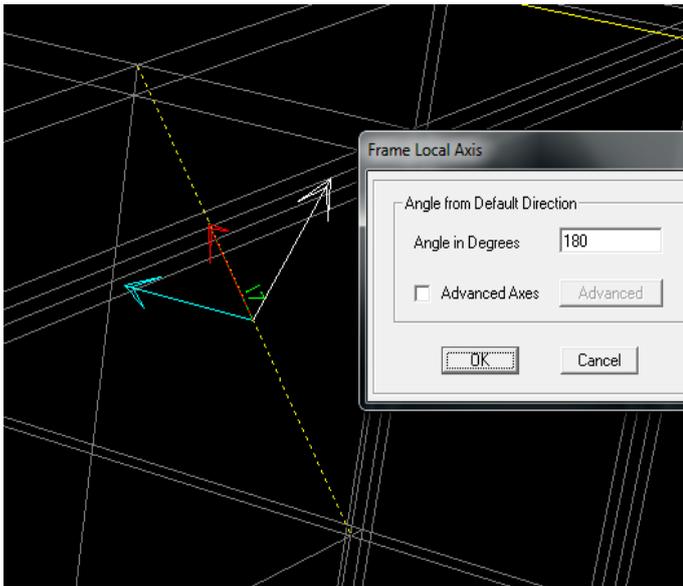


Barre 16 après le changement :

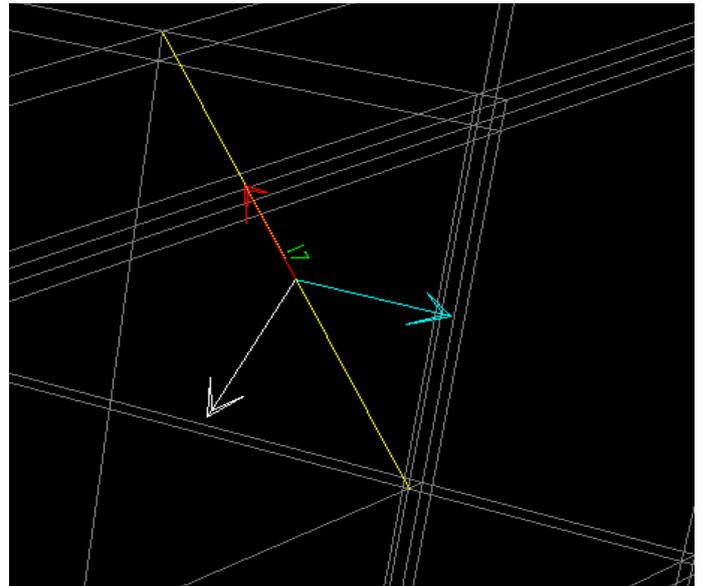


Barre 17 avant le changement :

Angle : 180°

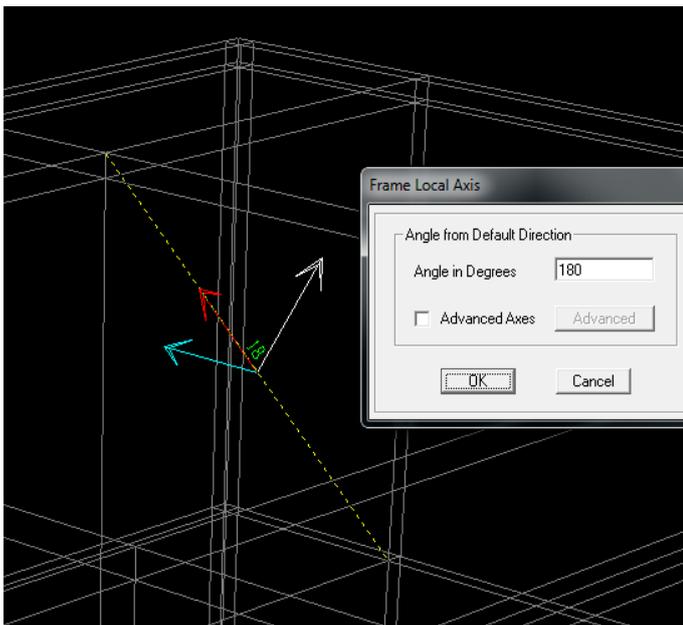


Barre 17 après le changement :

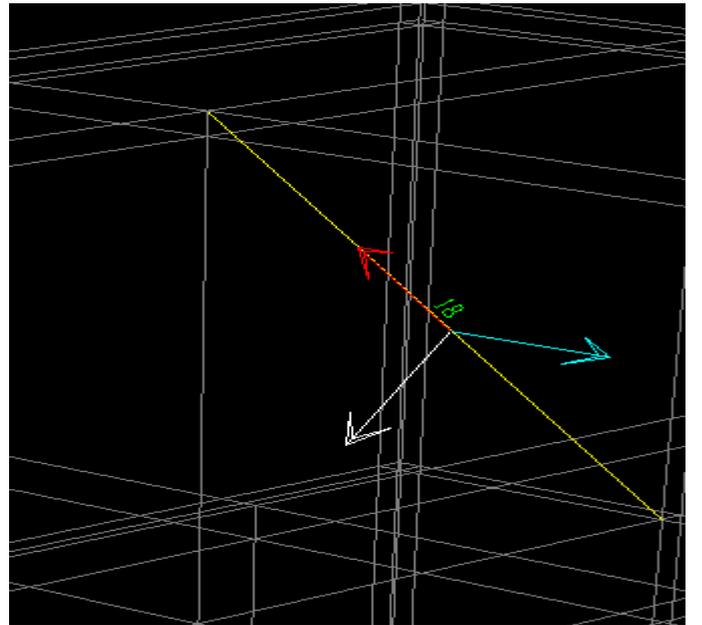


Barre 18 avant le changement :

Angle : 180°

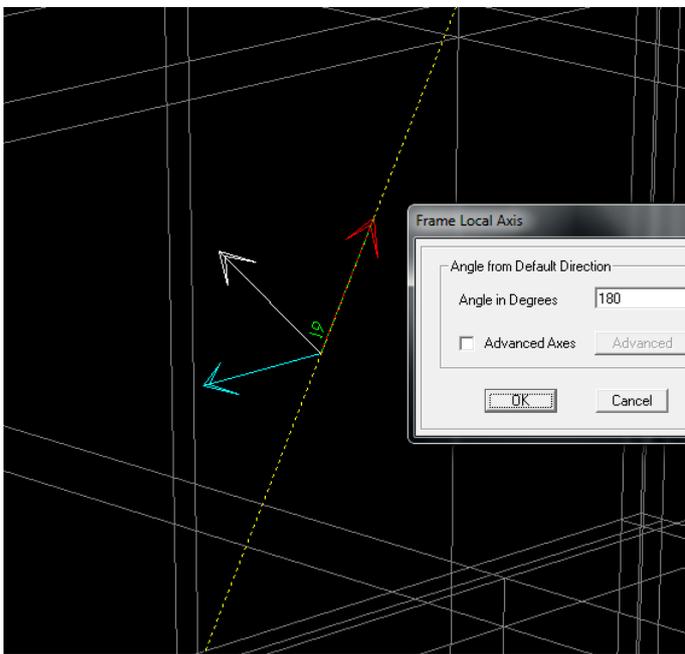


Barre 18 après le changement :

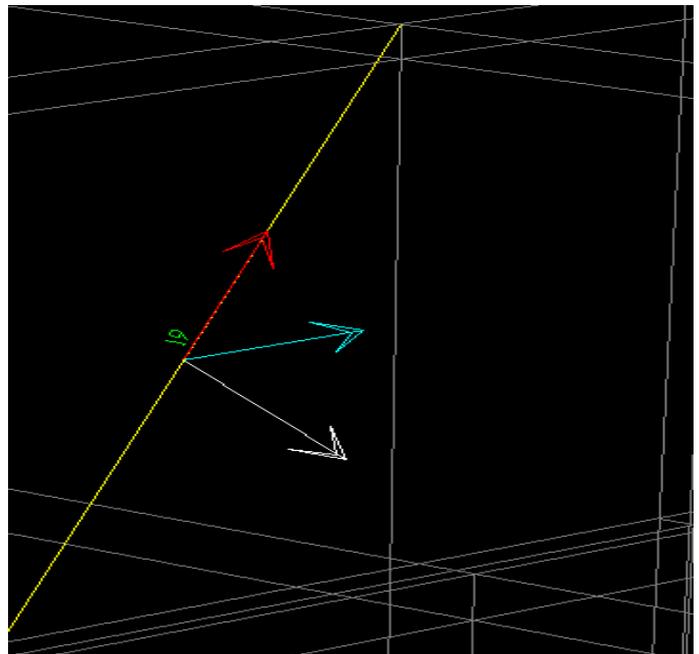


Barre 19 avant le changement :

Angle : 180°

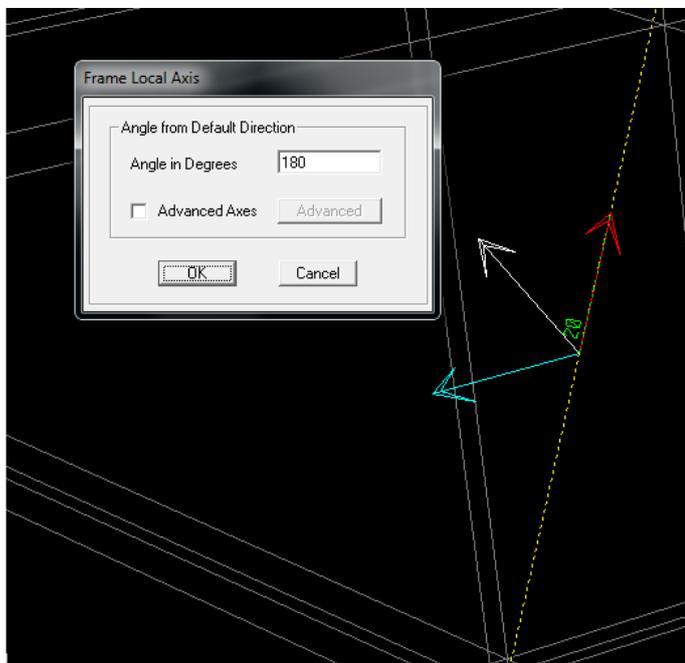


Barre 19 après le changement :

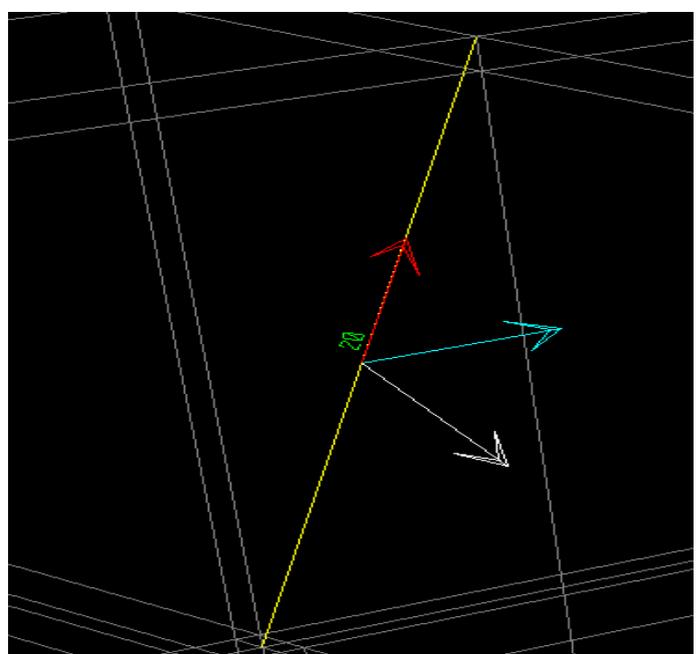


Barre 20 avant le changement :

Angle : 180°

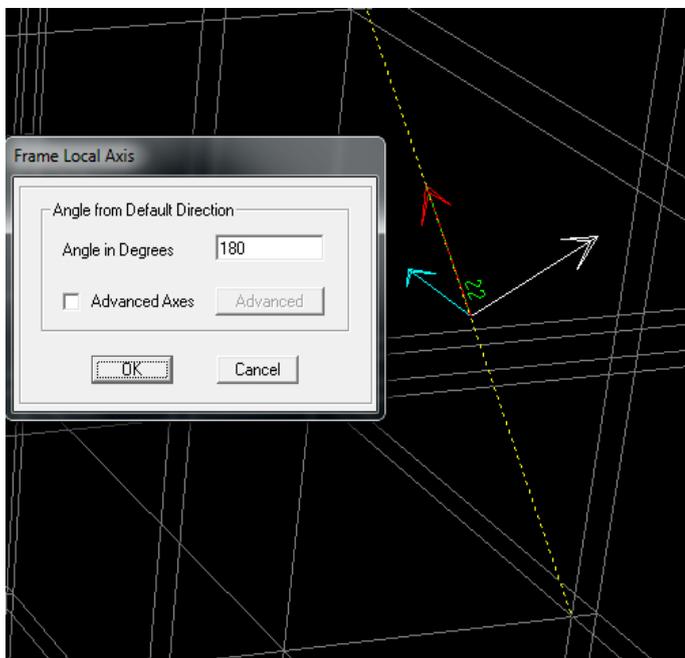


Barre 20 après le changement :

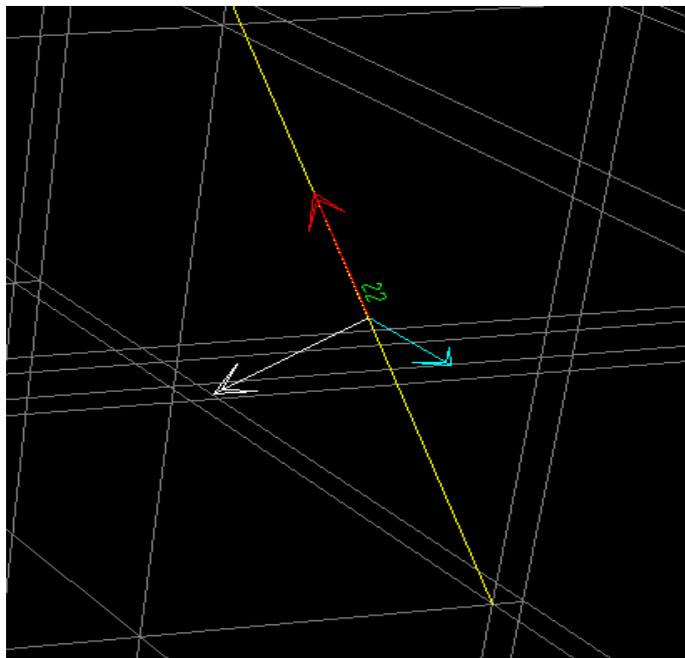


Barre 22 avant le changement :

Angle : 180°

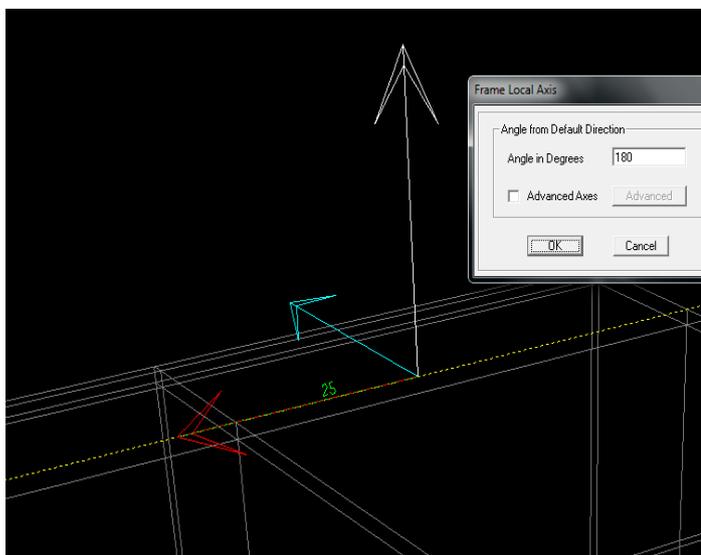


Barre 22 après le changement :

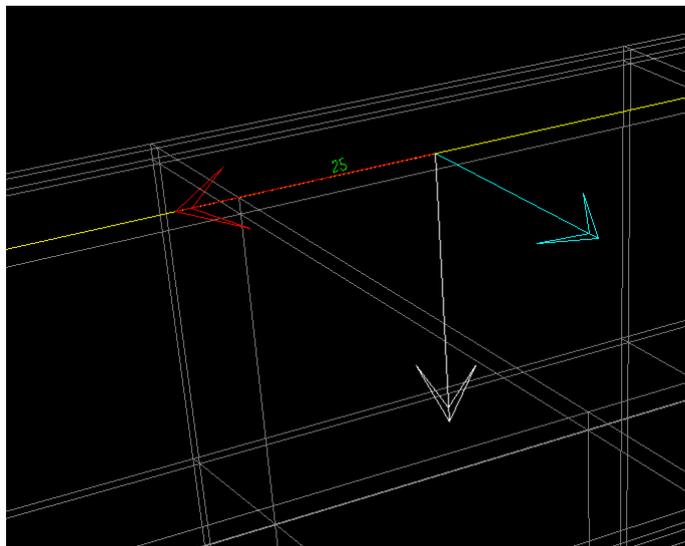


Barre 25 avant le changement :

Angle : 180°

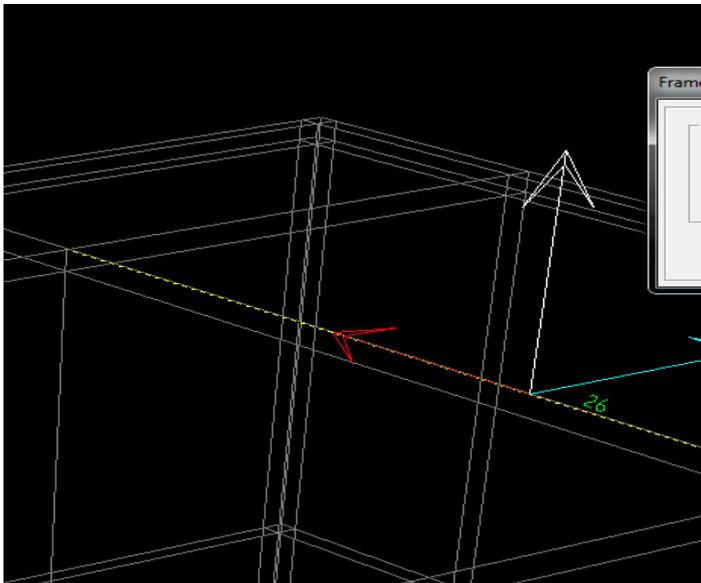


Barre 25 après le changement :



Barre 26 avant le changement :

Angle : 180°



Barre 26 après le changement :

