

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



**UNIVERSITE DE BLIDA 1**  
**FACULTÉ DE TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT DE GENIE MÉCANIQUE**



Projet de fin d'études pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN GENIE**  
**MECANIQUE**

**Option** : Fabrication Mécanique et Production

**THEME**

**INTRODUCTION D'ARTICULATIONS DANS  
LA MODELISATION DU SUPPORT D'UNE  
ENSACHEUSE PESEUSE AVEC SAP2000**

**Présenté par :**

**HANINI HAMZA ABDELLAH**

**KERBOUCHE OUSSAMA**

**Encadré par :**

**Pr. FERDJANI Hicheme    Promoteur**

**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 générale .....	1
-----------------------------	---

### **CHAPITRE 1 : Synthèse du précédent travail**

1.1 Introduction .....	3
1.2 Modélisation de la structure par SAP2000 .....	6
1.3 Vérification de la résistance du support .....	6
1.4 Les déplacements .....	7
1.5 Vérification de flambement .....	8
1.6 Calcul de la charge critique .....	10

### **Chapitre 2 : Modélisation d'un simple système d'articulation par SAP2000**

2.1 Introduction .....	12
2.2 Premier exemple .....	12
2.2.1 Modélisation avec SAP2000.....	12
A. Condition aux appuis .....	13
B. Isolation de moment.....	13
2.2.2 Résultats d'analyse par SAP2000 .....	14
A. Les forces axiales et les moments dans Barre (EG) .....	14
B. Les forces axiales et les moments dans Barre (GK) .....	15
2.3 Deuxième exemple .....	17
2.3.1 Modélisation .....	17
A. Dessiner la structure .....	17
B. Condition des appuis .....	18
C. Application de la force .....	19
D. Isolation de moment .....	19
2.3.2 Résultats d'analyse par SAP2000 .....	20
A. La force axiale et les moments dans la poutre (AB) .....	20
B. La force axiale et les moments dans la barre (CD) .....	21

## **Chapitre 3 : Modélisation de support par sap2000**

3.1 Introduction .....	25
3.2 Modélisation de la structure .....	25
A. Condition des appuis .....	26
B. Application des charges .....	27
C. Isolation de moment .....	28
D. Maillage .....	29

## **CHAPITRE 4 : Vérification de la résistance du support**

4.1 INTRODUCTION .....	31
4.2 Les efforts internes dans sap2000 .....	31
4.3 Propriétés de la section et efforts internes .....	33
4.4 Calcul des contraintes et vérification de la résistance .....	35
4.5 Exemple de calcul .....	36
(Barre N°7) : Flexion composée traction-compression plus torsion .....	36
(Barre N°2') : Flexion composée traction-compression plus torsion .....	39
4.6 Les contraintes équivalentes maximales .....	45
Comparaison avec l'ancien travail .....	46
4.7 Les déplacements .....	47
Comparaison avec l'ancien travail .....	49

## **Chapitre 5 : Vérification de flambement**

5.1 Introduction .....	51
5.2 Vérification de la résistance au flambage .....	51
5.3 Présentation des résultats .....	52
5.4 Calcul de la charge critique .....	53
Comparaison avec l'ancien travail .....	53
Conclusion générale.....	54

## Liste des figures :

Figure 1.1 : vue générale du support [1].

Figure 1.2: vue de face du support [1].

Figure 1.3 : vue de droite du support [1].

Figure 1.4 : vue de dessus du support [1].

Figure 1.5 : le maillage final.

Figure 1.6 : Déplacement maximal suivant X.

Figure 1.7 : Déplacement maximal suivant Y.

Figure 1.8 : Déplacement maximal suivant Z.

Figure 1.9 : facteurs de flambement.

Figure 1.10 : premier mode de flambement.

Figure 2.1: Premier exemple.

Figure 2.2 : Dessin de la structure.

Figure 2.3 : Appuis articulés.

Figure 2.4: isolation de moment.

Figure 2.5 : valeur de force axiale.

Figure 2.6 : valeur de Moment 2 et effort tranchant 3.

Figure 2.7 : valeur de Moment 3 et l'effort tranchant 2.

Figure 2.8 : valeur de force axiale.

Figure 2.9 : valeur de Moment 2 et effort tranchant 3.

Figure 2.10 : valeur de Moment 3 et effort tranchant 2.

Figure 2.11 : exemple composé .

Figure 2.12: Dessiner la structure.

Figure 2.13: encastrement sur (AB).

Figure 2.14: appui double sur (CD).

Figure 2.15: application de la force.

Figure 2.16 : isolation de moment.

Figure 2.17 : valeur de force axiale.

Figure 2.18: valeur de Moment 3 et l'effort tranchant 2.

Figure 2.19: valeur de Moment 2 et effort tranchant 3.

Figure 2.20 : valeur de force axiale.

Figure 2.21 : valeur de Moment 3 et effort tranchant 2.

Figure 2.22: valeur de Moment 2 et effort tranchant 3.

Figure 3.1: dessin de la structure.

Figure 3.2 : condition des appuis.

Figure 3.3: représentation des charges sur la structure.

figure 3.4 : la sélection des barres articulées-articulées.

Figure 3.5: isolation de moment.

Figure 4.1 : diagramme de torsion.

Figure 4.2 : diagramme de force axiale.

Figure 4.3 : diagramme de  $M_2$ .

Figure 4.4 : diagramme de  $M_3$ .

Figure 4.5 : Dimensions de la section [2].

Figure 4.6: Propriétés de la section.

Figure 4.7 : valeur de  $M_3$ .

Figure 4.8: valeur de  $M_2$ .

Figure 4.9 : valeur de  $N$  et  $M_t$

Figure 4.10 : valeur de  $M_3$

Figure 4.11 : valeur de  $M_2$

Figure 4.12 : valeur de N et  $M_t$

Figure 4.13 : valeur de  $M_3$

Figure 4.14 : valeur de  $M_2$

Figure 4.15 : valeur de N et  $M_t$

Figure 4.16 : contrainte équivalent MAX (barre 15 ')

Figure 4.17 : Déformée et déplacement maximal suivant X

Figure 4.18: Déformée et déplacement maximal suivant Y

Figure 4.19 : Déformée et déplacement maximal suivant Z

Figure 5.1 : Facteurs de flambement

Figure 5.2 : premier mode du flambement

## Liste des tableaux

Tableau 4.1: les propriétés de l'acier utilisé.

Tableau 4.2 : Contrainte équivalente maximale de chaque barre

Tableau 4.3 : comparaison des déplacements

# INTRODUCTION GENERALE

Avec l'avancement de la technologie les techniques de simulation et modalisation ne cessent d'évoluer et de se développer.

Le SAP2000 est l'un des logiciels récents les mieux adaptés pour les structures en charpente métallique, par comparaison avec d'autres logiciels comme, par exemple : AUTODESK, ANSYS, ABAQUS... Cela est dû aux avantages et facilités qu'il apporte avec ses bibliothèques intégrées de sections normalisées. Ce qui rend la modalisation plus simplifiée et plus pratique, et le calcul encore plus rapide.

Dans un précédent travail, Midoune [1] a modélisé un support métallique d'une ensacheuse-peseuse. Dans sa modélisation, il a supposé que tous les éléments ou barres de la structure sont parfaitement collées. Cette hypothèse simplificatrice est trop forte, car les liaisons réelles ne sont pas parfaites, et les différents éléments bougent les uns par rapport aux autres. De plus, la rigidité de la structure ainsi modélisée est surestimée.

Le but de ce travail est de reprendre celui de Midoune [1] en allégeant cette hypothèse. Nous proposons d'inclure des articulations à la place des liaisons parfaites, et de comparer les résultats obtenus avec ceux de Midoune [1] afin de quantifier l'influence de ce paramètre dans la modélisation.

Notre mémoire se divise en quatre chapitres :

- Le premier chapitre consiste à faire une modélisation de deux exemples simples de système d'articulation avec le SAP2000, afin d'illustrer la méthode.
- Le second chapitre est consacré aux procédures de modélisation du support avec SAP2000.
- Le troisième chapitre est dédié aux calculs de la contrainte pour chaque barre et la vérification de la résistance de la structure.
- Dans le dernier chapitre on étudie le flambement du support.
- Le manuscrit est finalisé par une conclusion générale et des perspectives.

# Chapitre 1

## Synthèse du précédent travail

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

### 1.1 Introduction :

A travers ce chapitre une description générale sera faite du précédent travail [1] qui a été déjà réalisé dont l'étude était basée principalement sur le calcul du support d'une ENSACHEUSE PESEUSE avec SAP2000.

Le support est constitué en charpente métallique. La géométrie et les dimensions sont présentées sur les figures **1.1 ; 1.2 ; 1.3 ; 1.4**

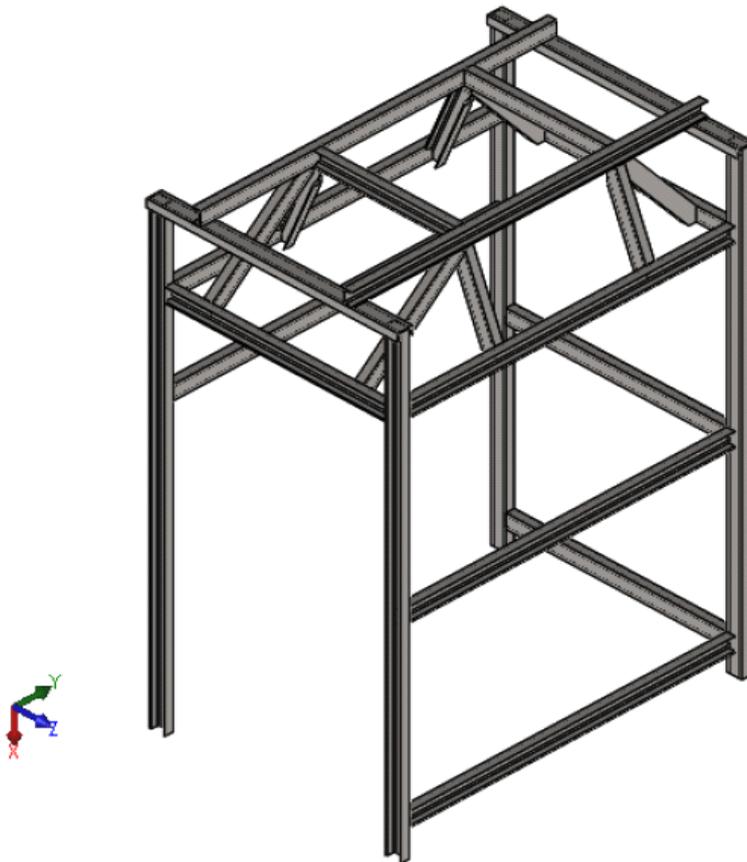


Figure 1.1 : vue générale du support [1]

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

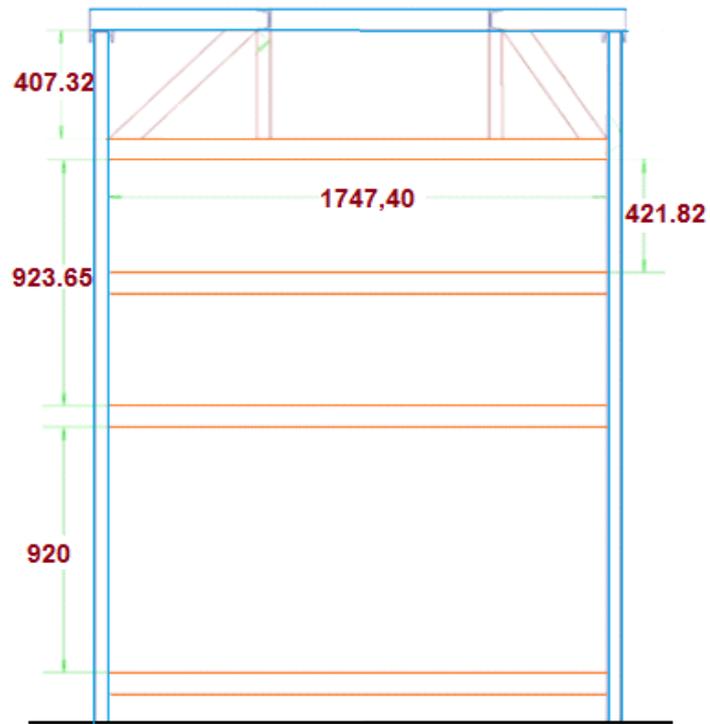


Figure 1.2: vue de face du support [1]

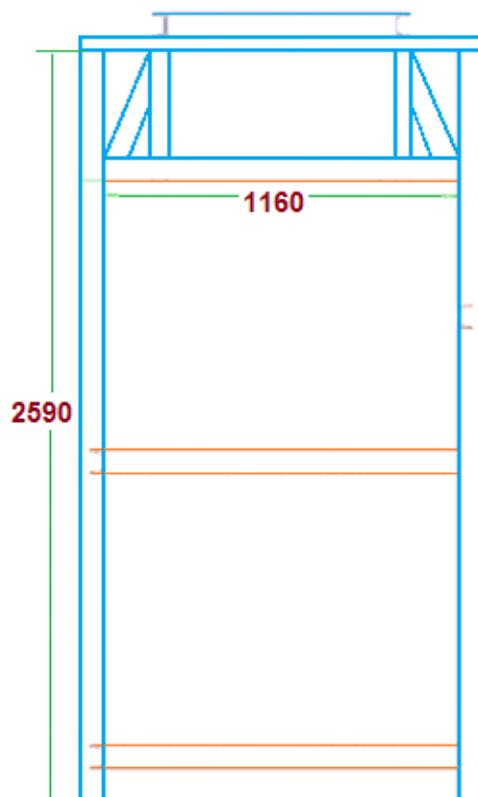


Figure 1.3 : vue de droite du support [1]

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

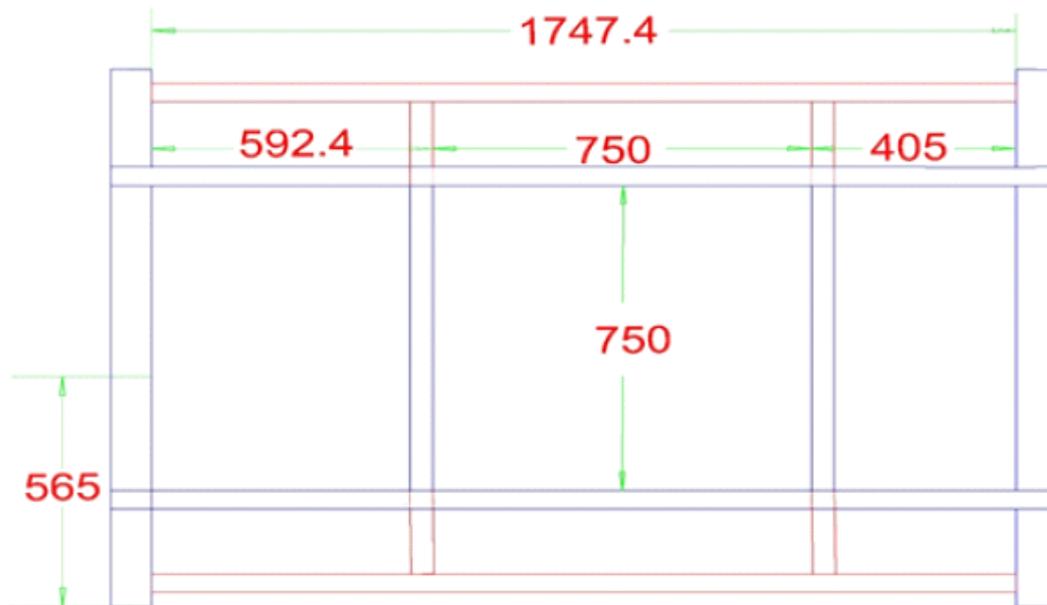


Figure 1.4 : vue de dessus du support [1]

### 1.2 Modélisation de la structure par SAP2000 :

Les procédures de la modélisation ont été effectuées par SAP2000 en utilisant la méthode des éléments finis et l'application des contraintes dont on aboutit à ce résultat final comme on peut le visualiser sur la figure(1.5) 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.

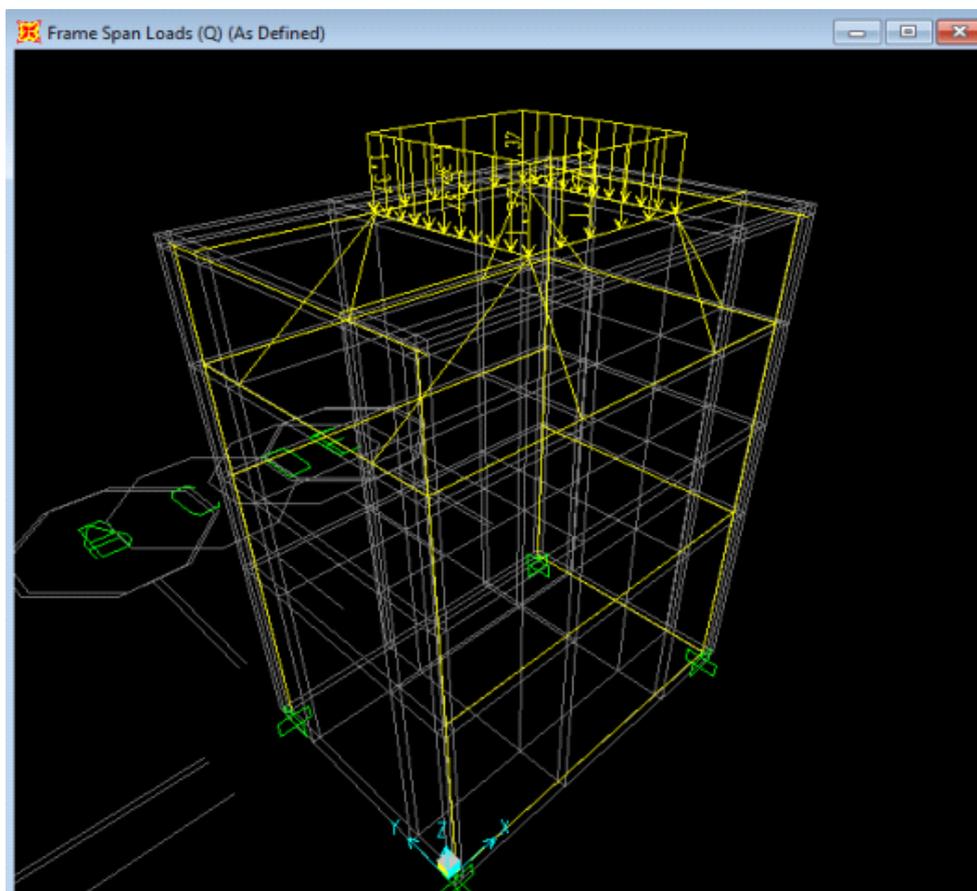


Figure 1.5 : le maillage final

### 1.3 Vérification de la résistance du support

La vérification de la résistance du support est la première étape à effectuer une fois la modélisation est terminée. Pour évaluer la résistance nous devons calculer les contraintes et à partir de celles-ci on détermine la contrainte équivalente de Von Mises. La contrainte équivalente maximale trouvée est de 9.19 MPa.

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

### 1.4 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 1.6, 17 et 1.8 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

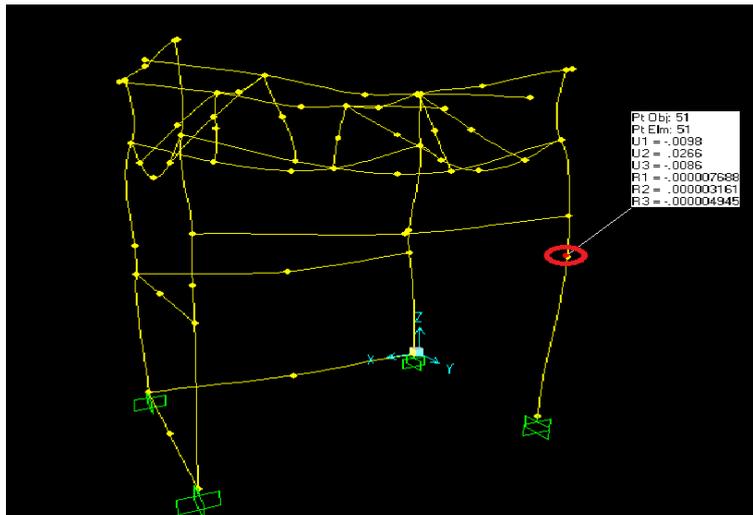


Figure 1.6 : Déformée et déplacement maximal suivant X

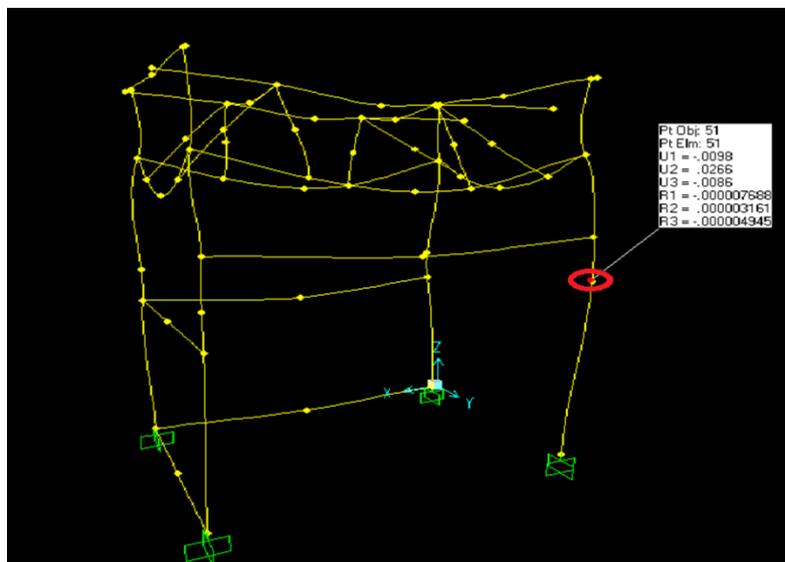


Figure 1.7 : Déformée et déplacement maximal suivant Y

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

Déplacement maximal suivant l'axe Z :  $Z_{MAX} = 0,0942$  mm (Figure 1.8).

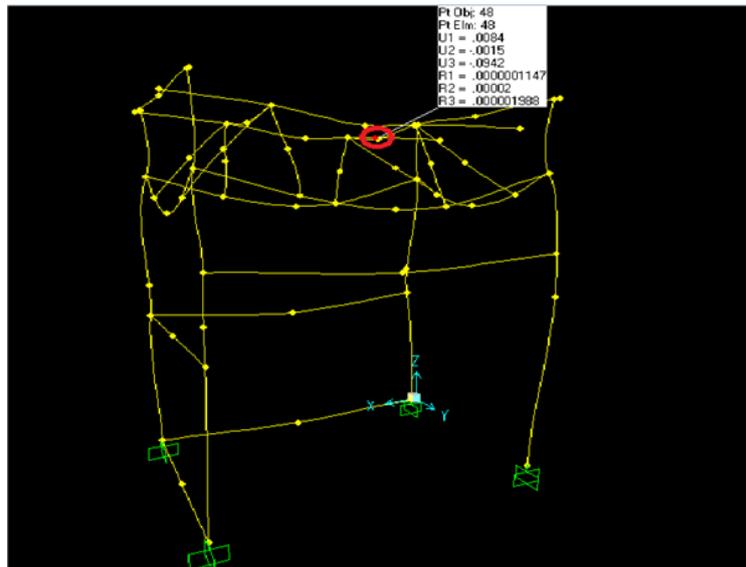


Figure 1.8 : Déformée et déplacement maximal suivant Z.

### 1.5 Vérification de flambement :

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

$$N_c = f_f \times p$$

Avec :

$N_c$  : la charge critique

$f_f$  : facteur de flambement

$p$  : Charge extérieure égale à 1.37 N / mm

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

Après les calculs effectués par le SAP2000 on arrive à ce résultat final qui est décrit dans la figure (1.9) :

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	1200.140896
	BUCK1	Mode	12	1210.50241

Record: 1 of 12

Add Tables... Done

Figure 1.9 : facteurs de flambement

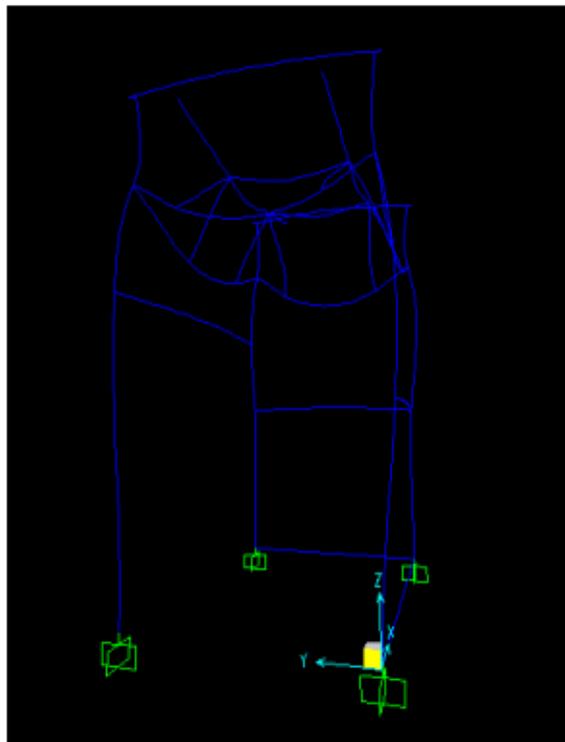


Figure 1.10 : premier mode de flambement

## Chapitre 1 : Synthèse du précédent travail

### 1.6 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.

## Chapitre 2

# Modélisation d'un simple système d'articulation par SAP2000

## 2.1 Introduction :

Le but de ce chapitre est de montrer comment modéliser une articulation avec SAP2000. Nous exposerons la méthode sur deux exemples simples.

## 2.2 Premier exemple :

Nous présentons ci-dessous le premier exemple constitué de deux barres de mêmes dimensions articulées en E et K et soumises à une force F en G (Figure 2.1).

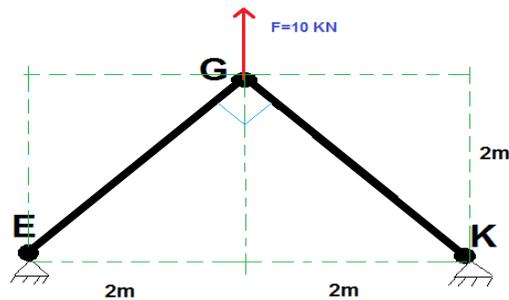


Figure 2.1: Premier exemple.

### 2.2.1 Modélisation avec SAP2000 :

Le dessin de la structure est présenté sur la Figure (2.2) ci-dessous.

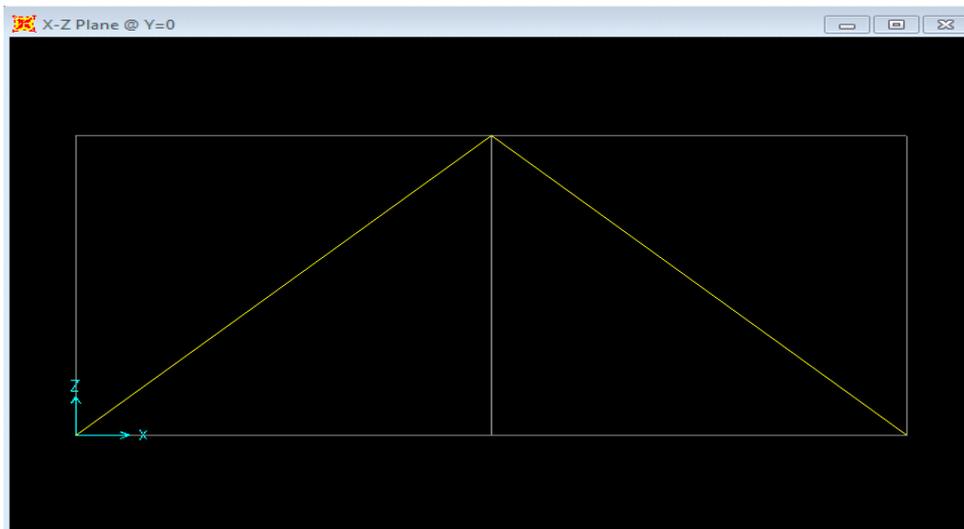


Figure 2.2 : Dessin de la structure

### A. Condition aux appuis :

Nous précisons que les appuis sont des articulations (Figure 2.3).

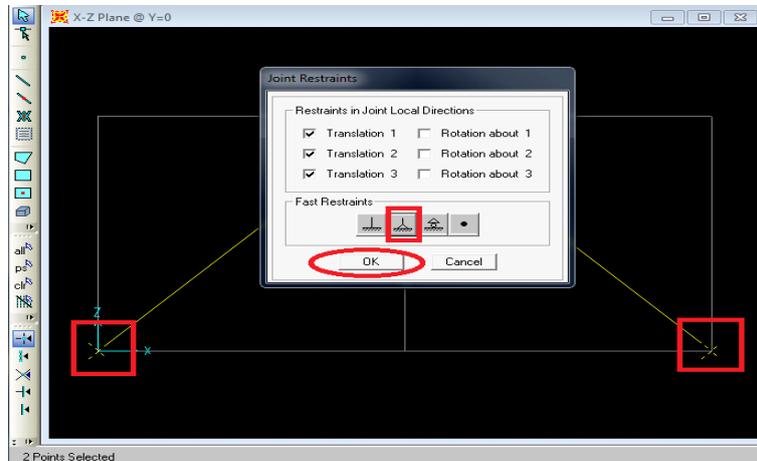


Figure 2.3 : Appuis articulés.

### B. Isolation de moment :

Dans l'exemple sur lequel nous travaillons, il n'y a pas des moments sur la structure, parce que c'est un système articulaire.

Alors Pour isoler des moments de ce programme sap2000, on sélectionne tout la structure et en cliquant **assign frame releases** (Figure 2.4)

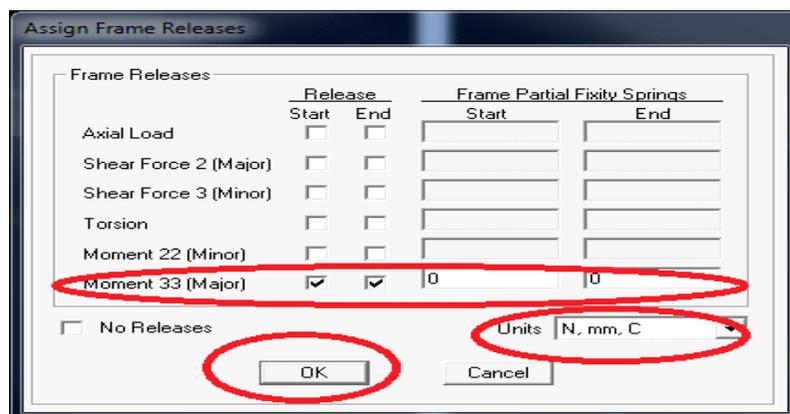


Figure 2.4: isolation de moment

### 2.2.2 Résultats d'analyse par SAP2000 :

#### A. Les forces axiales et les moments dans Barre (EG) :

La force axiale de la barre (EG) est égale à 7071,07 N (Figure 2.5)

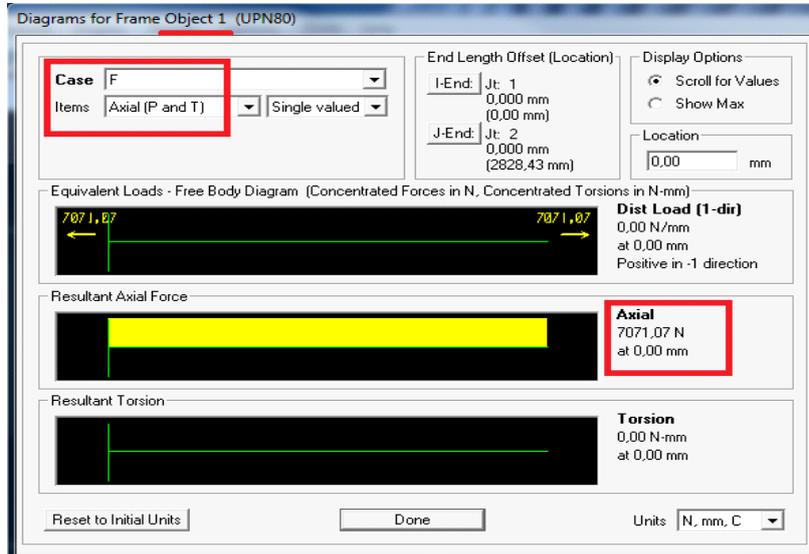


Figure 2.5 : valeur de force axiale

Le Moment M2 et l'effort tranchant V3 de la barre (EG) est nul (Figure 2.6)

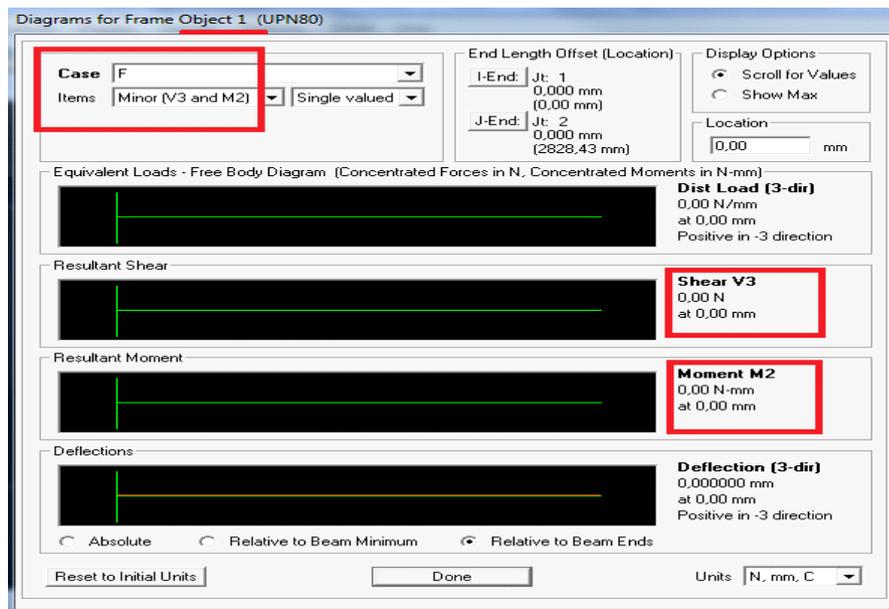


Figure 2.6 : valeur de Moment 2 et effort tranchant 3

## Chapitre 2: modélisation d'un simple système d'articulation par sap2000

Le Moment M3 et l'effort tranchant V2 de barre (EG) est nul (Figure 2.7)

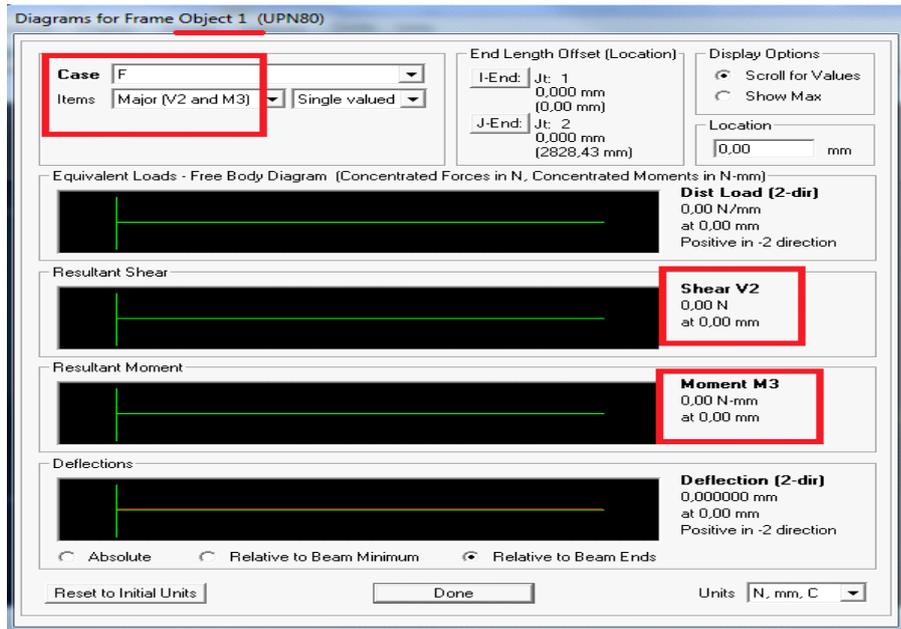


Figure 2.7 : valeur de Moment 3 et l'effort tranchant 2

### B. Les forces axiales et les moments dans Barre (GK) :

La force axiale de la barre (GK) est égale à 7071,07 N (Figure 2.8)

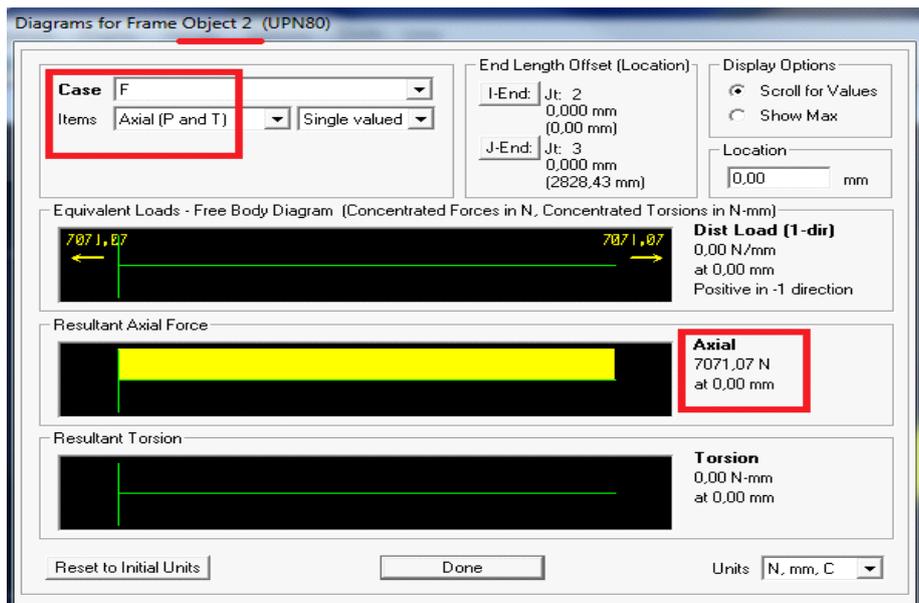


Figure 2.8 : valeur de force axiale

## Chapitre 2: modélisation d'un simple système d'articulation par sap2000

Le Moment M2 et l'effort tranchant V3 de la barre (GK) est nul (Figure 2.9)

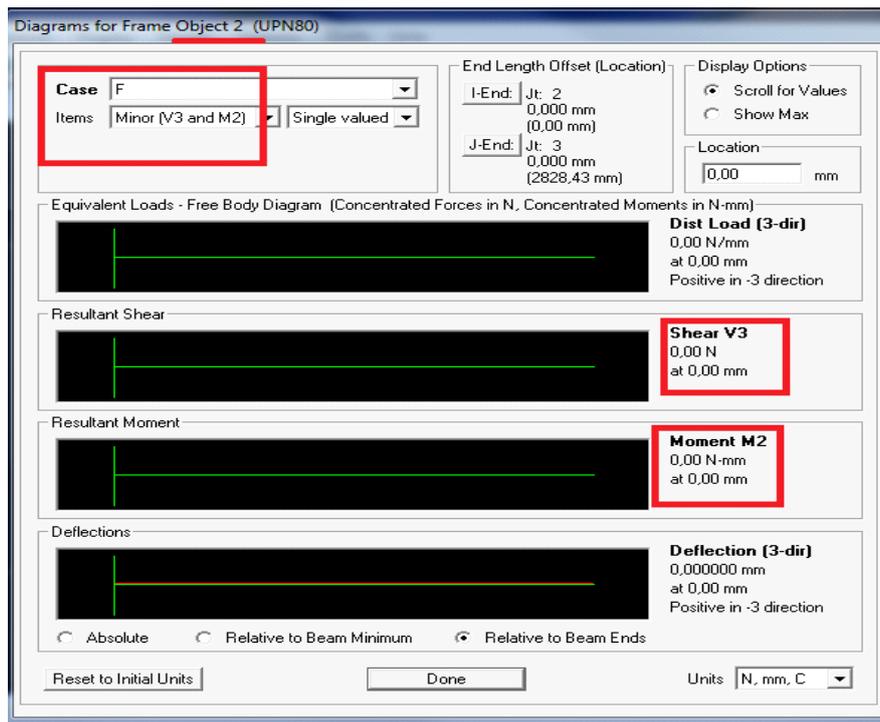


Figure 2.9 : valeur de Moment 2 et effort tranchant 3

Le Moment M3 et l'effort tranchant V2 de barre (GK) est nul (Figure 2.10)

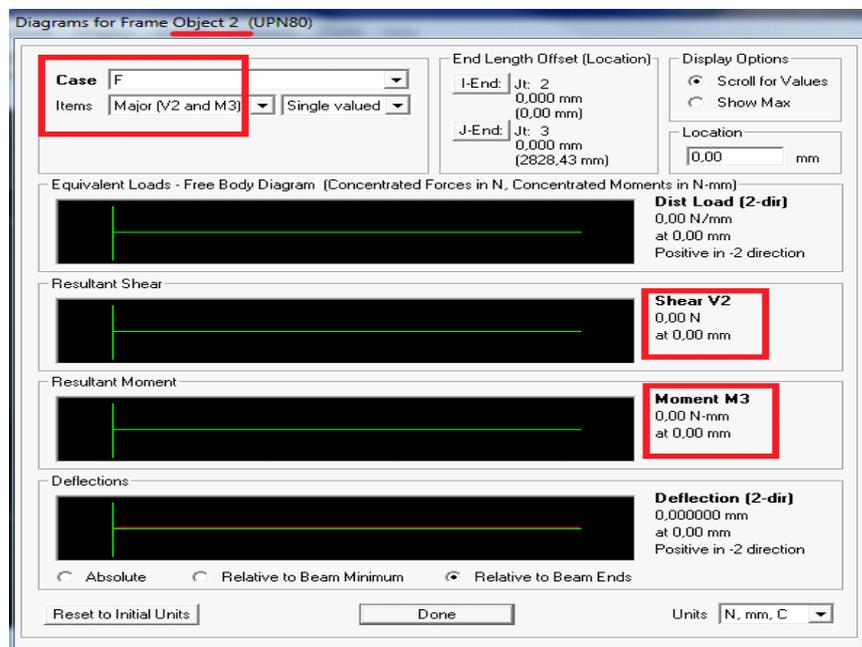


Figure 2.10 : valeur de Moment 3 et effort tranchant 2

Nous constatons que les Moments fléchissant M2 et M3 sont nuls, cela veut dire que les éléments EG et GK sont des barres articulée-articulée.

### 2.3 Deuxième exemple :

Nous présentons ci-dessous la modélisation du deuxième exemple. Il se compose d'une poutre avec une barre (Figure 2.11)

AB : poutre , CD : barre

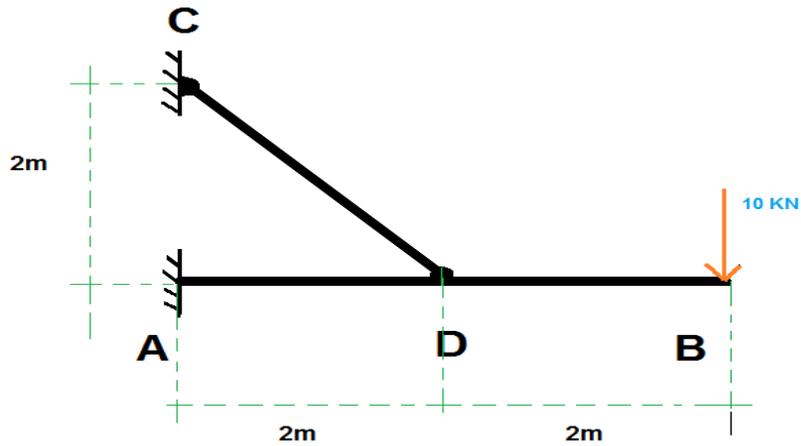


Figure 2.11 : exemple composé

#### 2.3.1 Modélisation

##### A. Dessiner la structure :

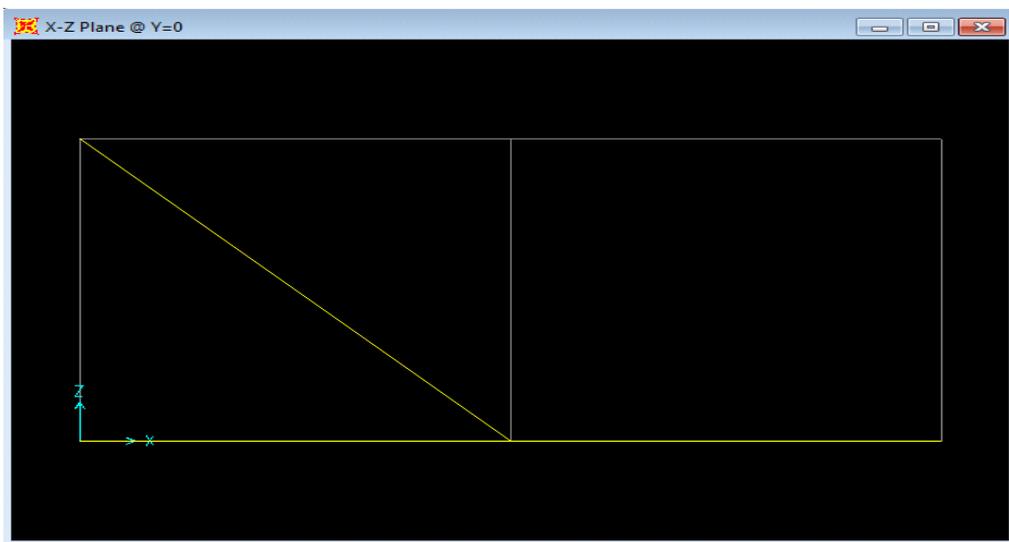


Figure 2.12: Dessiner la structure

**B. Condition des appuis :**

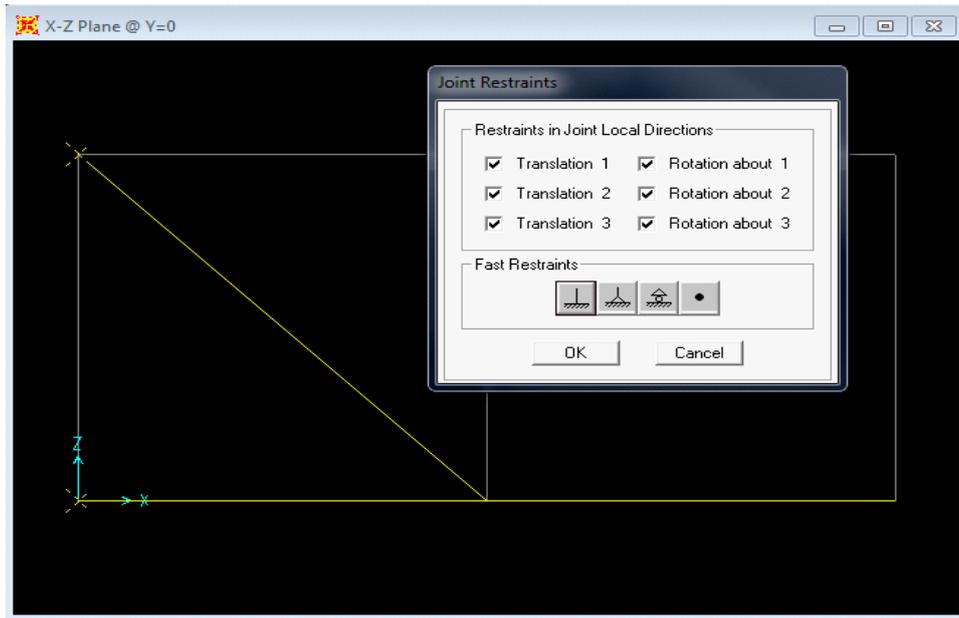


Figure 2.13: encastrement sur (A)

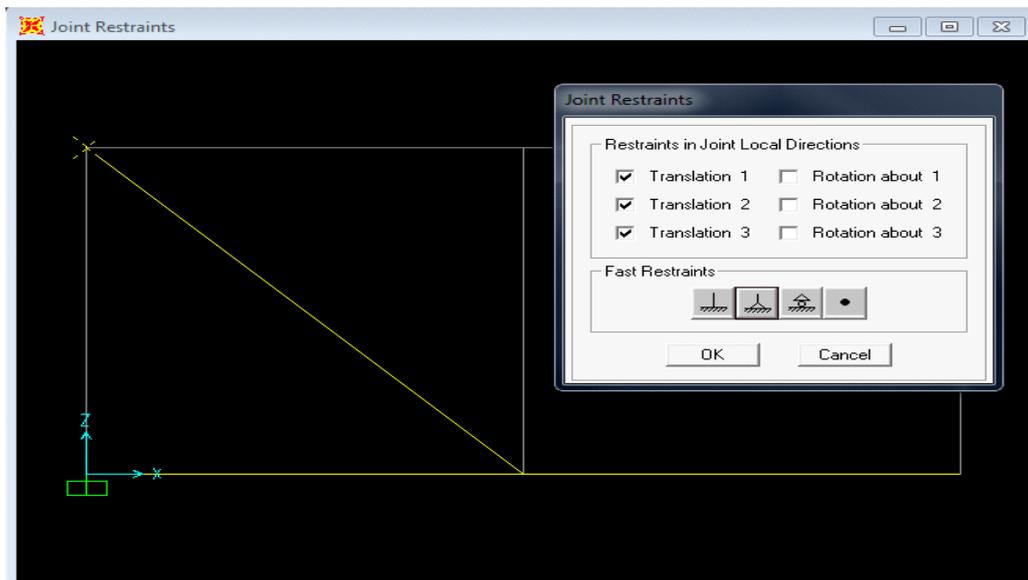


Figure 2.14: appui double sur (C)

### C. Application de la force

Nous appliquons une force concentrée en D.

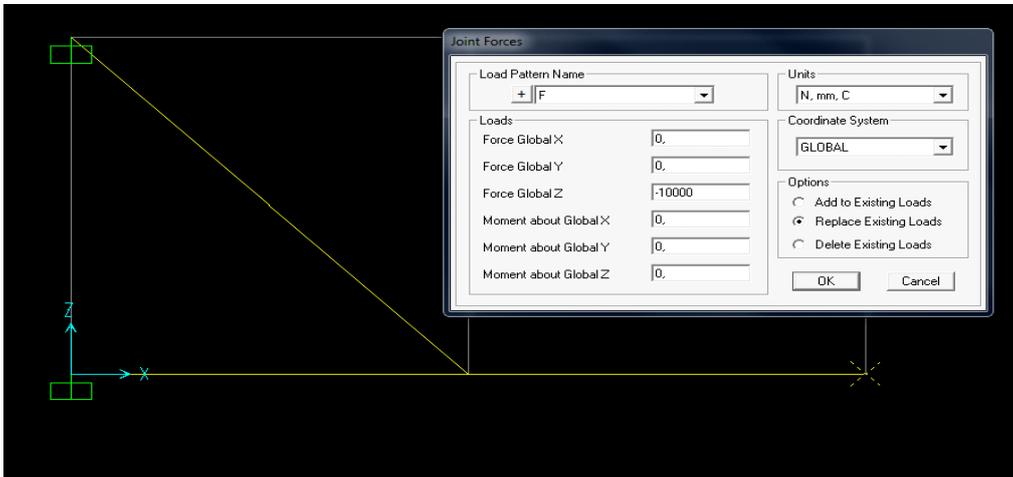


Figure 2.15: application de la force

### D. Isolation de moment :

Il n'y a pas de moment sur la barre CD, parce que c'est un système articulaire, on sélectionne la barre CD et en cliquant **assing frame releases** (Figure 2.16)

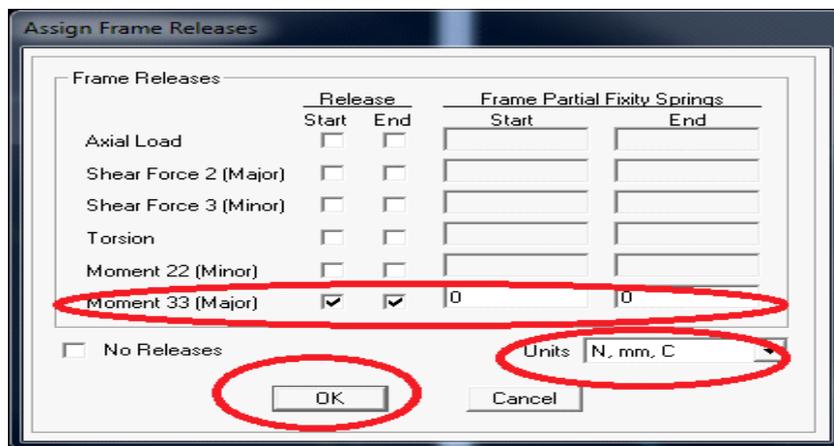


Figure 2.16 : isolation de moment

### 2.3.2 Résultats d'analyse par SAP2000 :

#### A. La force axiale et les moments dans la poutre (AB) :

La force axiale constante sur [AD] est égale à -23109,29 N et sur [DB] est égale à zéro (Figure 2.17)

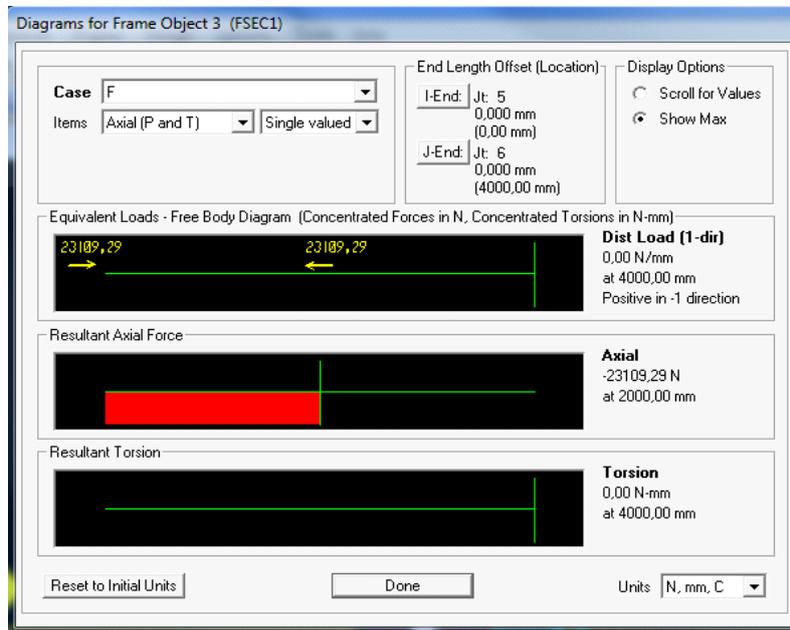


Figure 2.17 : valeur de force axiale

La valeur maximale de M est égale 20000000 N est située en  $x = 2000$  mm (Figure 2.18)

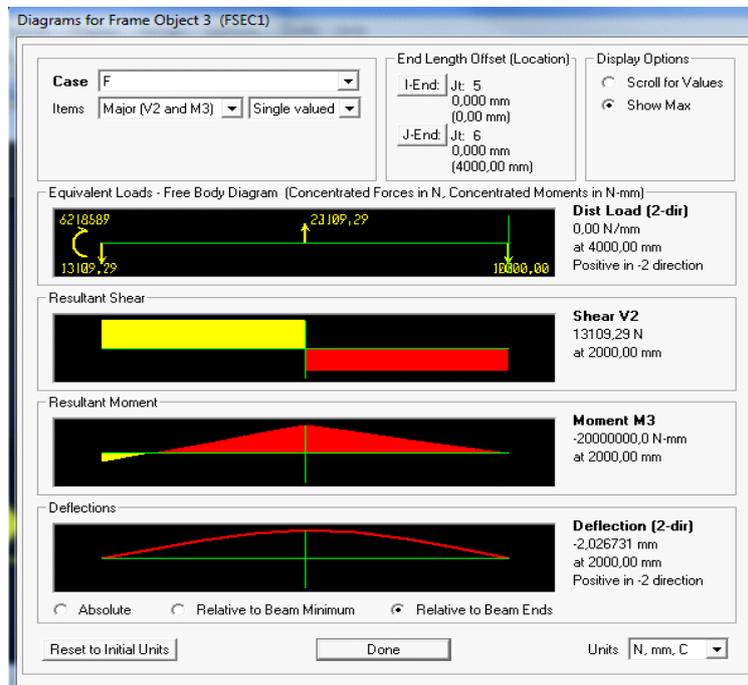


Figure 2.18: valeur de Moment 3 et l'effort tranchant 2

## Chapitre 2: modélisation d'un simple système d'articulation par sap2000

Le Moment M2 et l'effort tranchant V3 de la barre (AB) est égale à zéro (Figure 2.19)

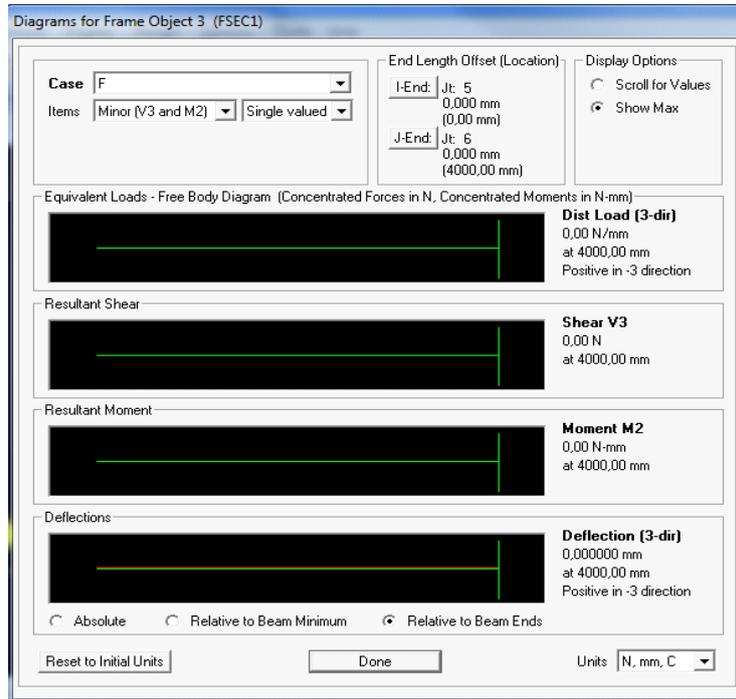


Figure 2.19: valeur de Moment 2 et effort tranchant 3

### B. La force axiale et les moments dans la barre (CD) :

La force axiale de la barre (CD) est égale à 32681,48 N (Figure 2.20)

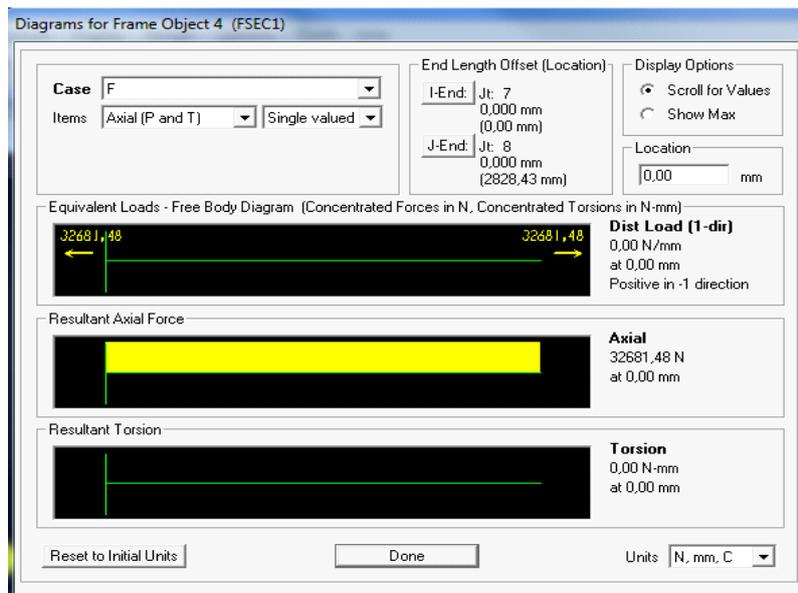


Figure 2.20 : valeur de force axiale

## Chapitre 2: modélisation d'un simple système d'articulation par sap2000

Le Moment et l'effort tranchant de la barre (CD) est égale à zéro (Figure 2.21)

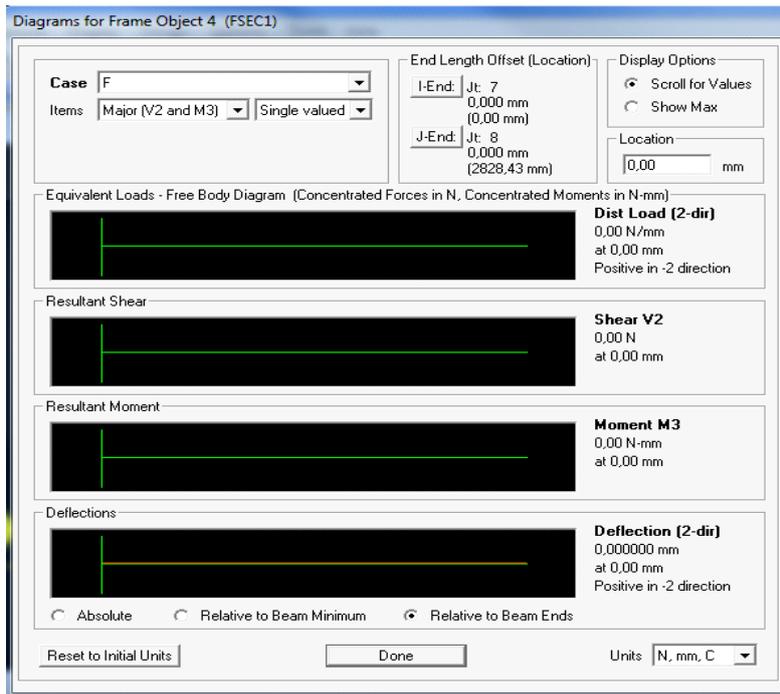


Figure 2.21 : valeur de Moment 3 et effort tranchant 2

Le Moment M2 et l'effort tranchant V3 de la barre (CD) est égale à zéro (Figure 2.22)

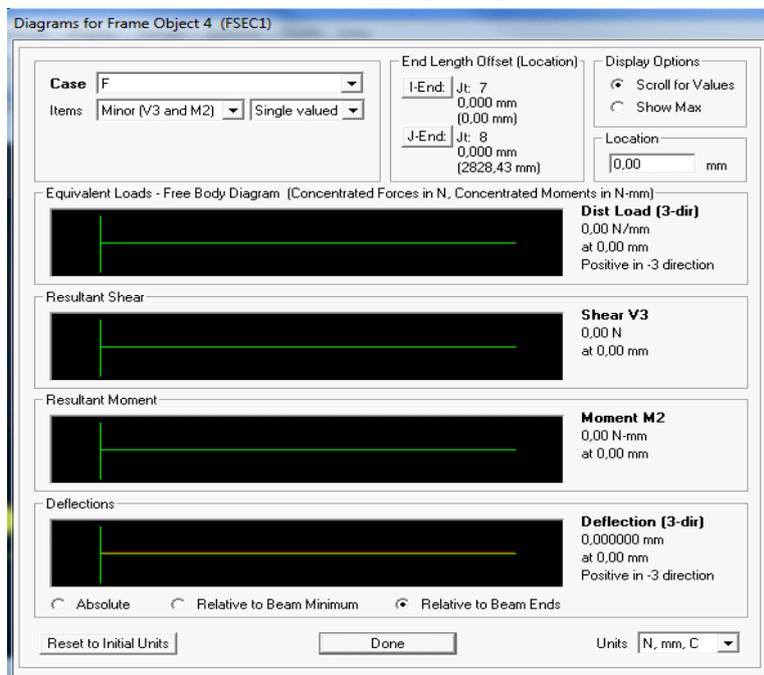


Figure 2.22: valeur de Moment 2 et effort tranchant 3

## Chapitre 2: modélisation d'un simple système d'articulation par sap2000

En aboutissant ainsi aux résultats finals, nous constatons que les moments fléchissant  $M_2$ ,  $M_3$  et les forces tranchantes ne sont pas nulles sur (AB) cependant elles le sont sur (CD), de la On en déduit que (AB) est une poutre et (CD) est une barre articulée-articulée.

# Chapitre 3

## Modélisation du support par SAP2000

### 3.1 Introduction

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

### 3.2 Modélisation de la structure :

Nous présentons la structure modélisée sur la Figure3.1 ci-dessous. Les détails de la modélisation sont présentés dans [1].

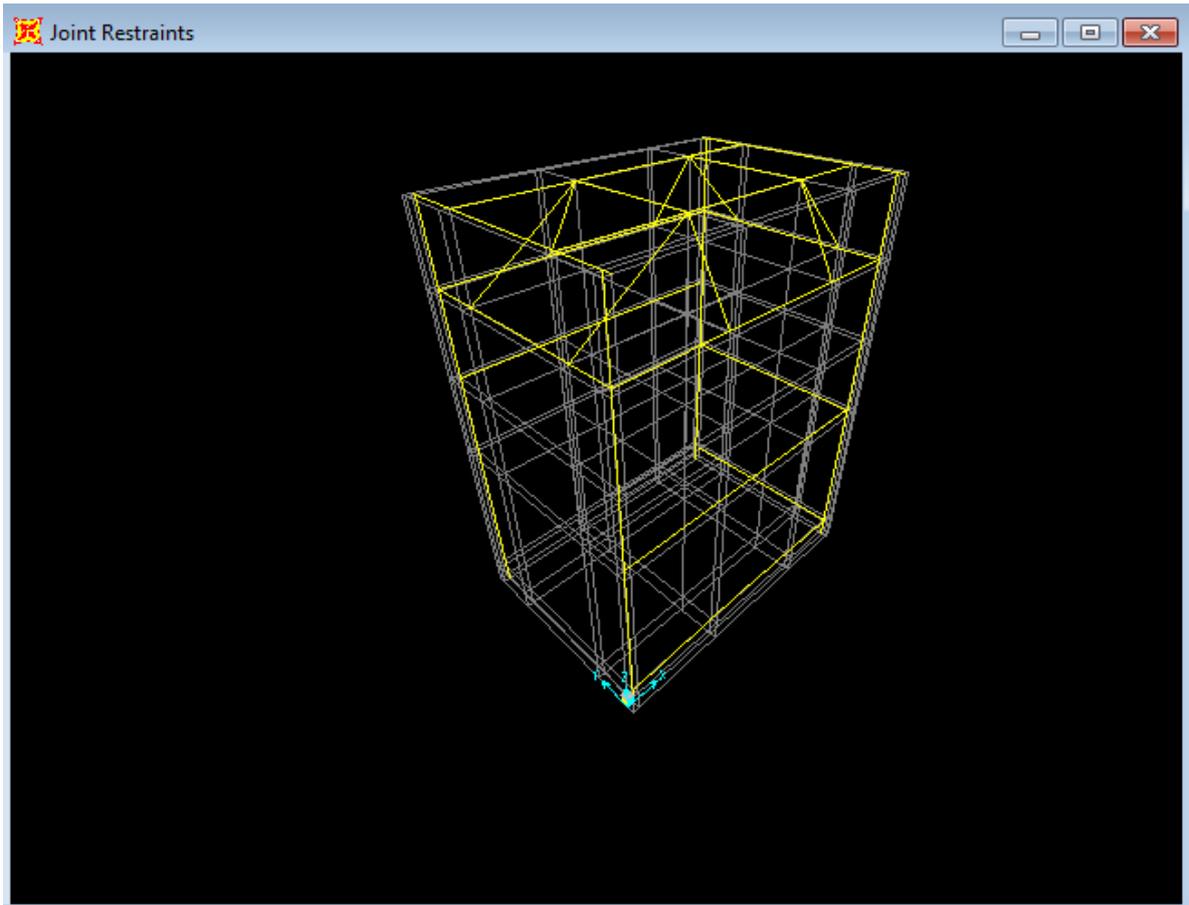


Figure 3.1: dessin de la structure

**A. Condition des appuis :**

Nous supposons que les pieds de la structure sont encastrés au sol (Figure3.2).

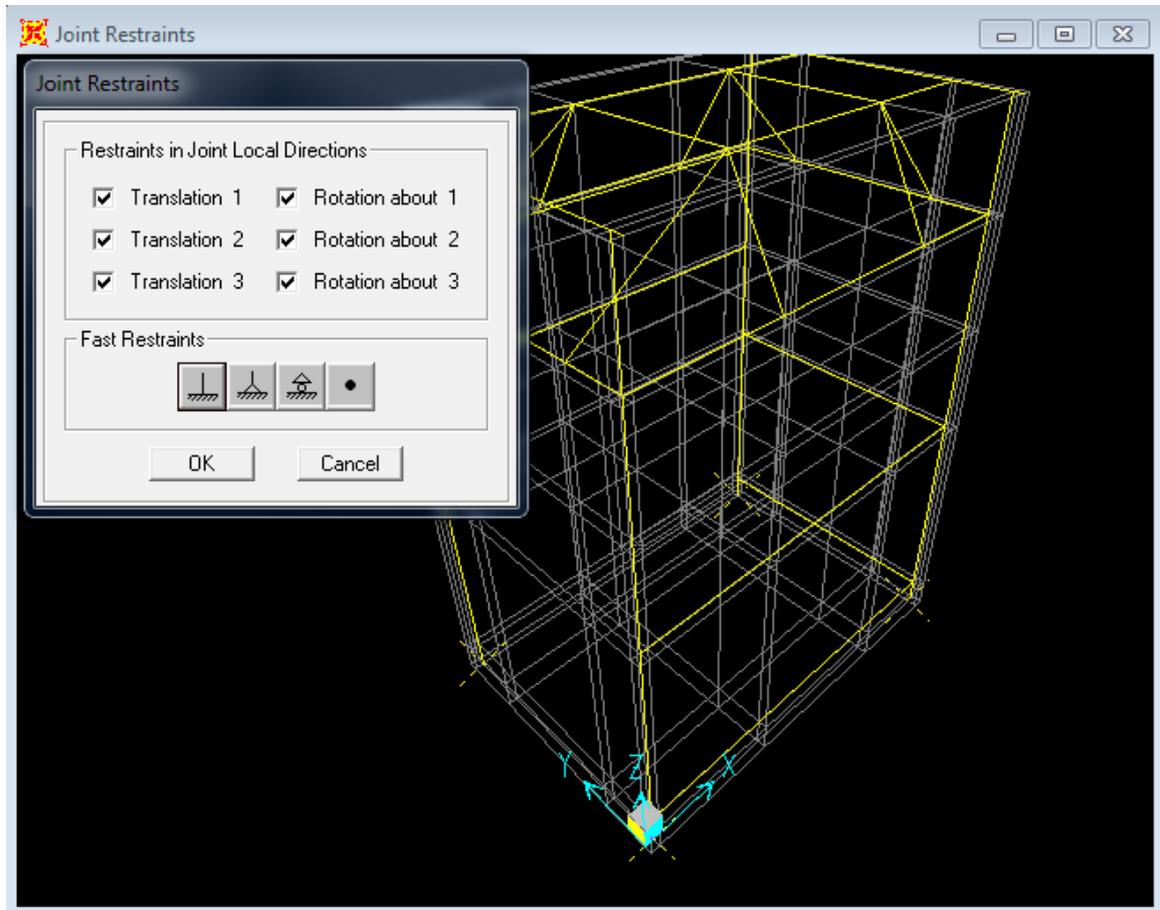


Figure 3.2 : condition des appuis

## B. Application des charges

Les charges appliquées sont une charge répartie de 1.37 N/mm et le poids propre (Figure 3.3).

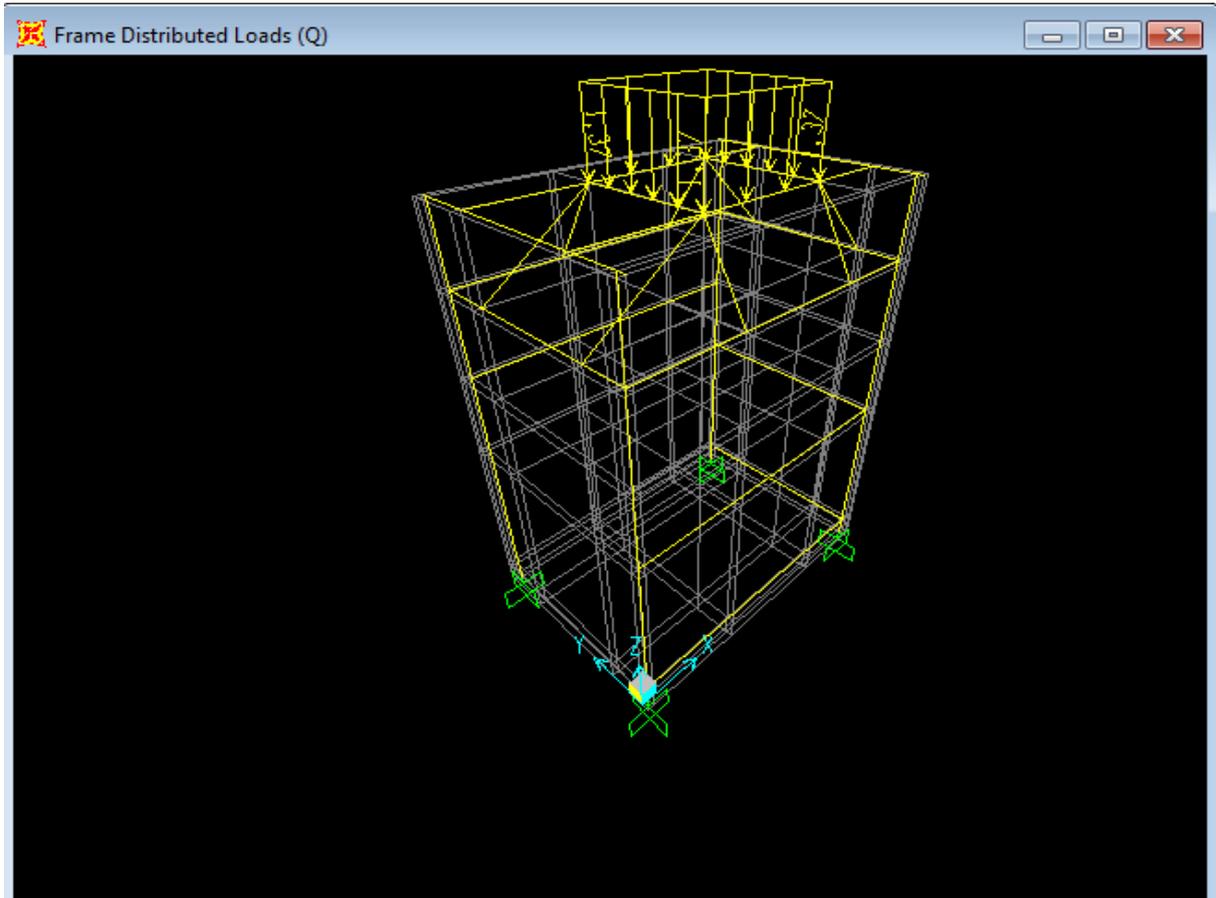


Figure 3.3: représentation des charges sur la structure

#### C. Introduction des articulations :

Le problème qui se pose est le choix de l'emplacement des liaisons articulées dans la structure. Plusieurs choix sont possibles. Dans le travail précédent, toutes les liaisons étaient parfaites, ce qui donne rigidité maximale à la structure. Afin de bien mettre en évidence l'effet des articulations, nous choisissons d'introduire des articulations dans toutes les liaisons, sauf avec le sol. On commence par sélectionner toutes les barres concernées (figure3.4).

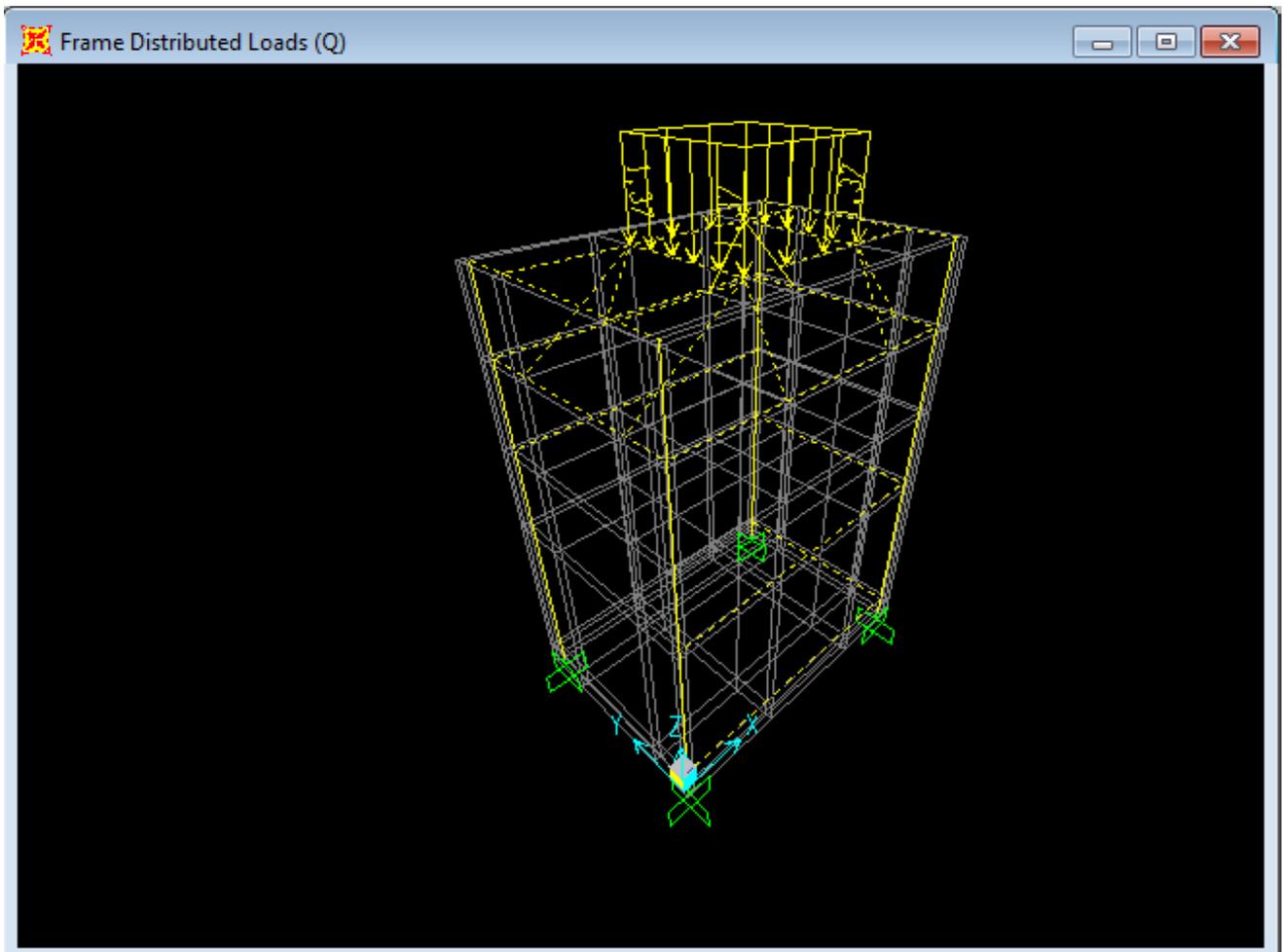


figure3.4 : la sélection des barres articulées-articulées.

## Chapitre 3: modélisation du support par sap2000

L'introduction des articulations n'a pas été faite dans le travail précédent, nous détaillons donc la procédure avec SAP2000.

Alors Pour isoler des moments de ce programme sap200, en choisit **assing** → **frame** → **releases** (Figure 3.5)

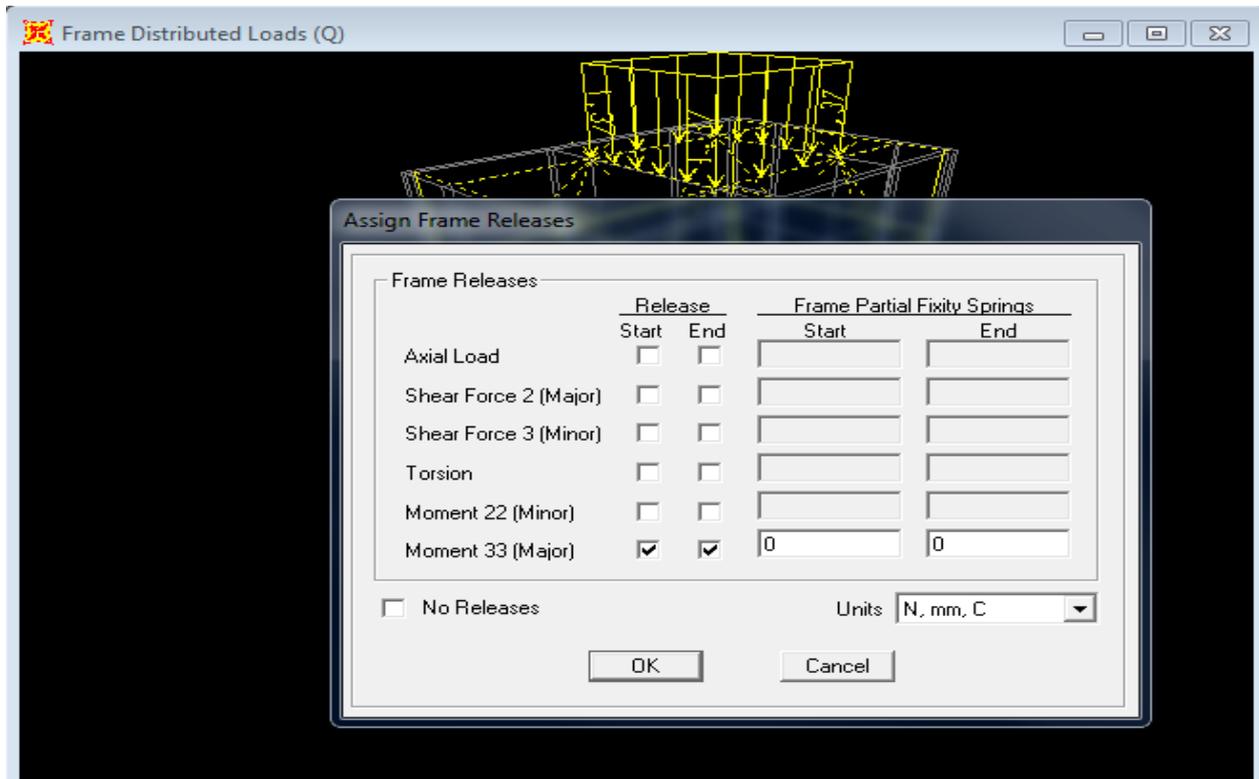


Figure 3.5: isolation de moment

**Remarque :** Les axes locaux 2 et 3 de la section sont présentés sur La Figure 4.5.

### D. Maillage

#### Diviser les barres

Nous avons coupé les barres pour faciliter la lecture des résultats à partir d'un diagramme

On divise chaque barre en 2 éléments.

Les résultats du calcul seront présentés dans le prochain chapitre.

# CHAPITRE 4

## Vérification de la résistance du support

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

### 4.1 INTRODUCTION

Le sap2000 calcule les efforts internes (les moments, les forces normales, les efforts tranchants...) dans chaque barre de notre structure. Pour vérifier la résistance, nous devons calculer les contraintes équivalente de Von Mises, c'est ce que nous allons faire dans ce chapitre.

### 4.2 Les efforts internes dans sap2000 :

Les efforts internes obtenus sont présentés sur les figures 4.1 ; 4.2 ; 4.3 et 4.4 ;

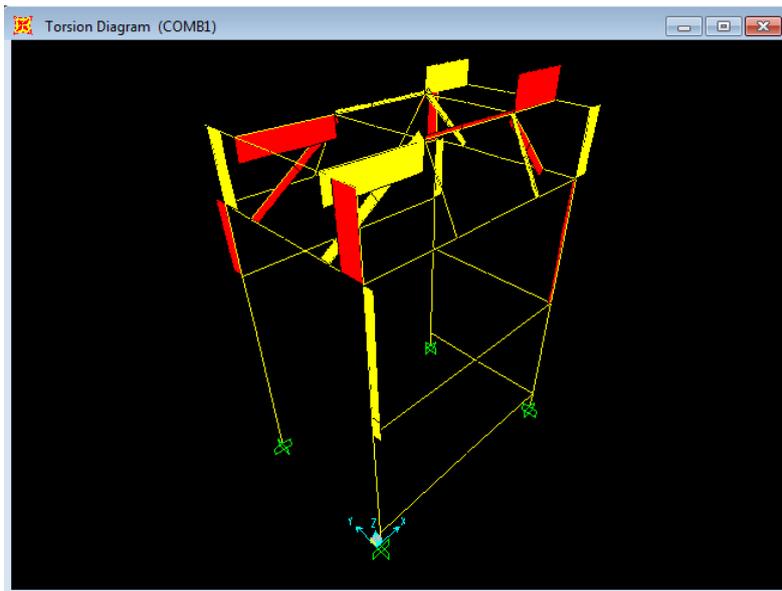


Figure 4.1 : diagramme du moment de torsion  $M_t$

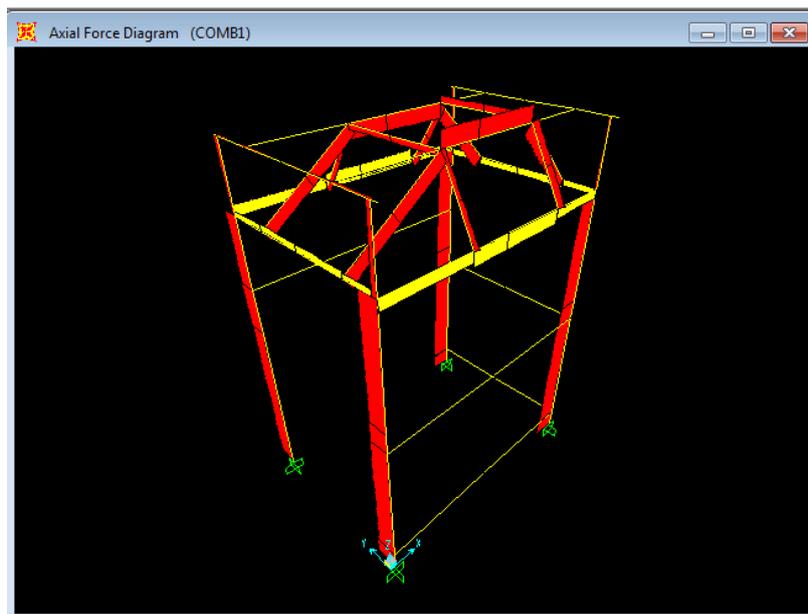


Figure 4.2 : diagramme de force axiale

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

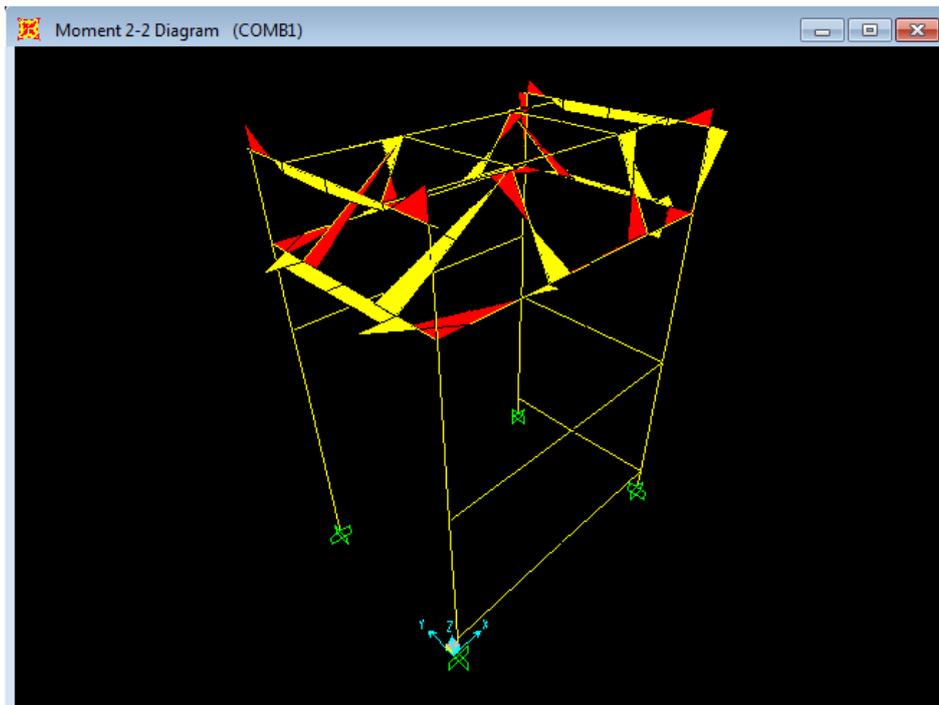


Figure 4.3 : diagramme de M2

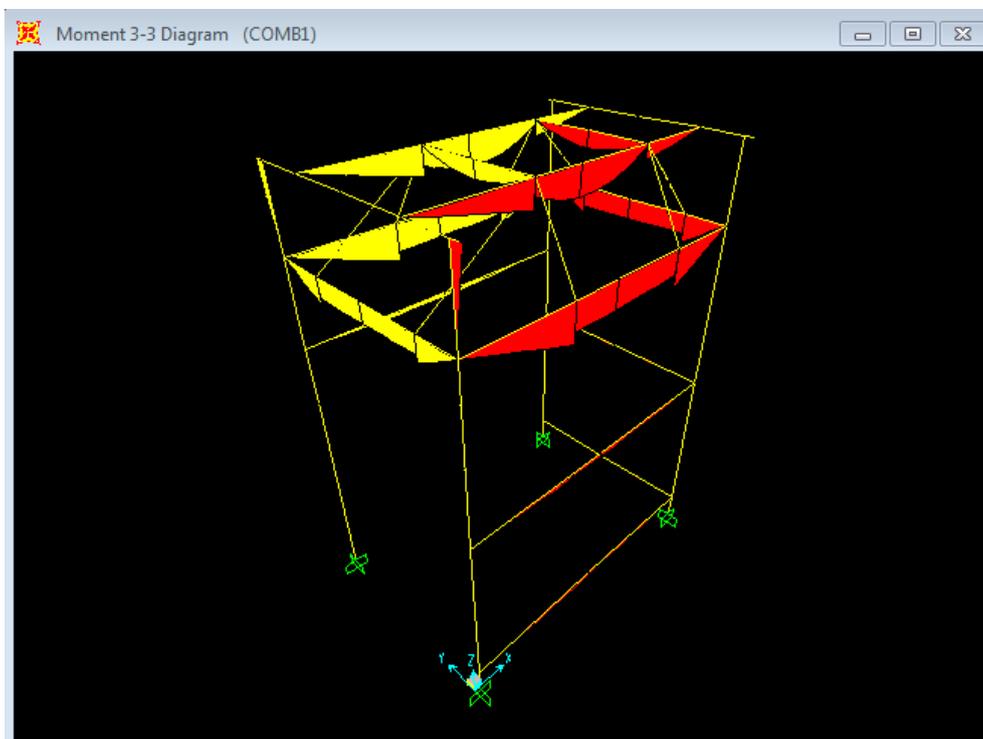


Figure 4.4 : diagramme de M3

Les axes locaux 2 et 3 sont présentés sur la figure 4.5.

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

### Remarque :

- Sur certains éléments, les efforts internes sont trop faibles pour apparaître sur les figure.
- On présente les valeurs des efforts internes de chaque barre en Annexe.

### 4.3 Propriétés de la section et efforts internes

Pour calculer les contraintes, nous avons besoin des dimensions de la section

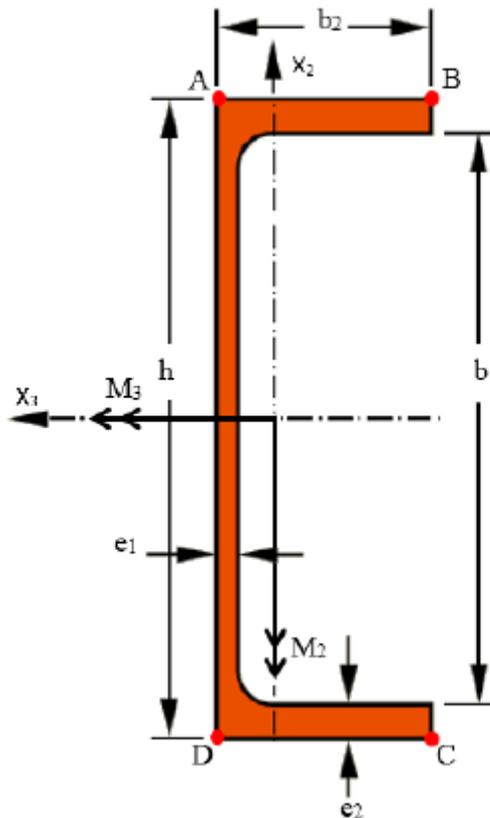


Figure 4.5 : Dimensions de la section [2]

$M_2$  et  $M_3$  Représentent respectivement les moments fléchissant par rapport à  $x_2$  et  $x_3$ . Leurs sens sur la Figure 4.5 sont positifs selon la convention de signe de SAP2000 [2].

### Remarques

- Les efforts tranchants n'ont pas été représentés, car ils seront négligés dans la suite des calculs.
- L'effort normal  $N$  positif est sortant perpendiculaire à la Figure 4.5
- Le moment de torsion  $M_t$  autour de l'axe  $x_1$ , normal à la figure, n'a pas été représenté.

Les dimensions de la Figure 4.5 sont données ci-dessous :

$e_1 = 6 \text{ mm}$ ;  $e_2 = 8 \text{ mm}$ ;  $b_1 = 64 \text{ mm}$ ;  $b_2 = 45 \text{ mm}$ .

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Les propriétés de la section, calculées par SAP2000, sont données ci-dessous (figure 4.6):

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

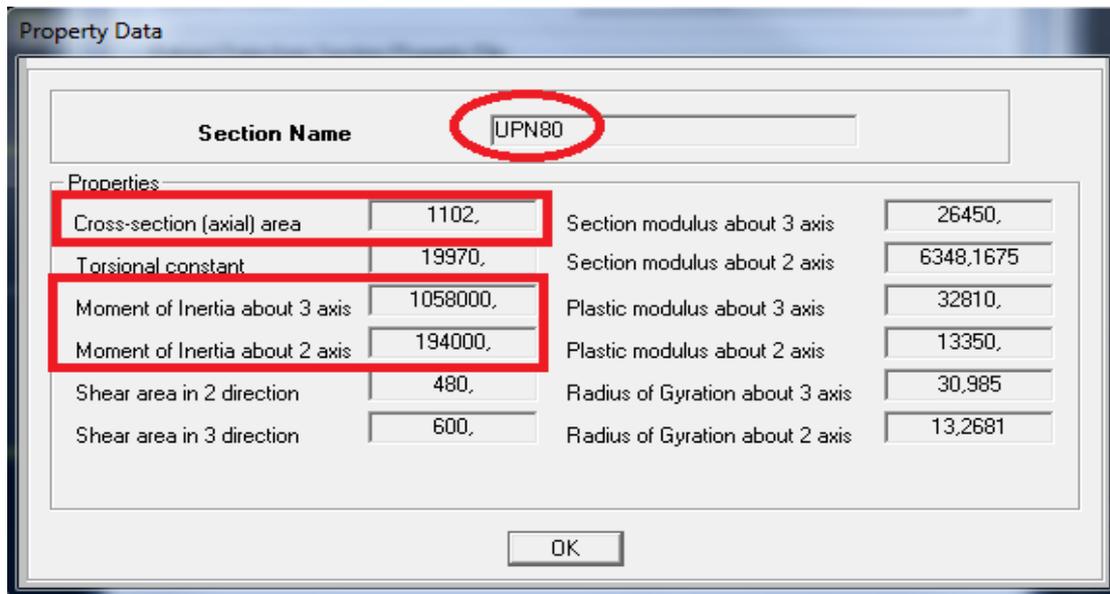


Figure 4.6: Propriétés de la section

Le matériau choisi pour toutes les pièces de notre structure est l'acier **A36**, dont les propriétés sont présentées dans le (tableau 4.1)

Propriétés mécaniques	Densité $\text{kg/m}^3$	Limite d'élastique $\text{MPa}$	Module De YONG $\text{MPa}$	Coefficient de poisson
<b>A36</b>	7854.86	248.2113	199947.98	0.3

Tableau 4.1: les propriétés de l'acier utilisé.

#### 4.4 Calcul des contraintes et vérification de la résistance :

Toutes les poutres de la structure sont généralement en sollicitations composées. Le cas le plus général est la « Flexion composée traction au 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 composée, on a besoin des coordonnées des points extrêmes de la section (A, B, C et D) (Figure 4.5). Elles sont données ci-dessous (en mm) :

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

La contrainte normale en flexion composée 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  $\sigma$  aux points A, B, C et D (Figure 4.5) avec la formule (1) et on détermine  $\sigma_{max}$  (en valeur absolue). On calcule également  $\tau$  avec la formule (2). On ensuite calcule la contrainte équivalente de Von Mises à l'aide de la formule suivante :

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

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  $\sigma$  aux points A, B, C et D, la contrainte de cisaillement  $\tau$  et  $\sigma_{eq}$ . La valeur maximale obtenue de  $\sigma_{eq}$  pour toutes les sections est comparée à la contrainte admissible.

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

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

### 4.5 Exemple de calcul

Afin d'illustrer la méthode explicitée ci-dessus, nous présentons dans ce paragraphe les calculs détaillés pour deux barres, en flexion composée traction au compression plus traction

La numérotation des barres est expliquée en Annexe 01

- **(barre N°7)** : Flexion composée traction-compression plus torsion

Nous avons choisi cette barre parce que les efforts internes maximums sont situés au même point (figure4.7) (Figure 4.8) (Figure 4.9).

$X = 0 \text{ mm}$

$$M_{2max} = -7,03 \text{ N.mm} \quad ; \quad M_{3max} = -35407,60 \text{ N.mm} \quad ; \quad N = -2,77 \text{ N}$$

$$M_t = 1,25 \text{ N.mm}$$

La force axiale et le moment de torsion sont constants.

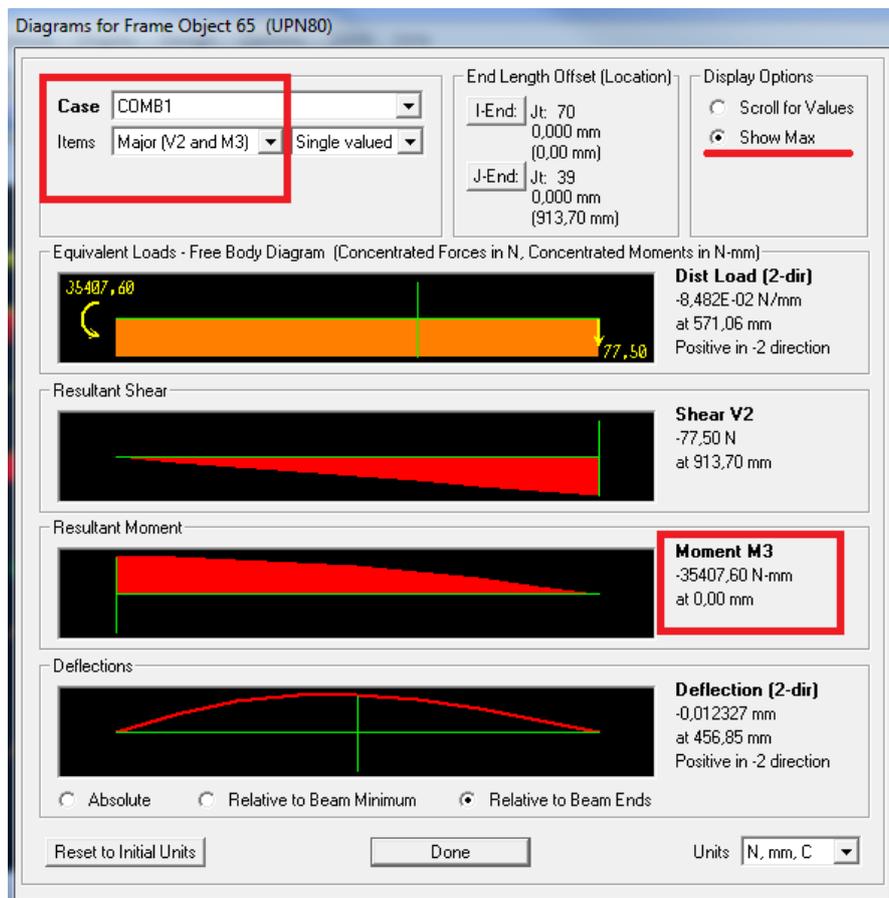


Figure 4.7 : valeur de  $M_3$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

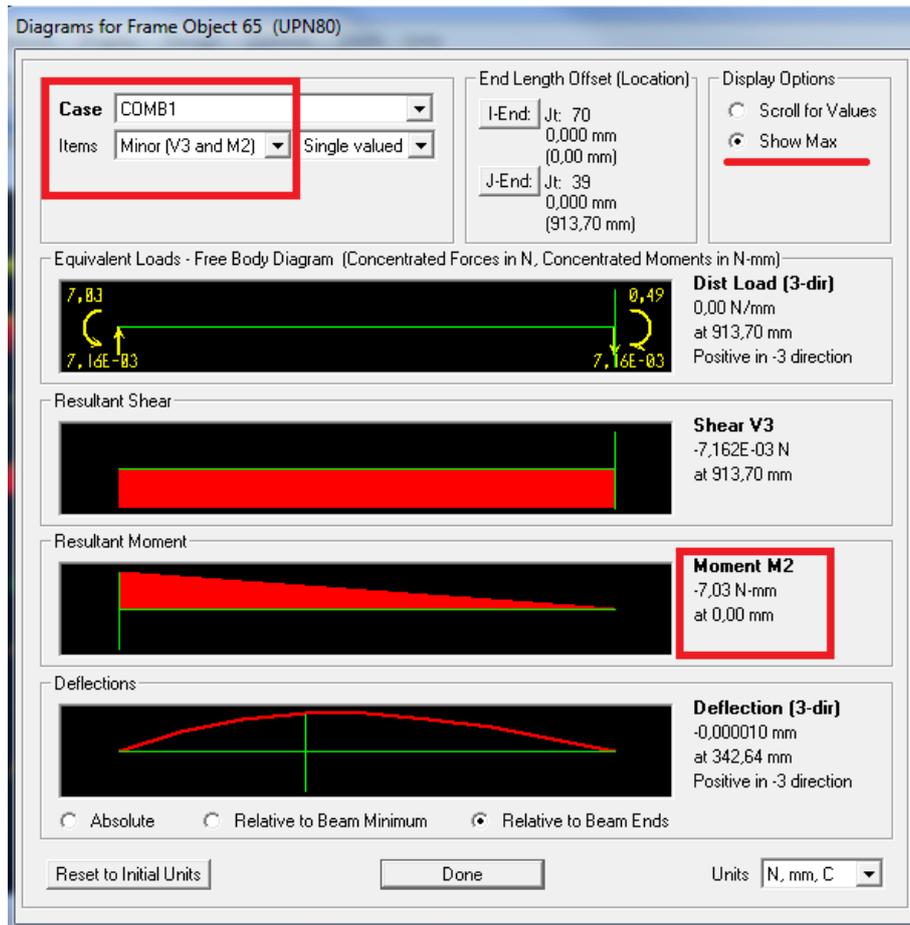


Figure 4.8: valeur de  $M_2$

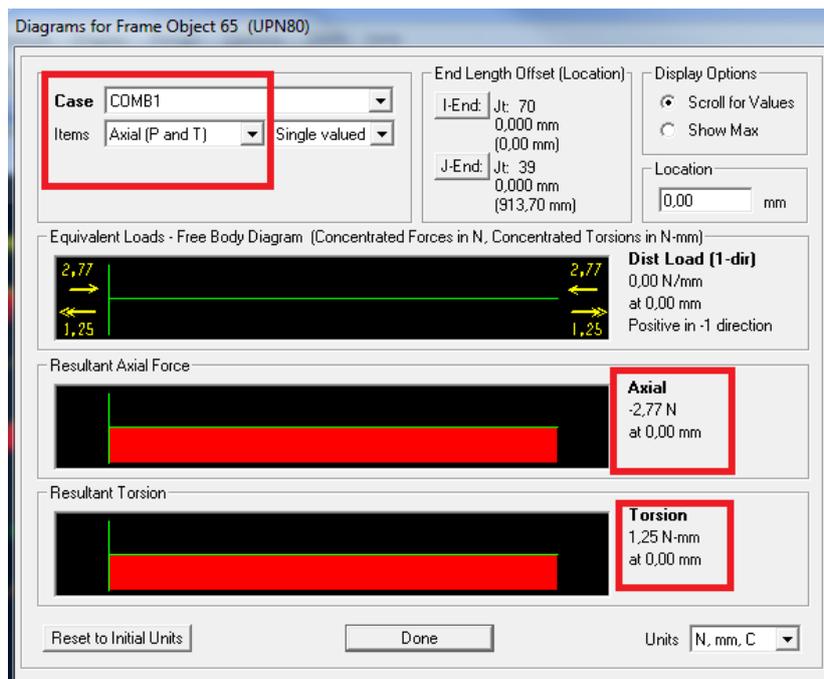


Figure 4.9 : valeur de  $N$  et  $M_t$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Calcul de  $\tau$  :

$$\tau = \frac{3|M_t|e_2}{b_1e_1^3 + 2b_2e_2^3}$$
$$\tau = 5 \times 10^{-4} \text{ MPa}$$

Calcul de  $\sigma_A$  :

$$\sigma_A = -\frac{M_2}{I_2} X_{A3} - \frac{M_3}{I_3} X_{A2} + \frac{N}{S}$$
$$\sigma_A = 1.31 \text{ MPa.}$$
$$\sigma_{Aeq} = \sqrt{\sigma_A^2 + 3\tau^2}$$
$$\sigma_{Aeq} = 1.31 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Beq}$  :

$$\sigma_B = -\frac{M_2}{I_2} X_{B3} - \frac{M_3}{I_3} X_{B2} + \frac{N}{S}$$
$$\sigma_B = 1.31 \text{ MPa.}$$
$$\sigma_{Beq} = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau^2}$$
$$\sigma_{Beq} = 1.31 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Ceq}$  :

$$\sigma_C = -\frac{M_2}{I_2} X_{C3} - \frac{M_3}{I_3} X_{C2} + \frac{N}{S}$$
$$\sigma_C = -1.34 \text{ MPa.}$$
$$\sigma_{Ceq} = \sqrt{\sigma_C^2 + 3\tau^2}$$
$$\sigma_{Ceq} = 1.34 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Deq}$  :

$$\sigma_D = -\frac{M_2}{I_2} X_{D3} - \frac{M_3}{I_3} X_{D2} + \frac{N}{S}$$
$$\sigma_D = -1.34 \text{ MPa.}$$
$$\sigma_{Deq} = \sqrt{\sigma_D^2 + 3\tau^2}$$
$$\sigma_{Deq} = 1.34 \text{ MPa.}$$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Le max :

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

$$\sigma_{eqMAX}^1 = 1.34 MPa.$$

La contrainte maximale équivalente inférieure à la contrainte admissible

- **(Barre N°2') :** Flexion composée traction-compression plus torsion

Dans ce cas, nous constatons que le  $M_{3MAX}$  est située en  $x=847,68$  mm (figure4.10) alors que  $M_{2MAX}$  est située en  $x= 1295$  mm (figure4.14), nous devons donc calculer  $\sigma_{eq}$  en chacune des sections

### 1. $x = 847,68$ mm :

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

$$M_{3max} = -2378,47N.mm \quad ; \quad M_2 = -7869,32N.mm \quad ; \quad N = -1584,54N$$

$$M_t = -521,5 N.mm$$

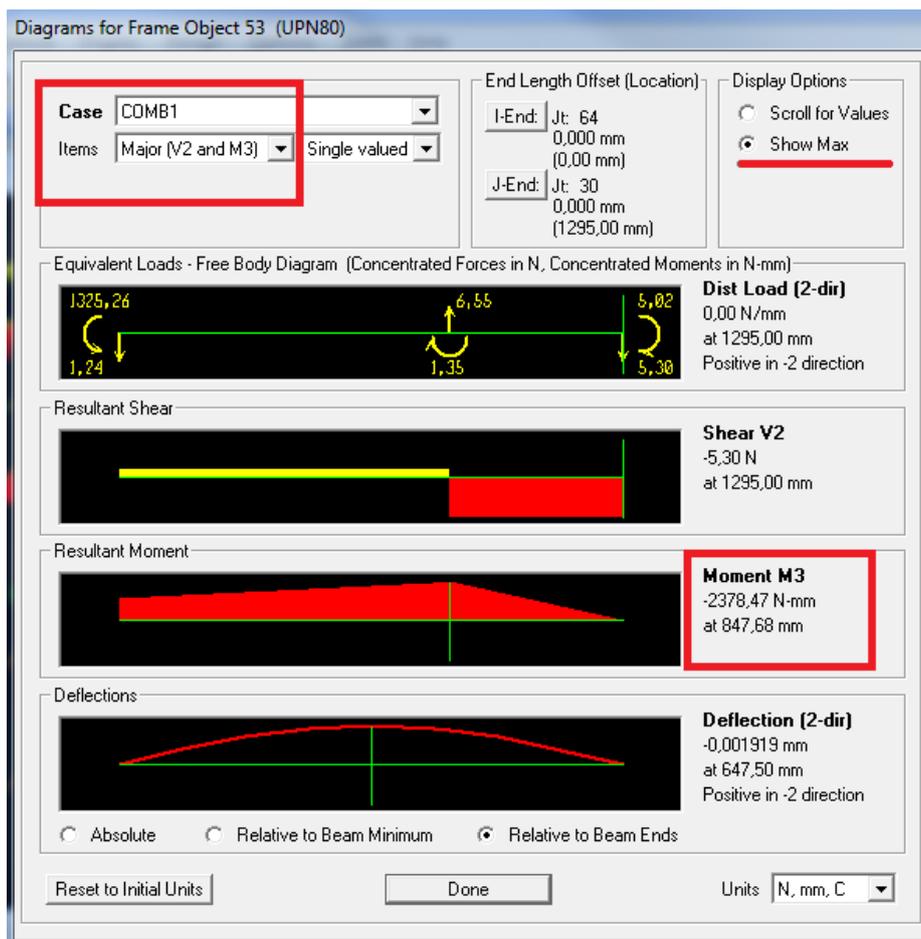


Figure 4.10 : valeur de  $M_3$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

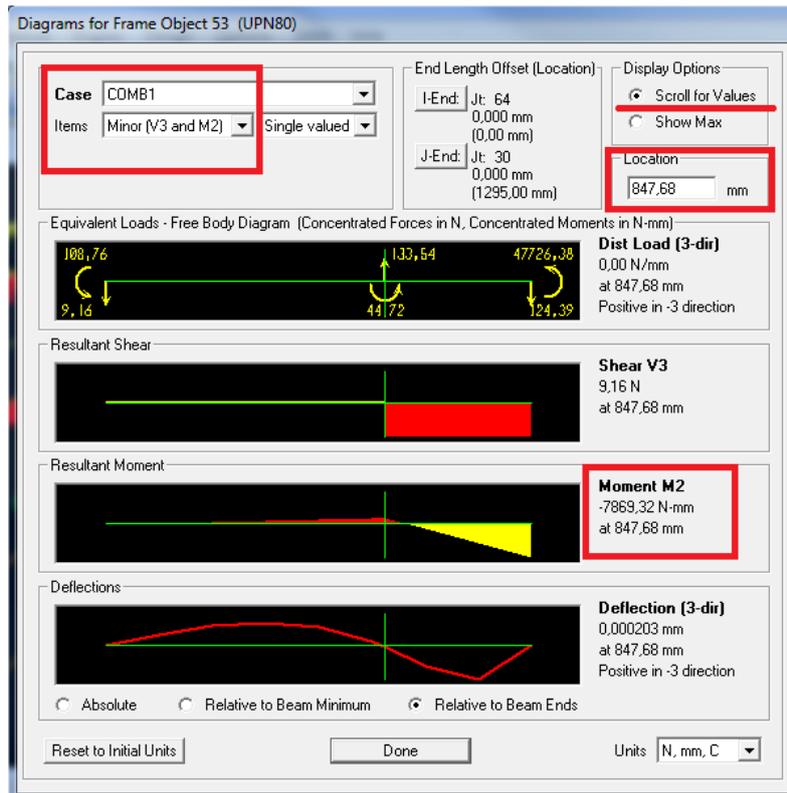


Figure 4.11 : valeur de  $M_2$

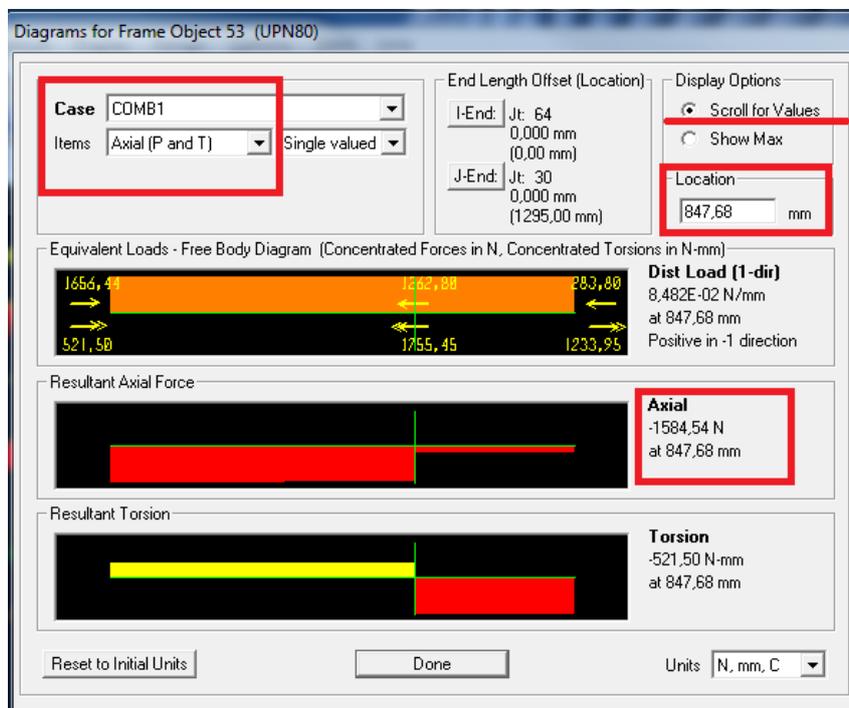


Figure 4.12 : valeur de  $N$  et  $M_t$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Calcul de  $\tau$  :

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

$$\tau = -0,20 \text{ MPa}$$

Calcul de  $\sigma_A$  :

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

$$\sigma_A = -0,76 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Aeq} = 0,83 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Beq}$  :

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

$$\sigma_B = -2,56 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Beq} = 2,58 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Ceq}$  :

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

$$\sigma_C = 2,73 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Ceq} = 2,75 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Deq}$  :

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

$$\sigma_D = -0,93 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Deq} = 0,99 \text{ MPa.}$$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Le max :

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

$$\sigma_{eqMAX}^1 = 2.75 \text{ MPa.}$$

2.  $x=1295 \text{ mm}$  :

D'après les figure 4.13 ; 4.14 ; 4.15 on a :

$$M_{2max} = 47726,38 \text{ N.mm} \quad ; \quad M_3 = -5,02 \text{ N.mm} \quad ; \quad N = -283,80 \text{ N}$$

$$M_t = 1233,95 \text{ N.mm}$$

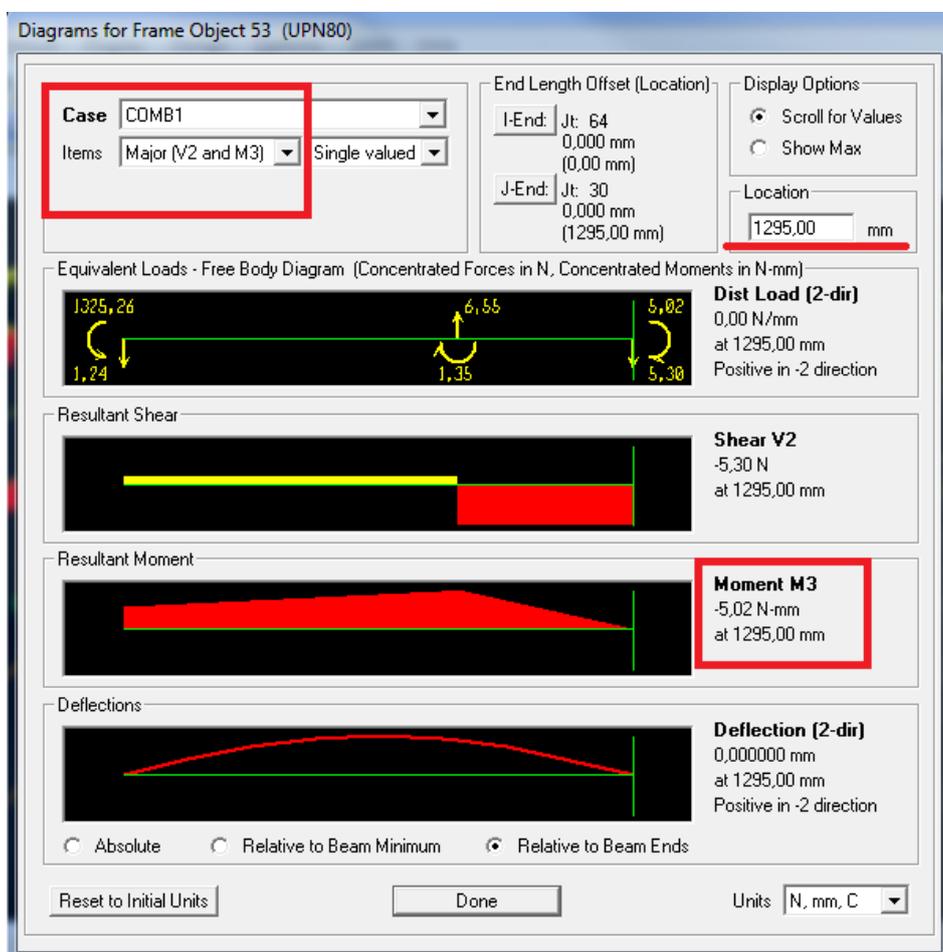


Figure 4.13 : valeur de  $M_3$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

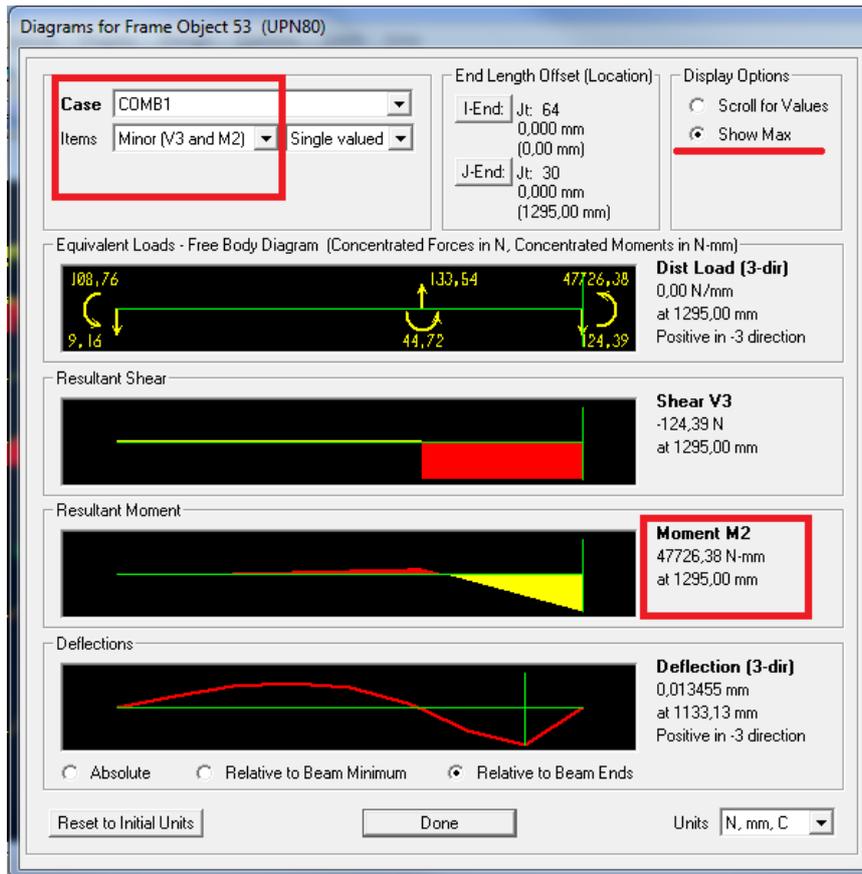


Figure 4.14 : valeur de  $M_2$

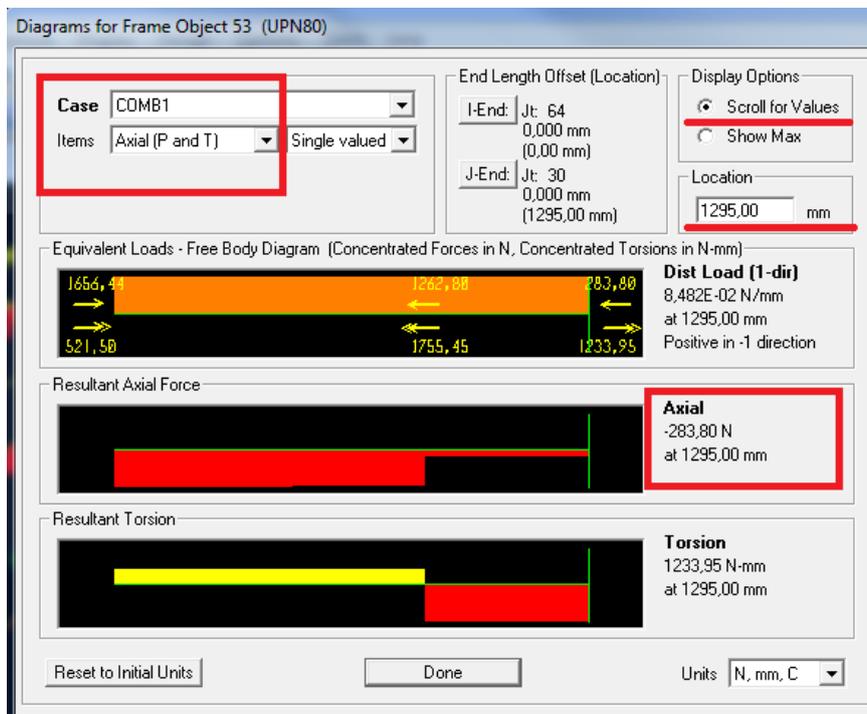


Figure 4.15 : valeur de  $N$  et  $M_t$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Calcul de  $\tau$  :

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

$$\tau = 0,49 \text{ MPa}$$

Calcul de  $\sigma_{Aeq}$  :

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

$$\sigma_A = -3.81 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Aeq} = 3.90 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Beq}$  :

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

$$\sigma_B = 7.25 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Beq} = 7.30 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Ceq}$  :

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

$$\sigma_C = 7.25 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Ceq} = 7.30 \text{ MPa.}$$

Calcul de  $\sigma_{Deq}$  :

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

$$\sigma_D = -3.81 \text{ MPa.}$$

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

$$\sigma_{Deq} = 3.90 \text{ MPa.}$$

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

Le max :

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

$$\sigma_{eqMAX}^2 = 7.30 MPa.$$

### Conclusion :

Pour cette barre le  $\sigma_{eq}$  à retenir est :

$$\sigma_{eq} = MAX\{\sigma_{eqMAX}^1; \sigma_{eqMAX}^2\} = 7.25 MPa.$$

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

### 4.6 Les contraintes équivalentes maximales :

Nous présentons sur le Tableau 4-2, 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	1,56	10	0,63	19	13,81
1'	2,7	10'	0,63	19'	12,94
2	2,09	11	1,47	20	10,95
2'	7,30	11'	1,47	20'	9,85
3	1,82	12	10,78	21	8,72
3'	6,74	12'	13,67	21'	5,44
4	1,84	13	19,9	22	10,66
4'	2,57	13'	20,91	22'	10,58
5	7,51	14	11,99	23	10,21
5'	6,88	14'	14,87	23'	4,61
6	10,20	15	20,43	24	7,78
6'	9,8	15'	21,23	24'	8
7	1,34	16	15,01	25	8,49
7'	1,59	16'	12,53	25'	8,49
8	0,62	17	11,37	26	4,35
8'	0,62	17'	5,11	26'	4,35
9	1,37	18	10,89	27	4,34
9'	1,37	18'	5,46	27'	4,34

Tableau 4.2 : Contrainte équivalente maximale de chaque barre

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

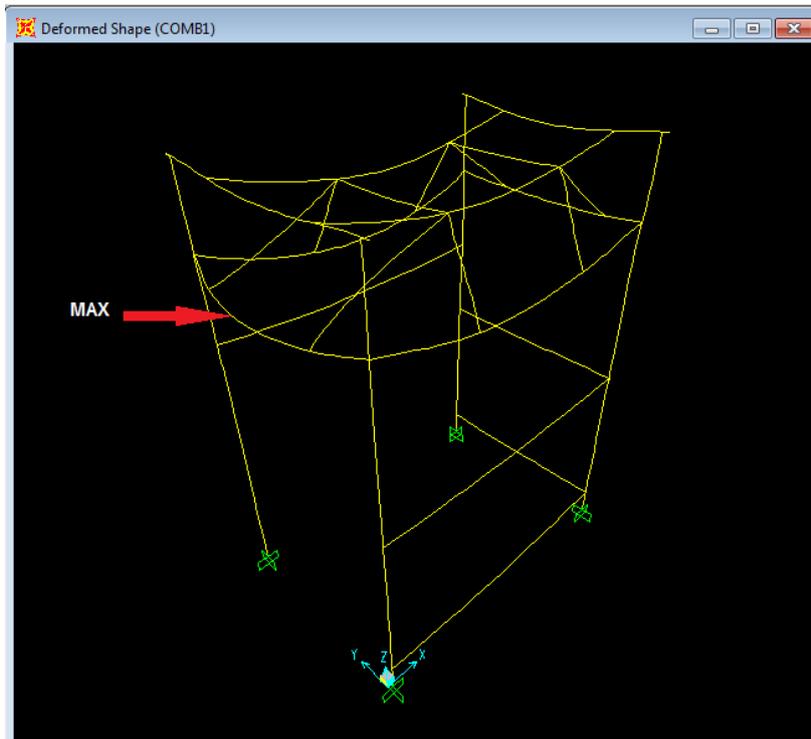


Figure 4.16 : contrainte équivalent MAX (barre 15 ')

- **Remarque**

La contrainte équivalente maximale dans la structure est  $\sigma_{max} = 21,23$  Mpa , cette valeur est très largement inférieure à la contrainte admissible.

- **Comparaison avec l'ancien travail**

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

### 4.7 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 4.16, 4.17 et 4.18 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

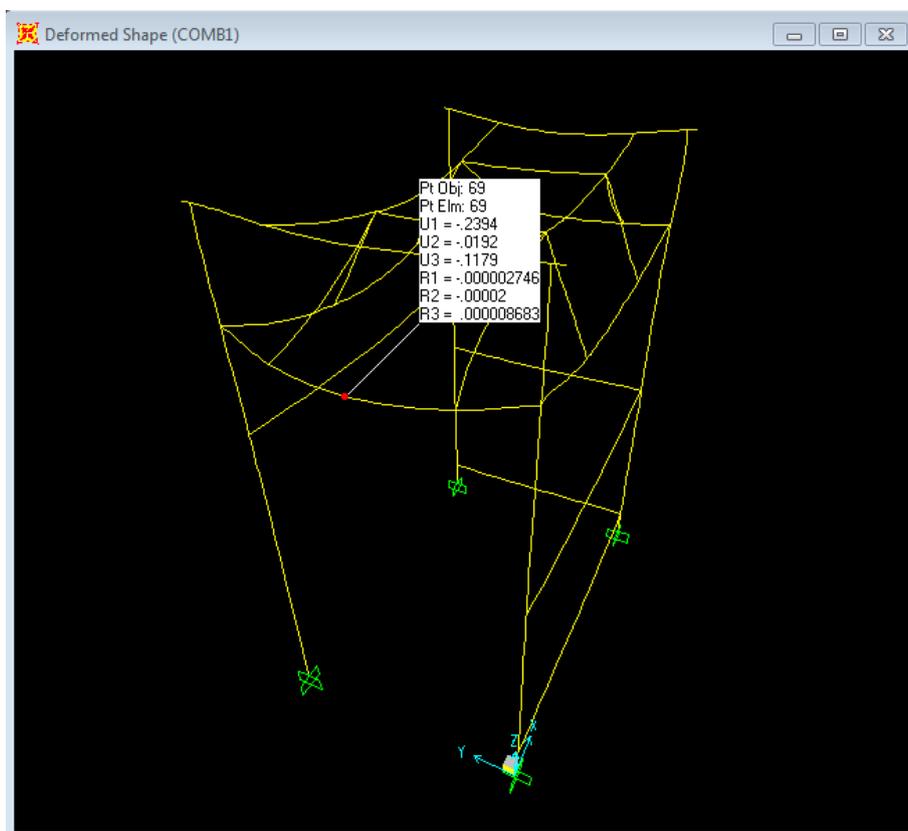


Figure 4.17 : Déformée et déplacement maximal suivant X

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

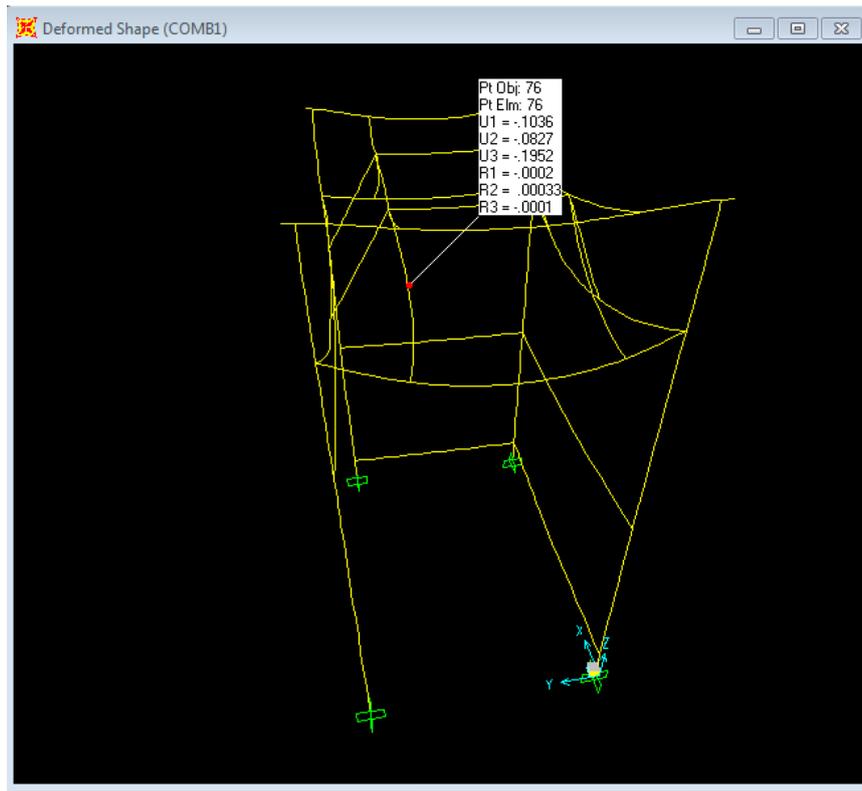


Figure 4.18: Déformée et déplacement maximal suivant Y

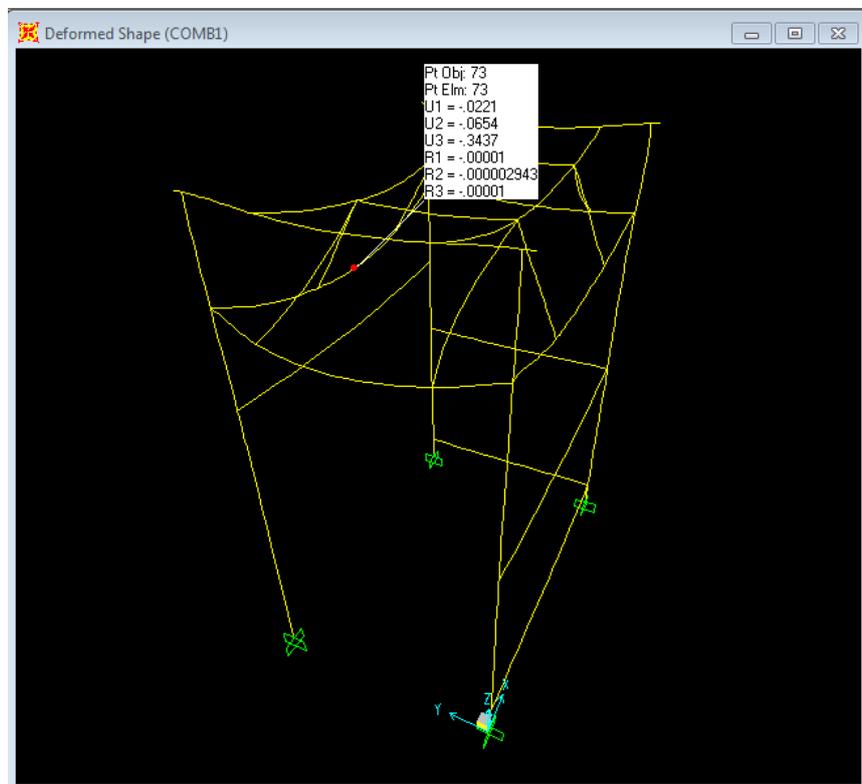


Figure 4.19 : Déformée et déplacement maximal suivant Z

## Chapitre 4: Vérification de la résistance du support

### Remarque :

Toutes les valeurs absolues des déplacements sont très petites et ne dépassent pas 0.4 mm

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

### Comparaison avec l'ancien travail

On remarque que Les déplacements maximums, sont largement plus grands de ceux de l'ancien travail comme on peut le constater dans le tableau ci-dessous :

Déplacements maximums dans l'ancien travail		Déplacements maximums dans le travail actuel	
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 4.3 : comparaison des déplacements

Ce résultat est logique, car l'introduction des articulations rend la structure moins rigide.

# Chapitre 5

## Vérification du flambement

## Chapitre 5 : Vérification du flambement

### 5.1 Introduction :

Le flambage est un phénomène physique relevant des principes de la résistance des matériaux. Lorsqu'une structure est comprimée dans le sens de la longueur, elle a tendance à fléchir perpendiculairement à l'axe de la force appliquée, en raison d'un phénomène d'instabilité élastique. Plus la structure (une poutre, par exemple) est longue et étroite, plus elle est susceptible de se plier facilement, mais d'autres facteurs interviennent comme le système d'attache de la structure au niveau des points de compression.

L'objectif de ce chapitre est de vérifier ce phénomène « flambement » et déterminer l'allure de déformation à partir de logiciel SAP2000.

### 5.2 Vérification de la résistance au flambage :

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

$$N_c = f_f \times P$$

Avec :

$N_c$  : la charge critique,

$f_f$  : facteur de flambement,

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

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

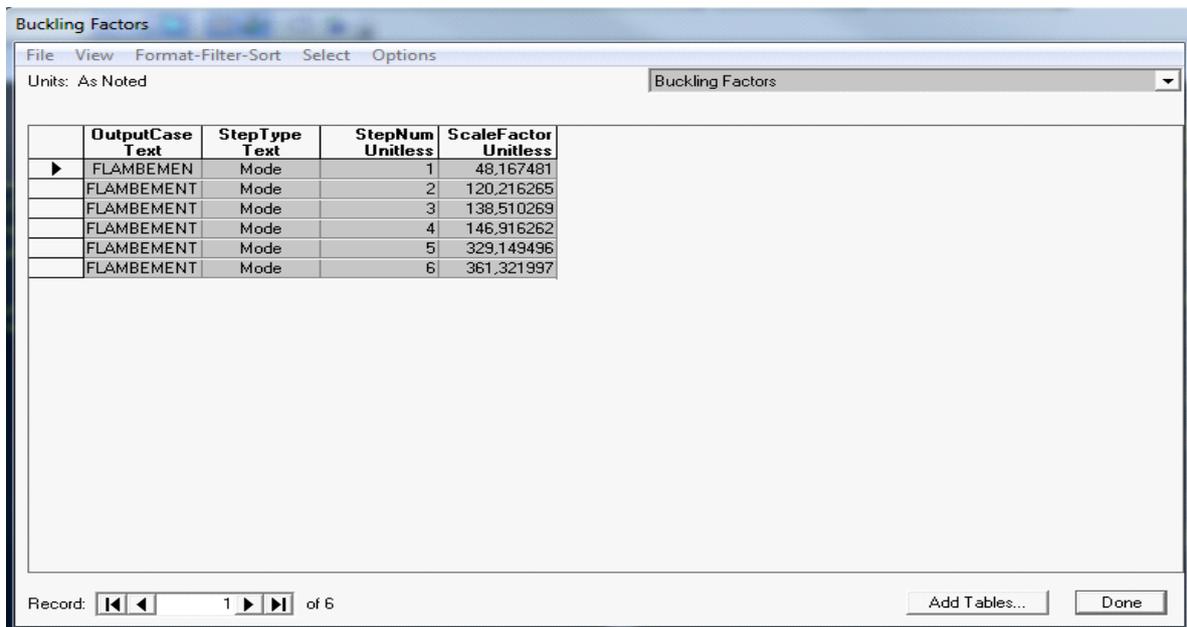
- Si  $P < N_c$  la poutre revient dans sa configuration initiale.
- Si  $P = N_c$  la poutre conserve la déformée qui lui a été conférée par la perturbation.
- Si  $P > N_c$  la déformée créée par la perturbation va en s'accroissant.

Les étapes du calcul du facteur de flambement avec SAP2000 ont été détaillées dans [1].

## Chapitre 5 : Vérification du flambement

### 5.3 Présentation des résultats :

La figure (5.1) ci-dessous nous montre l'affichage de ces derniers.



The screenshot shows a software window titled "Buckling Factors" with a menu bar (File, View, Format-Filter-Sort, Select, Options) and a dropdown menu set to "Buckling Factors". The main area 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, there is a "Record:" section with navigation icons and the text "1 of 6", and two buttons: "Add Tables..." and "Done".

Figure 5.1 : Facteurs de flambement

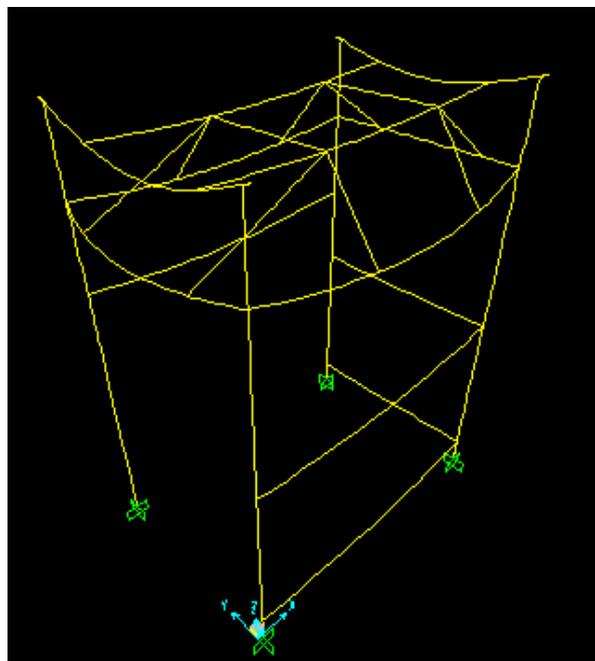


Figure 5.2 : premier mode du flambement

## Chapitre 5 : Vérification du flambement

### 5.4 Calcule 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. Par conséquent la structure est stable.

### Comparaison avec l'ancien travail

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

# Conclusion générale

Les principales conclusions de ce travail sont les suivantes :

- La nouvelle structure est moins résistante que l'ancienne. Ce résultat est cohérent, car l'introduction des articulations rend la structure moins rigide. Néanmoins, la structure est valide car sa contrainte de Von Mises maximale reste largement inférieure à la contrainte admissible, et la charge critique de flambement reste largement supérieure à la charge appliquée.
- Dans l'ancienne structure toutes les liaisons sont parfaites. Dans l'actuelle toutes, à part les appuis, sont articulées. En réalité, dans la structure en charpente, certaines liaisons sont parfaites (ou soudées) d'autres sont articulées (ou boulonnées). Le choix dépend de considérations pratiques non prises en compte dans notre étude. Cependant, les deux structures étudiées représentent des cas extrêmes : la résistance est maximale dans l'ancienne structure et minimale dans la nouvelle. Le fait d'avoir validé la résistance dans les deux cas, permet d'affirmer que la structure sera résistante pour tous les autres choix possibles, à condition que les appuis soient toujours encastres.
- La contrainte de Von Mises maximale ainsi que la charge critique de flambement restent très inférieures aux valeurs admissibles. Cela veut dire que la structure est surdimensionnée. En perspective, on doit refaire ce travail avec une section plus faible.

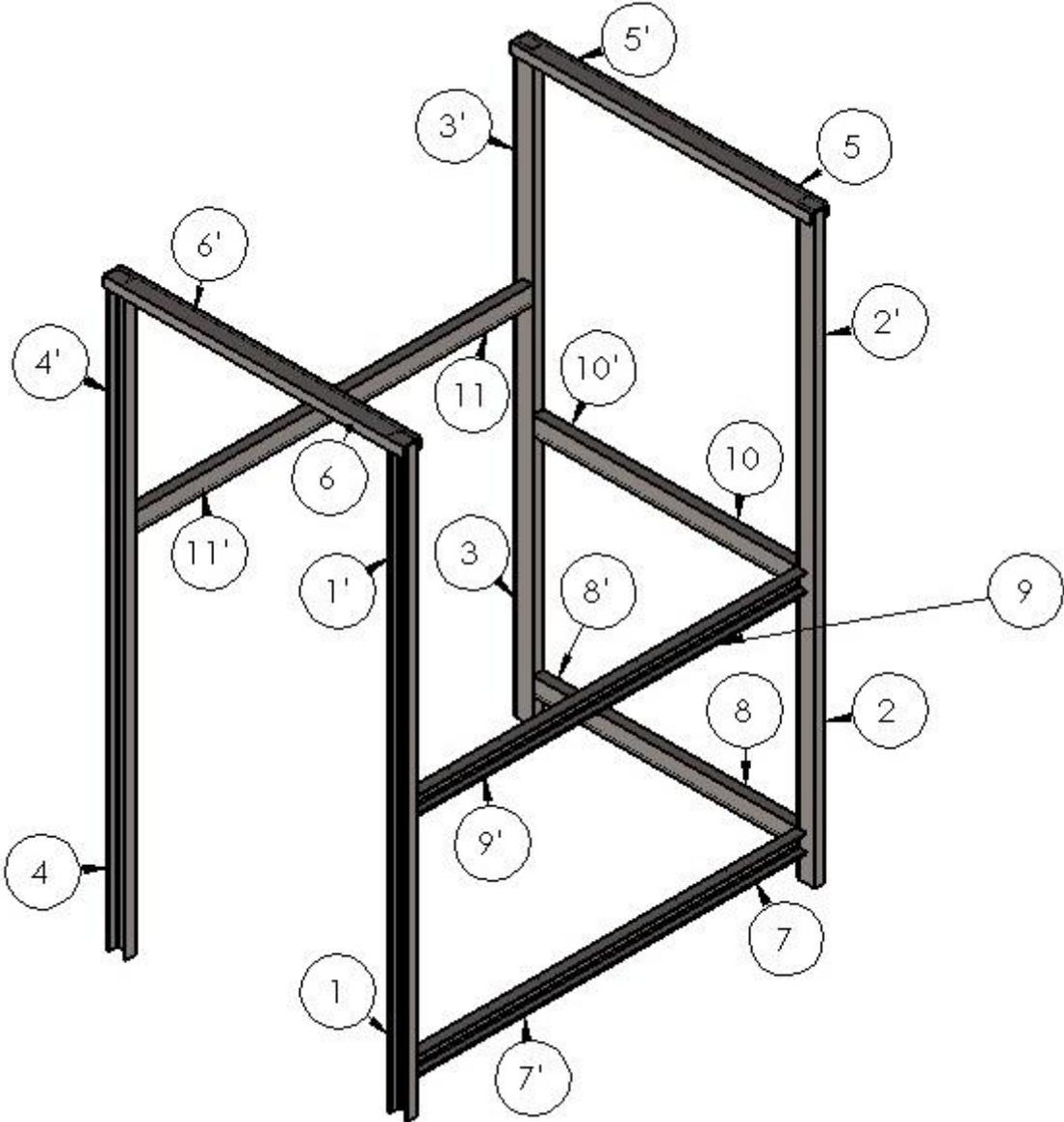
# Références

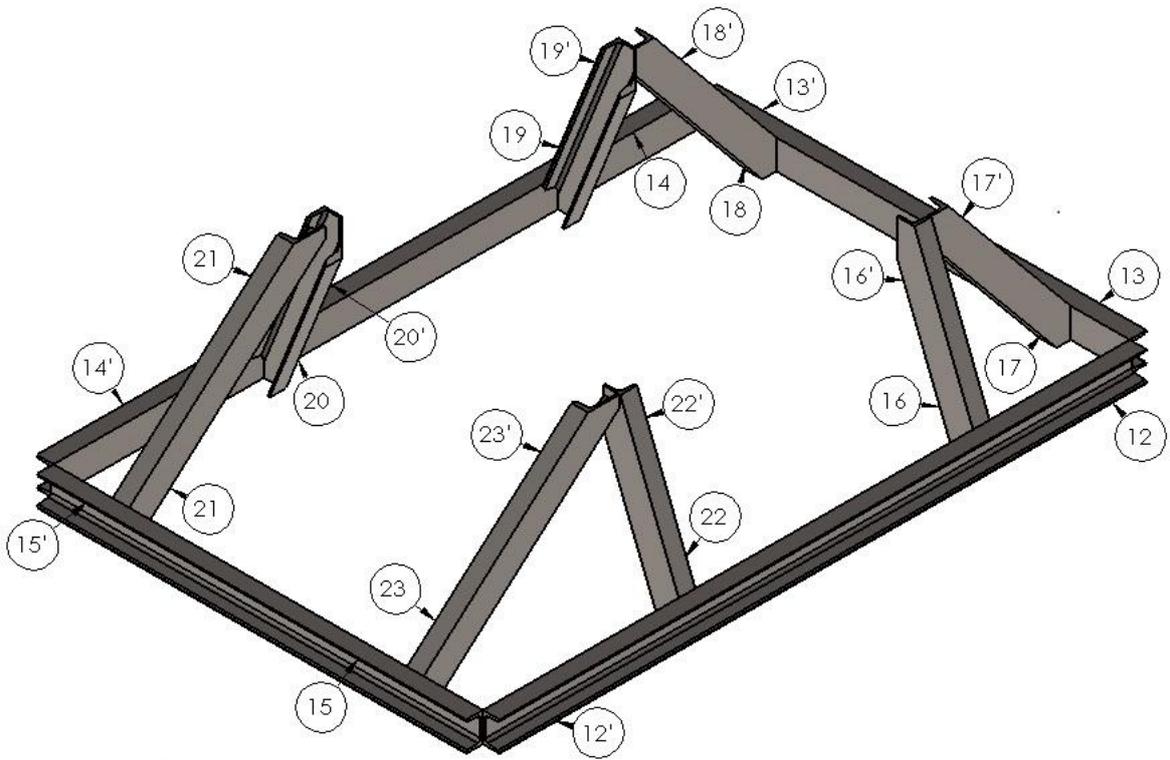
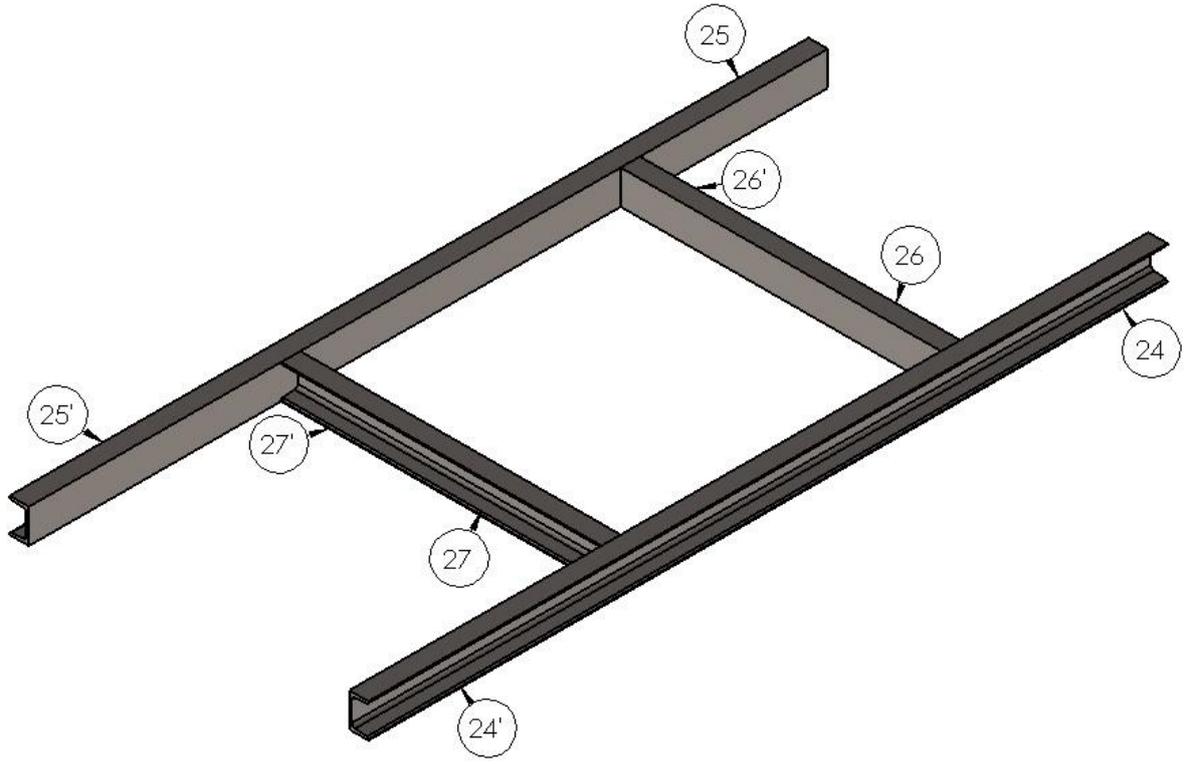
- [1] BELDJOUHER Hocine ,MIDOUNE Chouaib, «CALCUL DU SUPPORT D'UNE ENSACHEUSE PESEUSE AVEC SAP2000 » Master Construction Mécanique USDB 2019.
- [2] « SAP2000 BASIC ANALYSIS », Novembre 1998, Documentation SAP2000.
- [3] M. Kerguignas, G. Caignaert, « Résistance des matériaux », Dunod Université

# ANNEXE 01

## **Numérotation des barres**

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





# **ANNEXE 02**

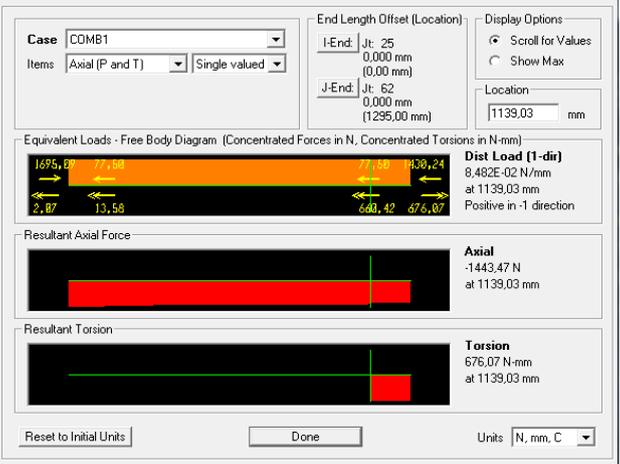
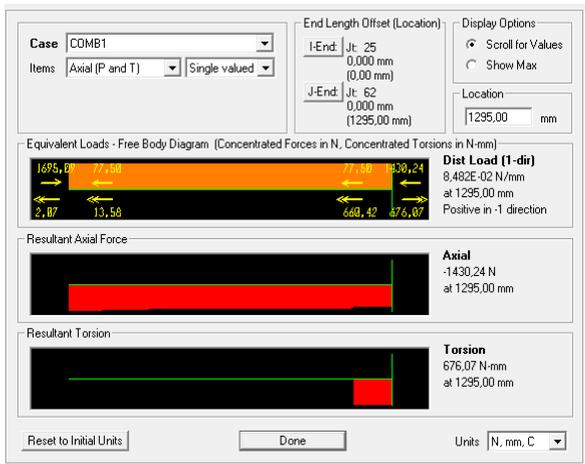
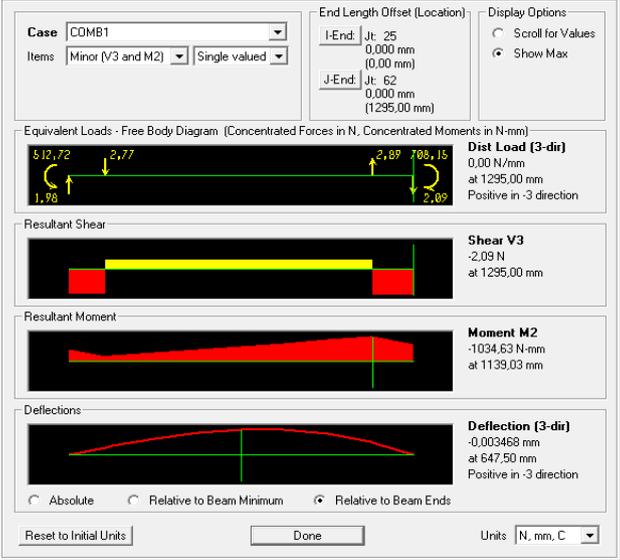
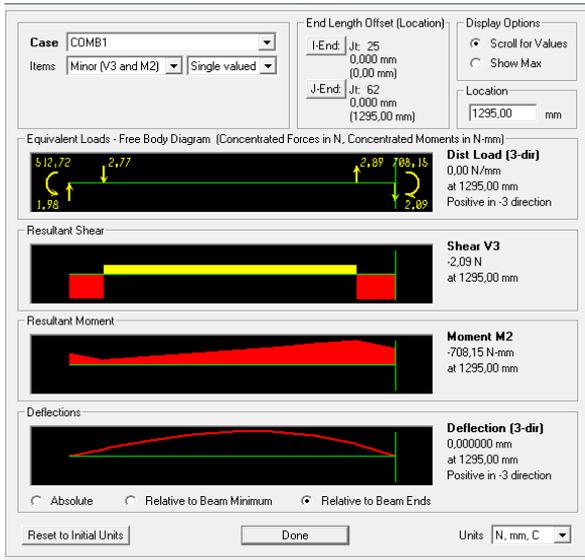
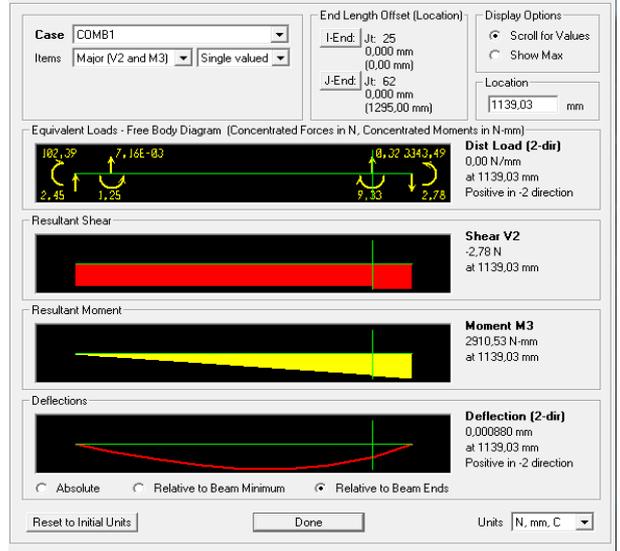
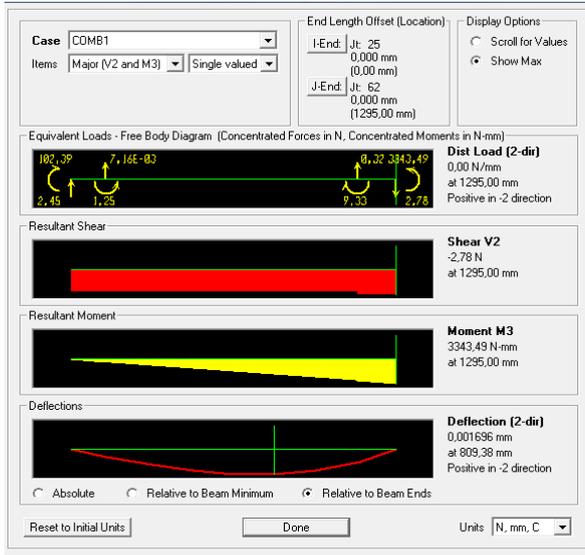
## **Efforts internes dans chaque barre**

Nous présentons ci-dessous pour chaque barre, les efforts internes maximums et leurs positions.

Barre N°1 :

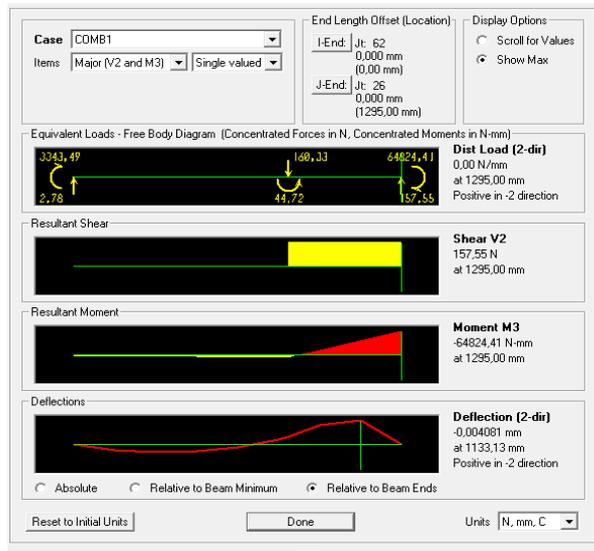
X=12950 mm

X= 1139,03 mm

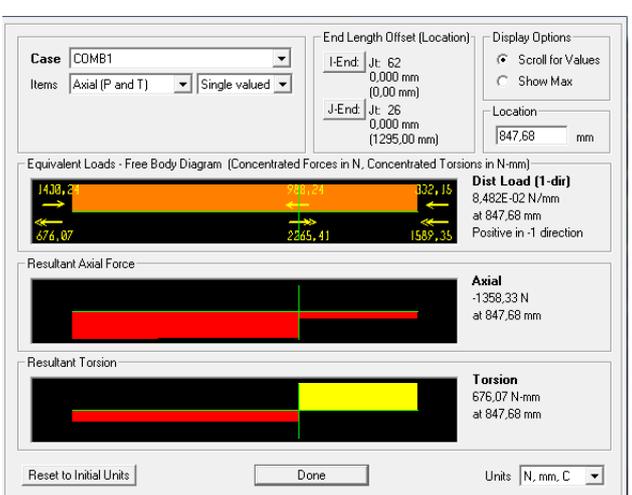
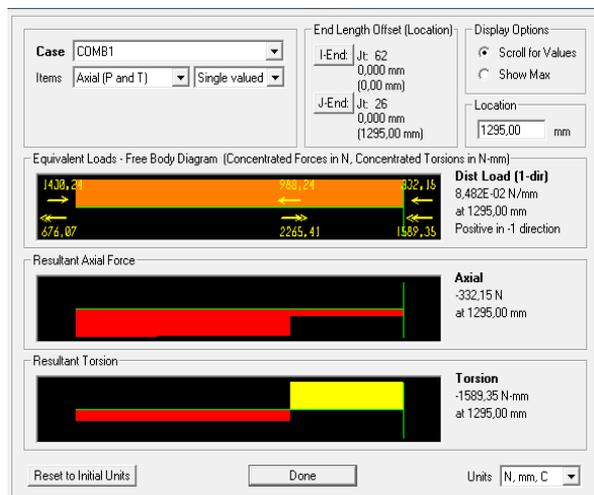
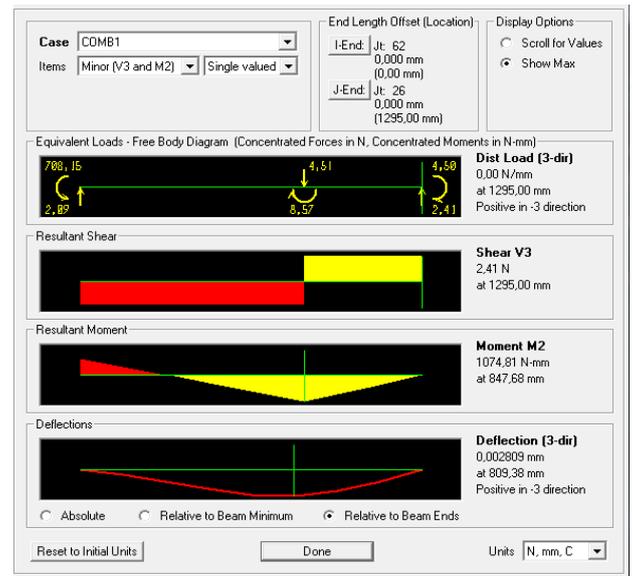
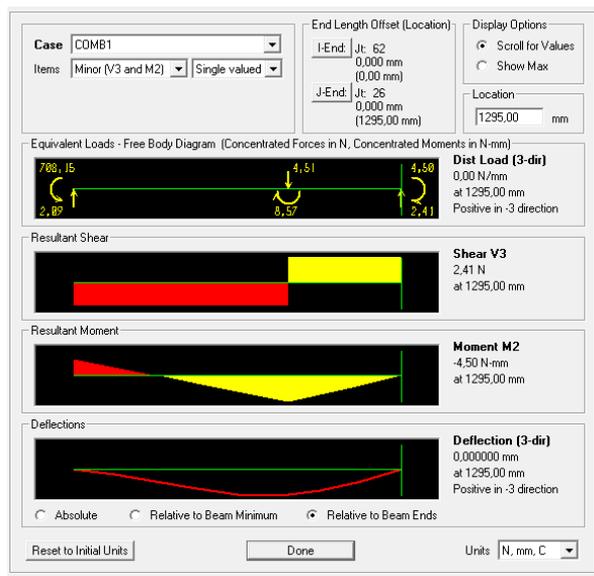


Barre N° 1' :

X=12950 mm

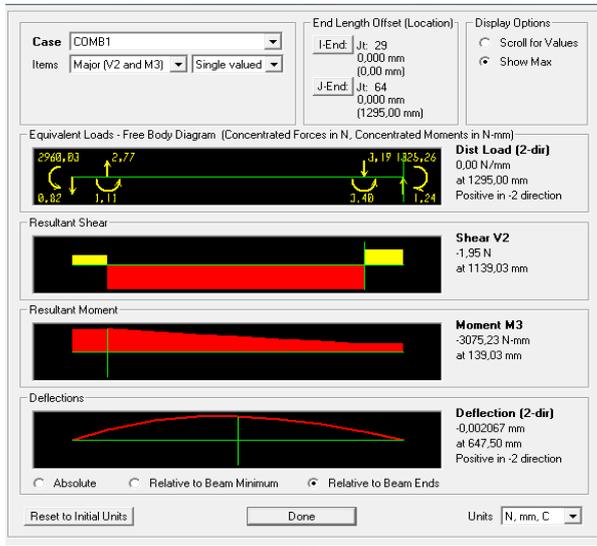


X=847,68 mm

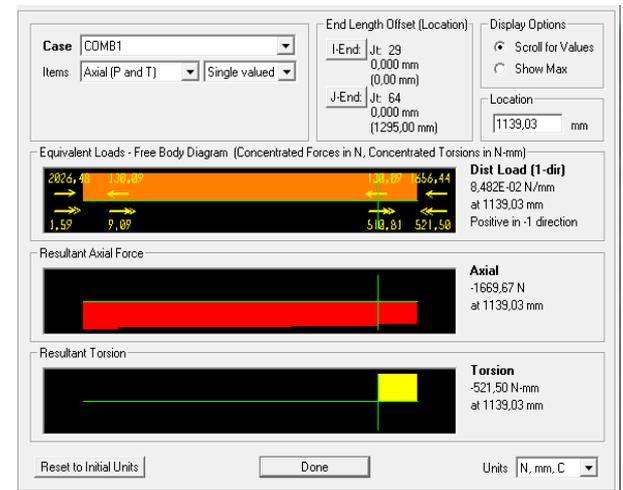
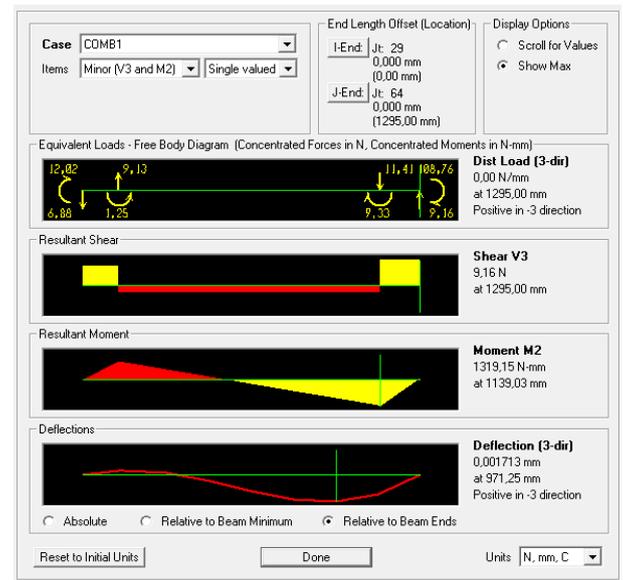
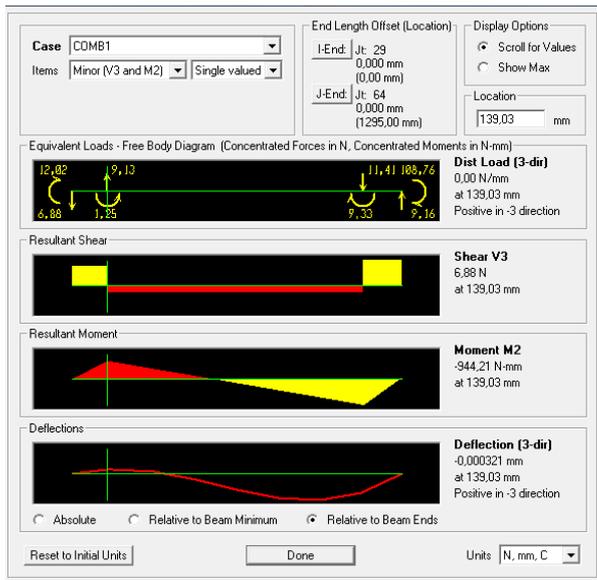


Barre N° 2 :

X=139,03 mm

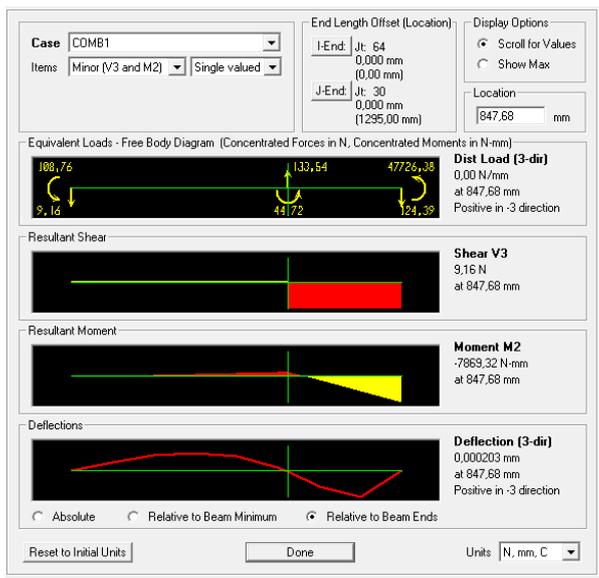
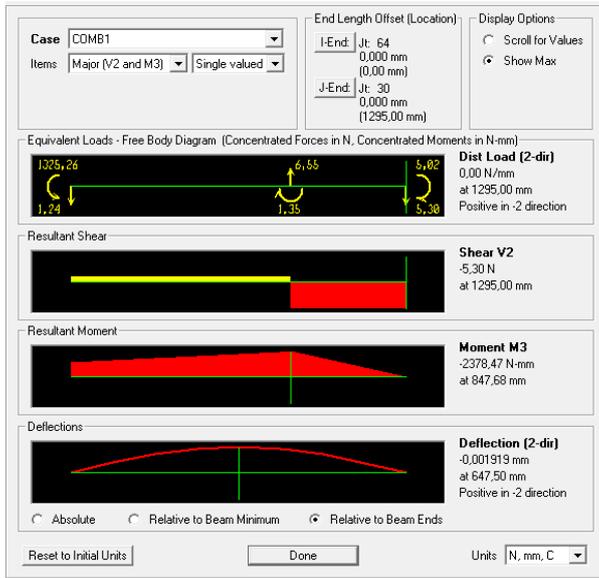


X=1139,03 mm

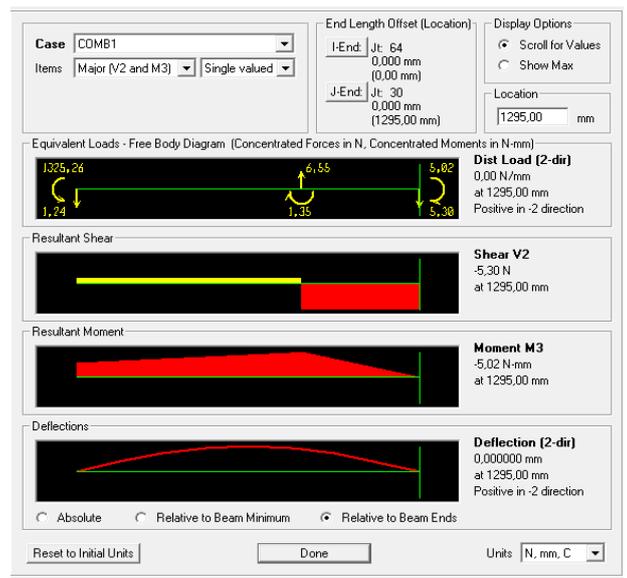
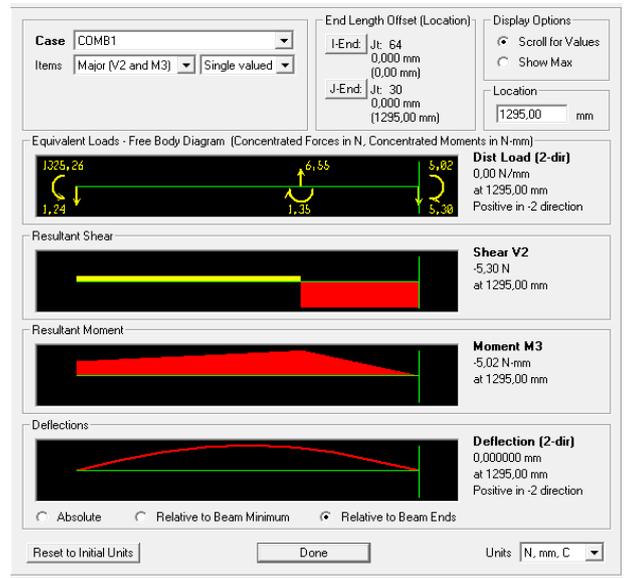


Barre N° 2' :

X=847,68 mm

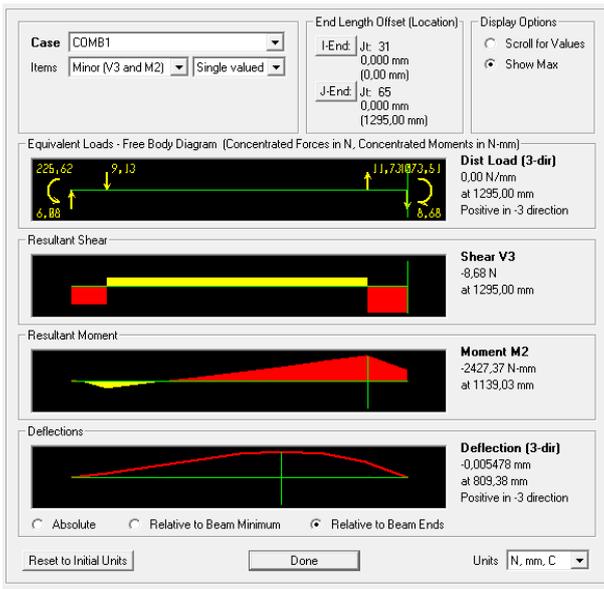
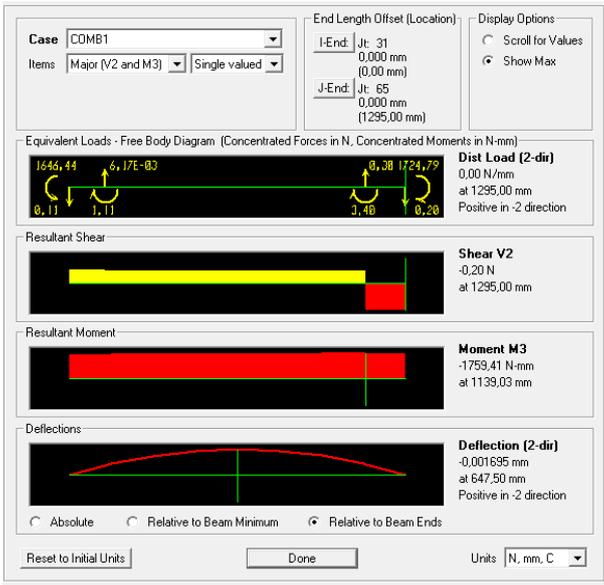


X=1295 mm



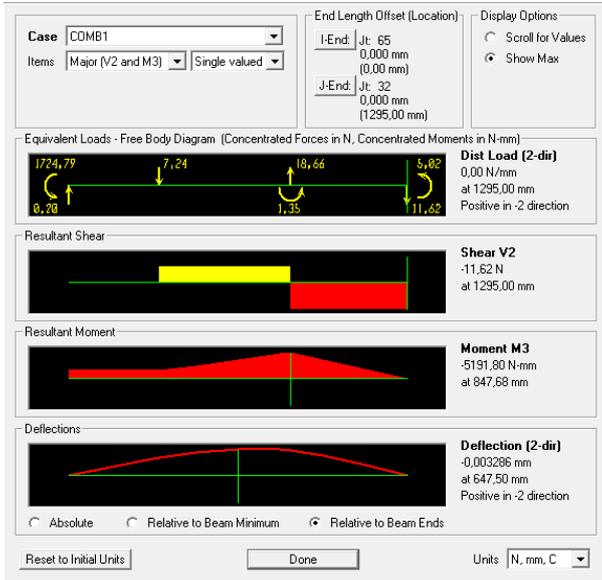
Barre N° 3 :

X=1139,03 mm

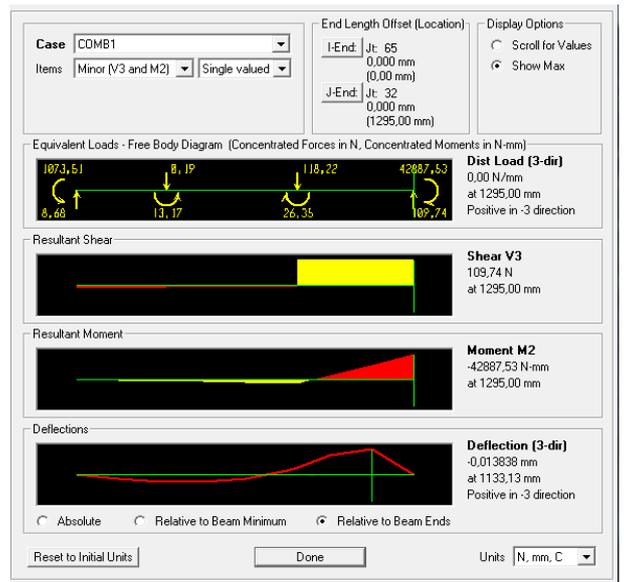
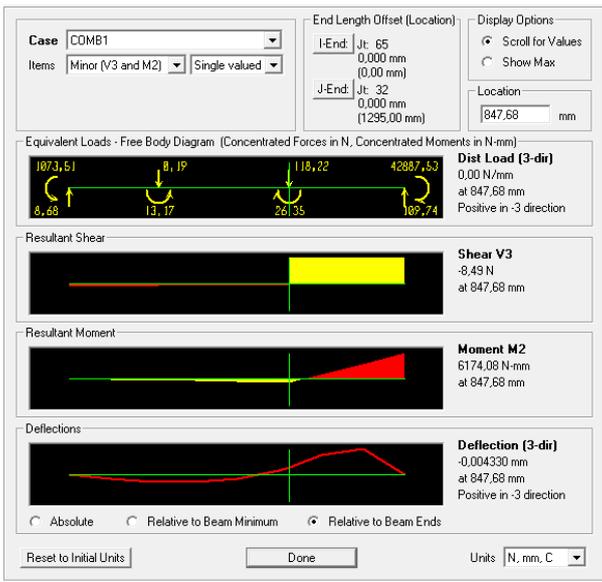
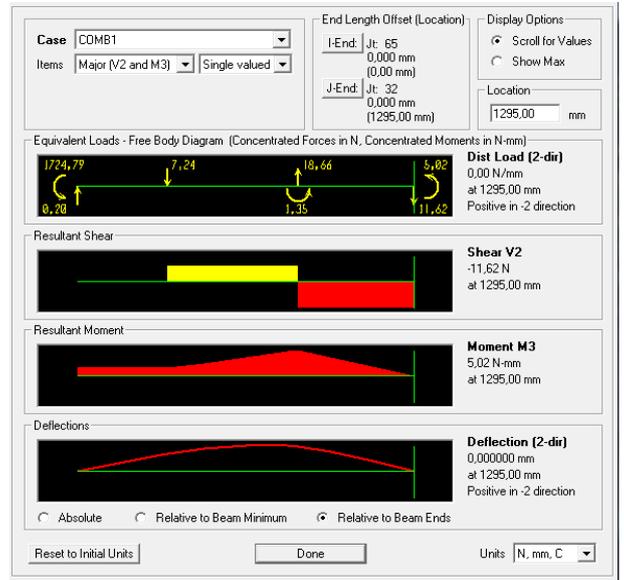


Barre N° 3' :

X=847,68

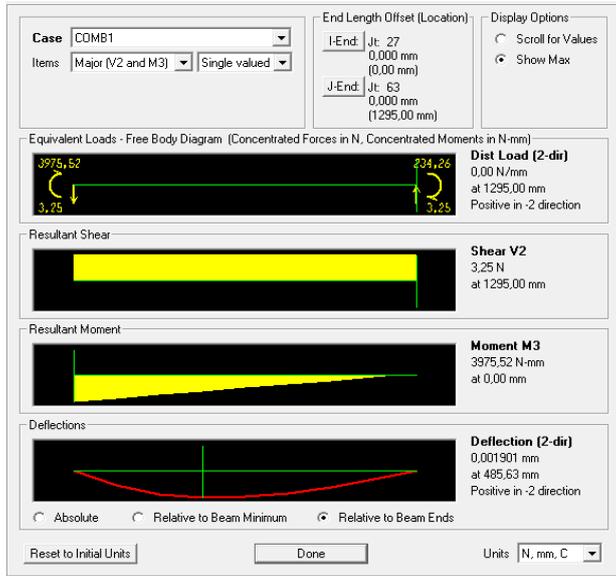


X= 1295 mm

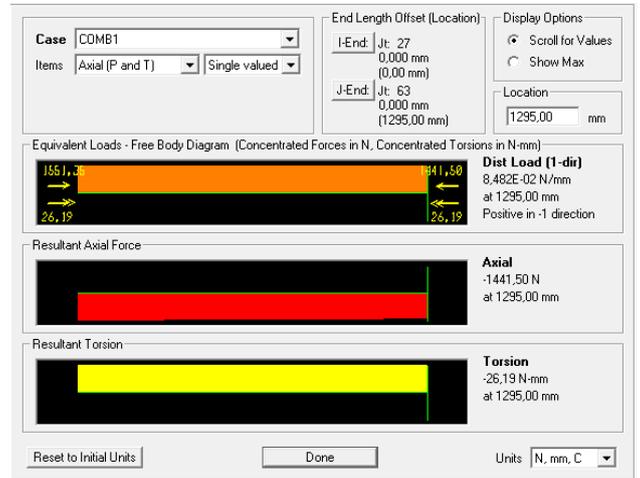
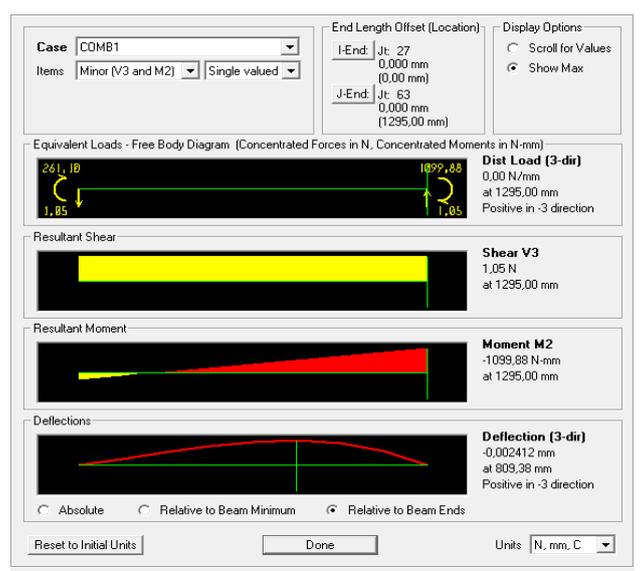
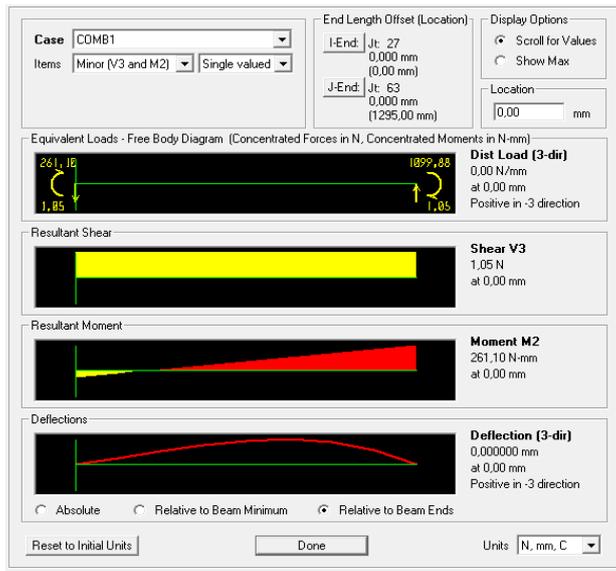
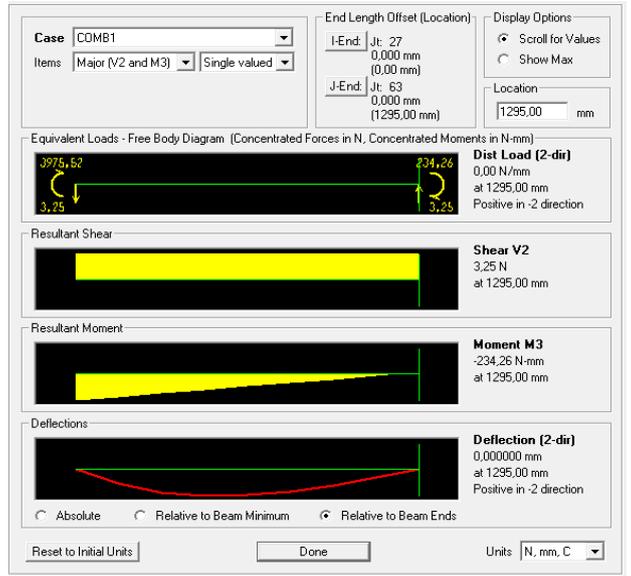


Barre N° 4 :

X = 0 mm

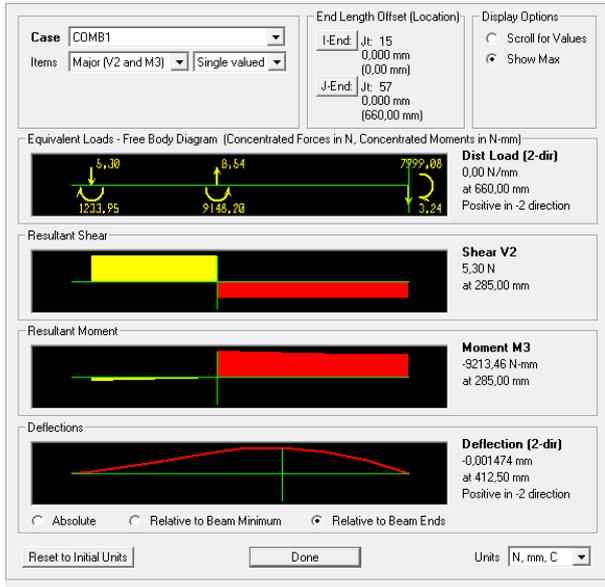


X=1295 mm

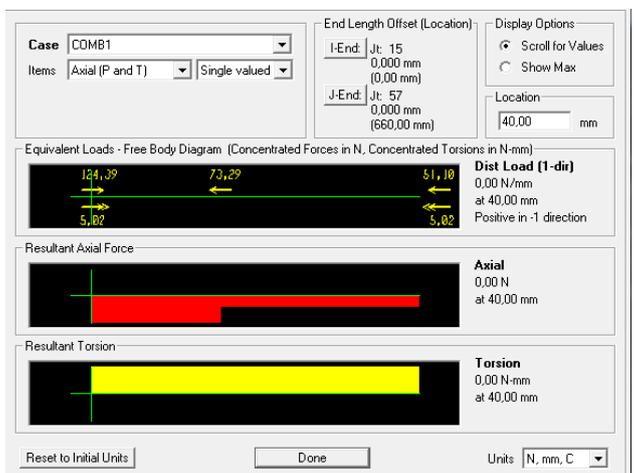
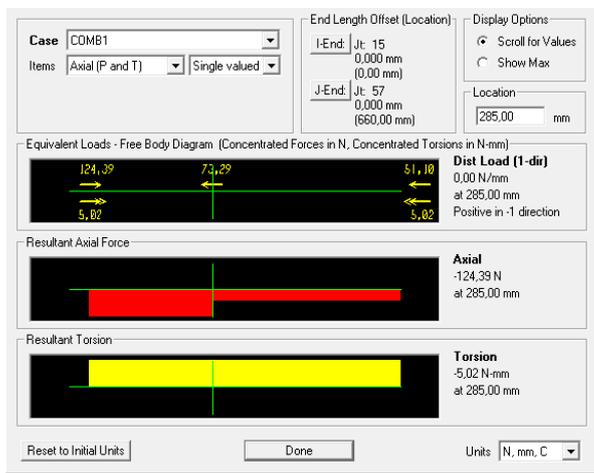
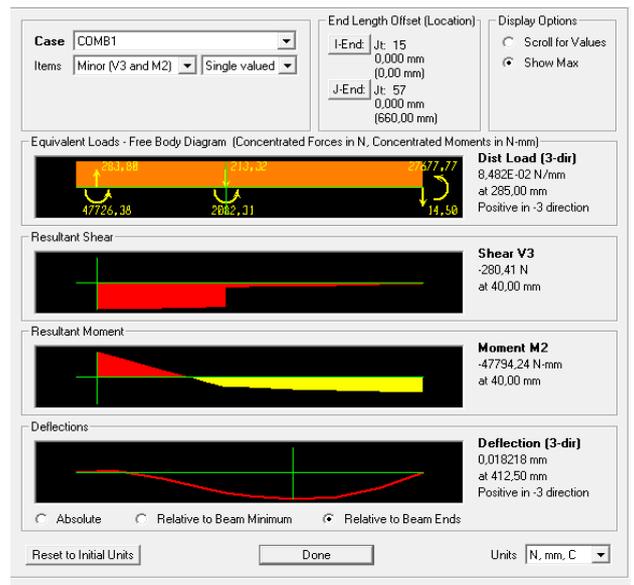
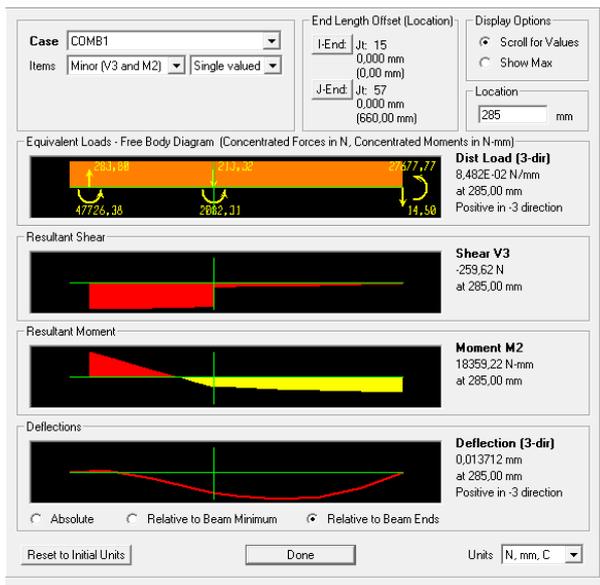
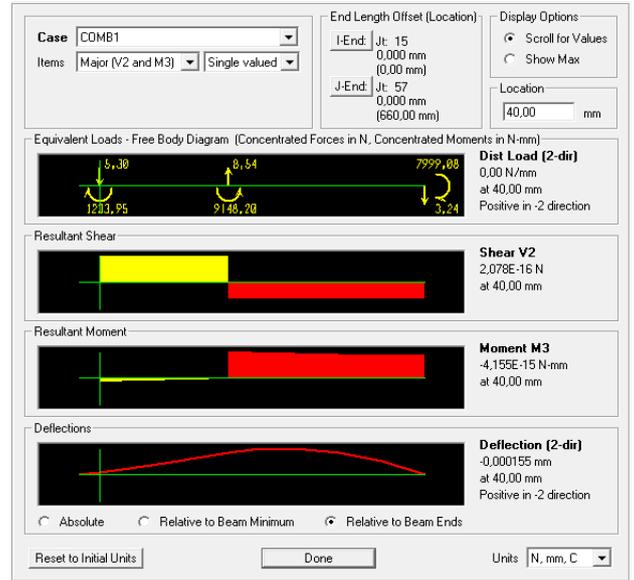


Barre N° 5 :

X= 285 mm

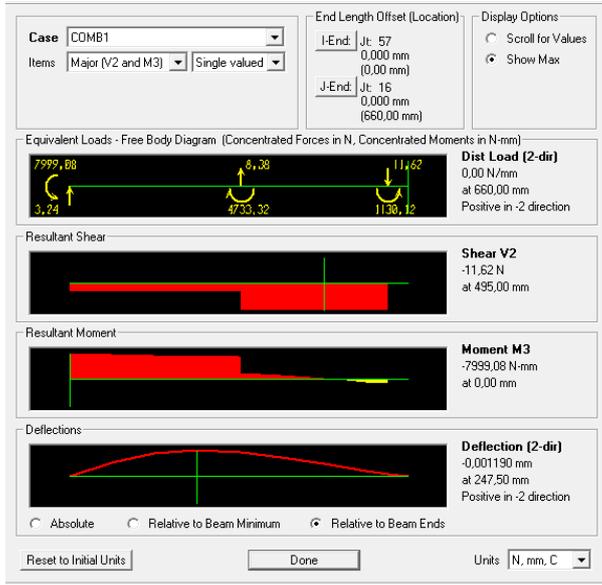


X= 40 mm

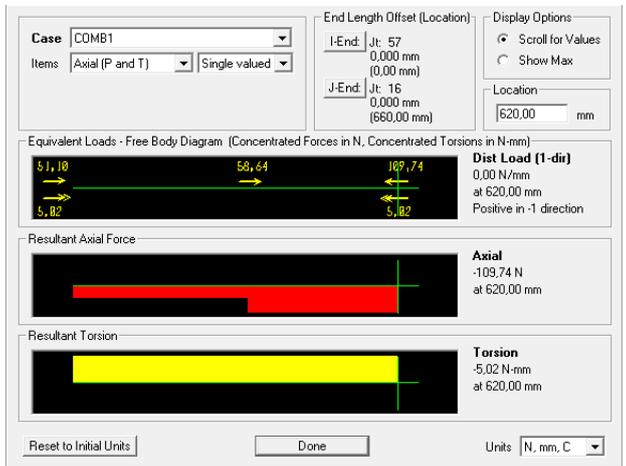
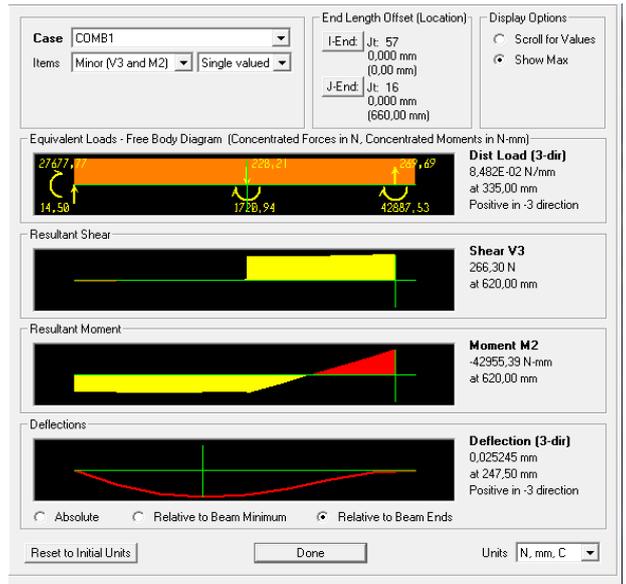
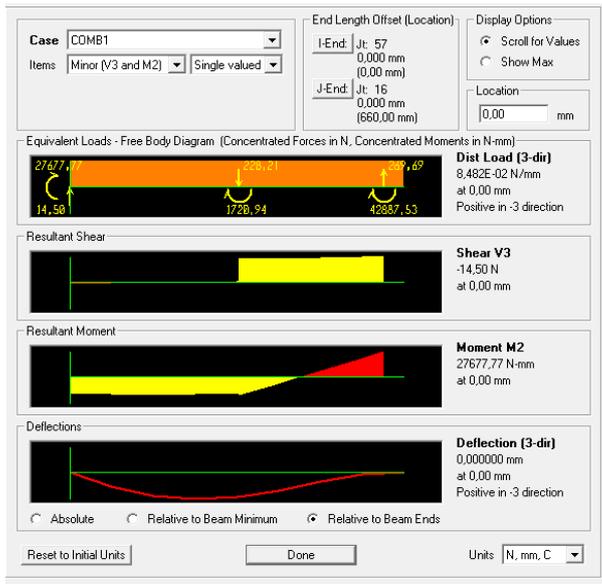
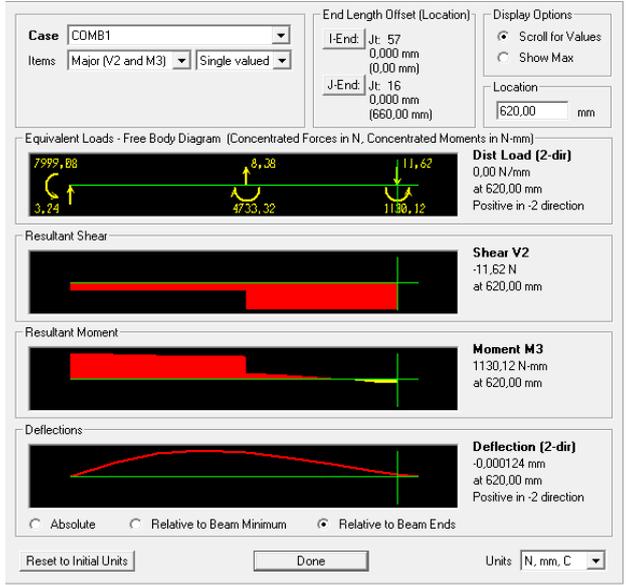


Barre N° 5' :

X = 0 mm

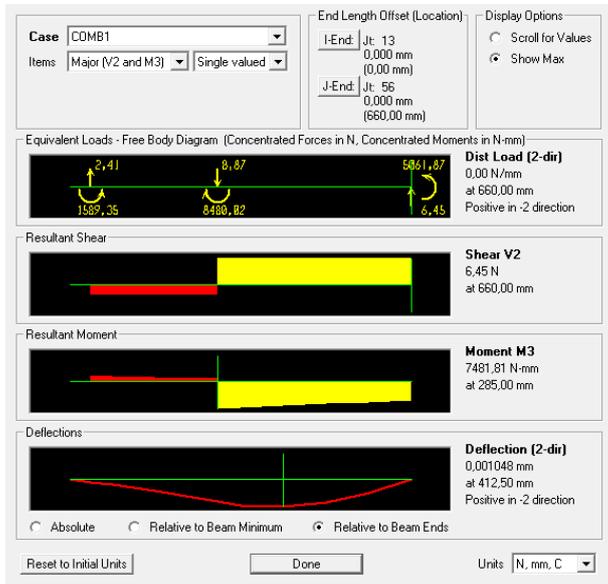


X = 620 mm

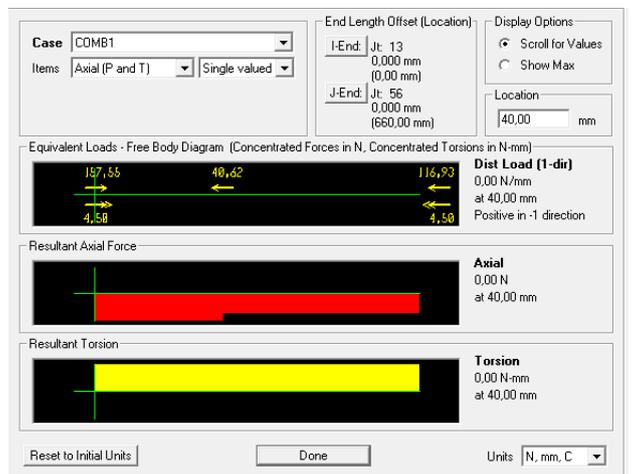
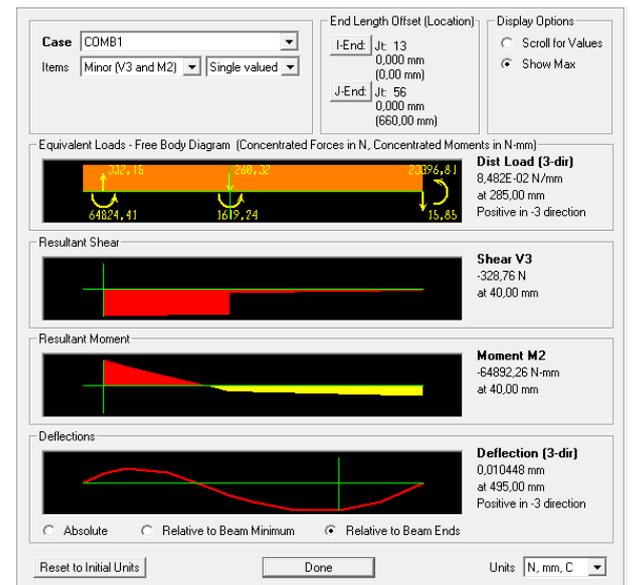
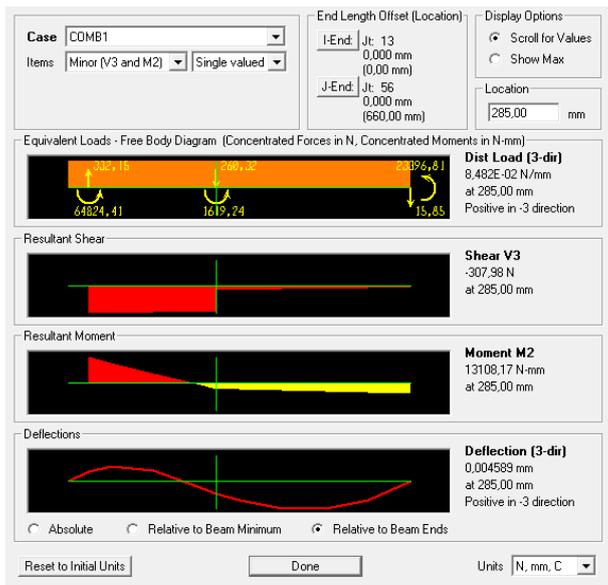
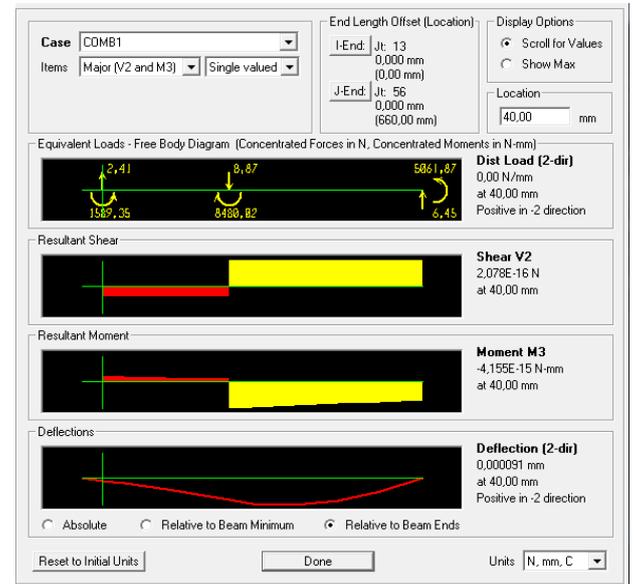


Barre N° 6 :

X= 285 mm

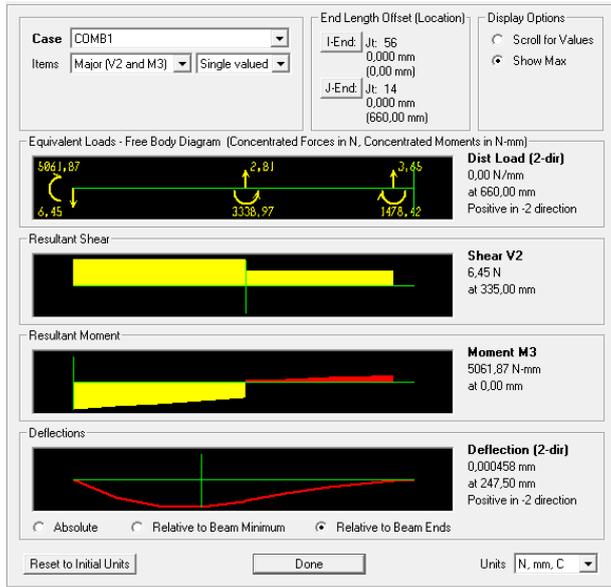


X = 40 mm

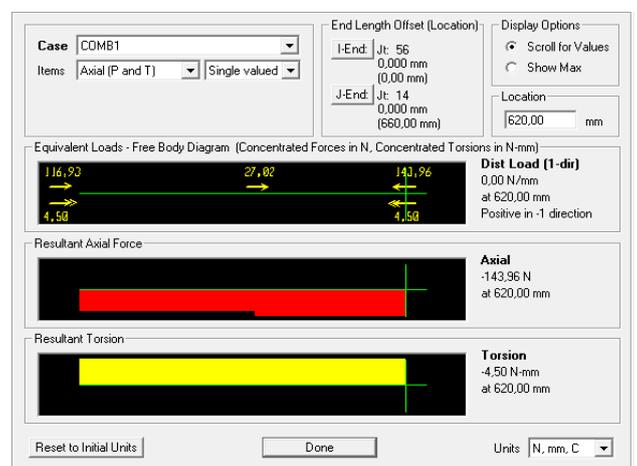
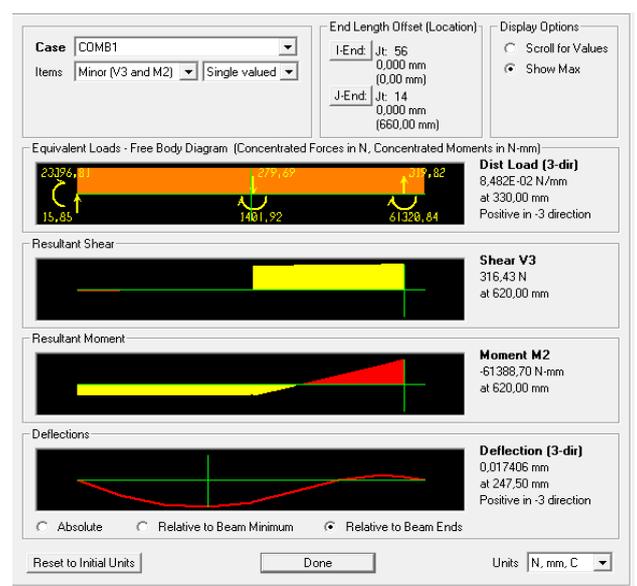
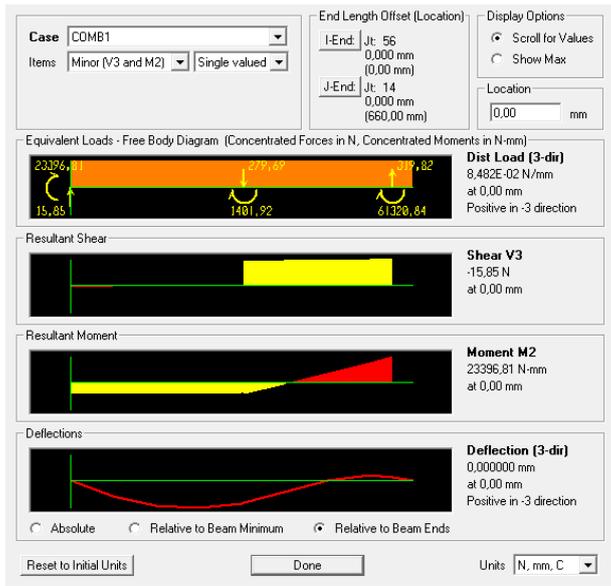
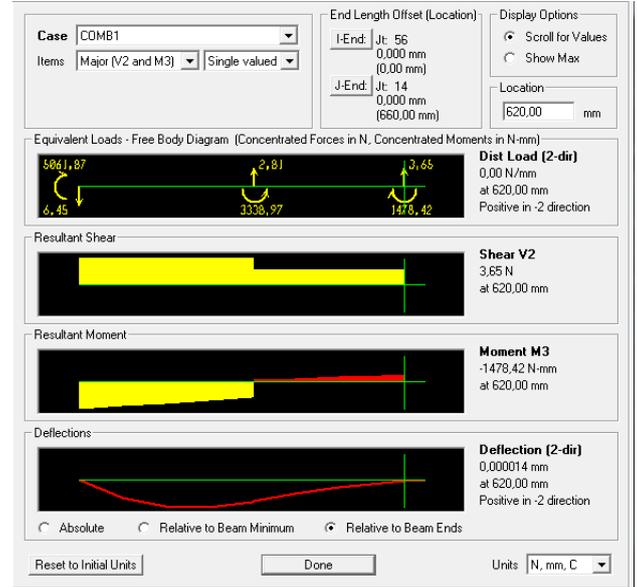


Barre N° 6' :

X = 0 mm

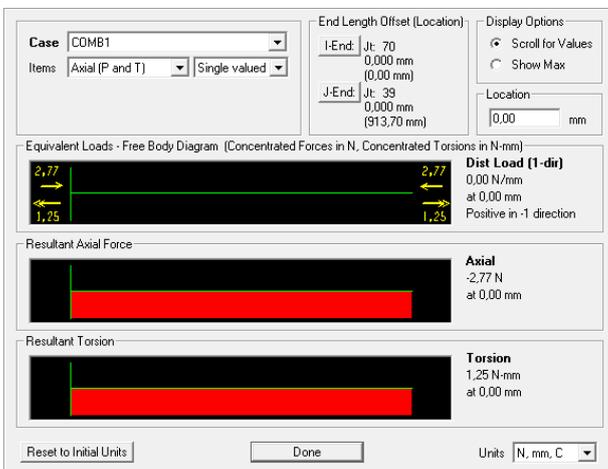
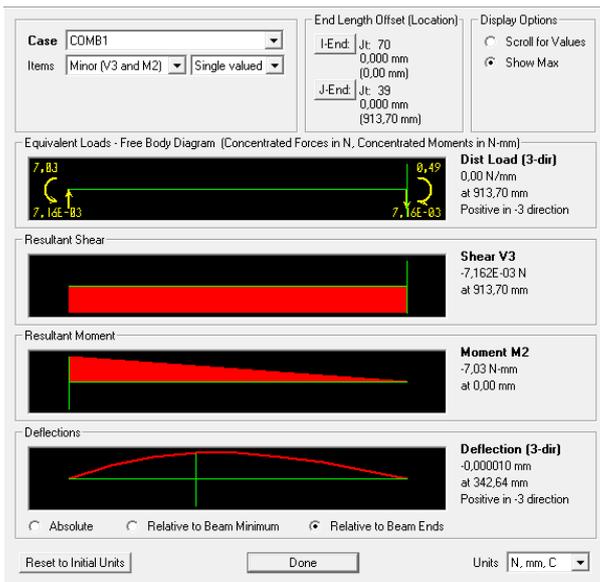
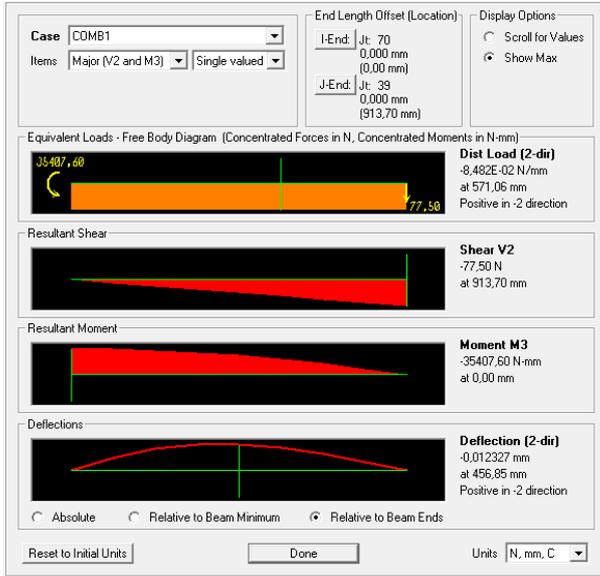


X=620 mm



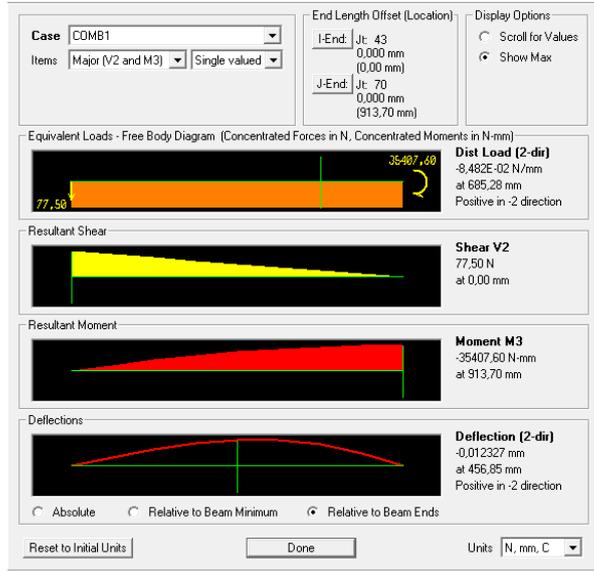
Barre N° 7 :

X = 0 mm

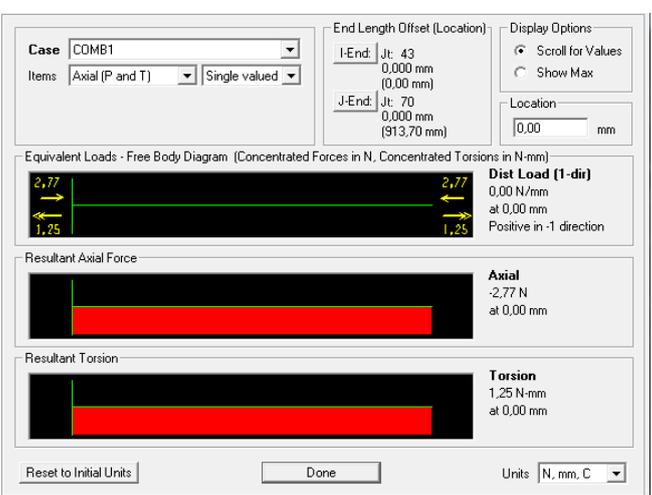
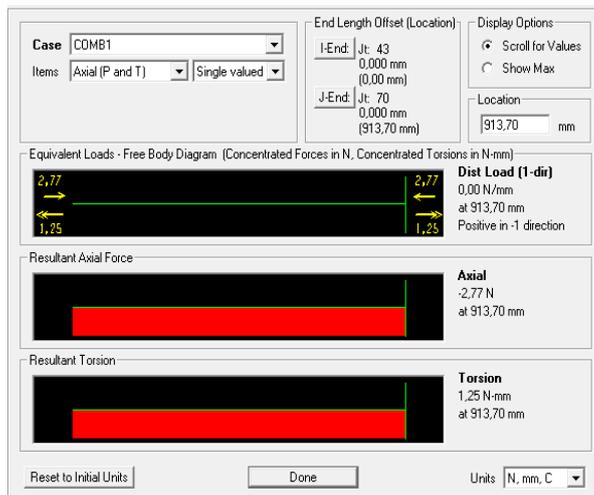
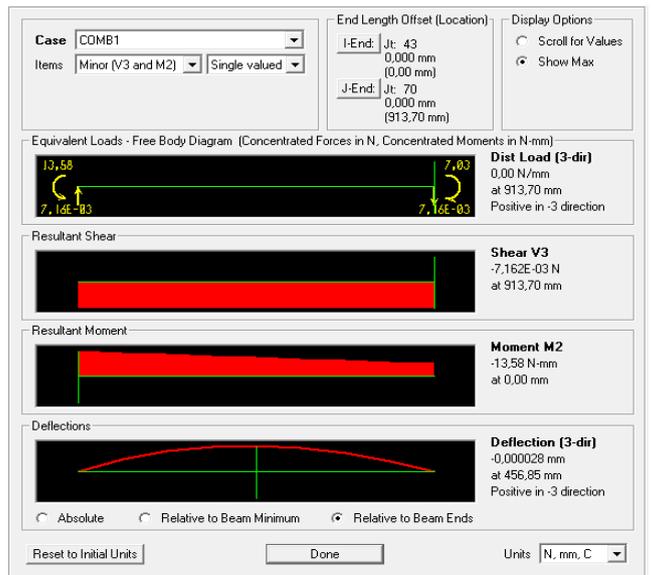
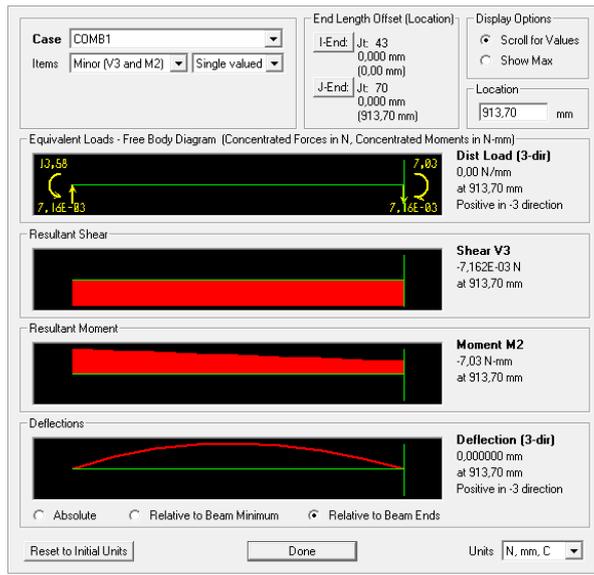
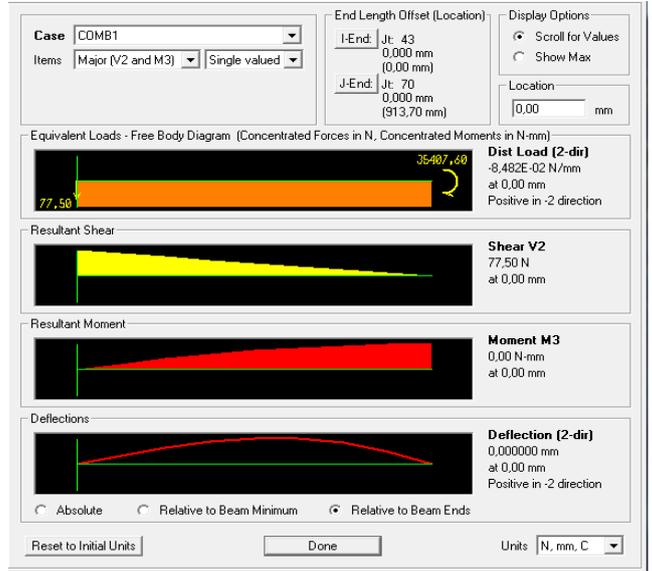


Barre N° 7' :

X = 913,70 mm

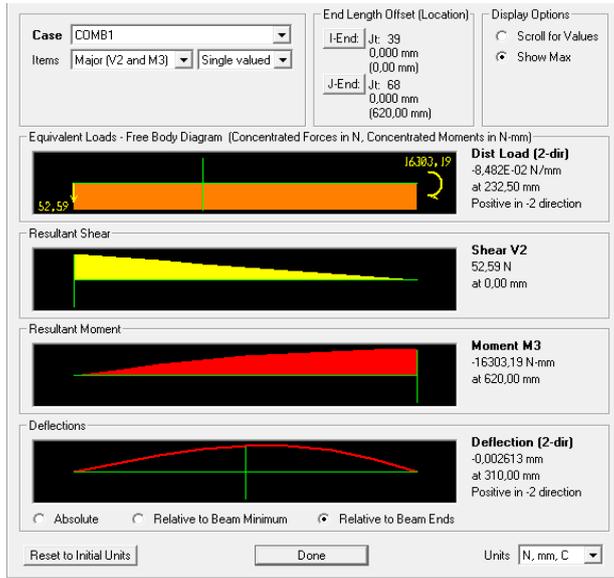


X = 0 mm

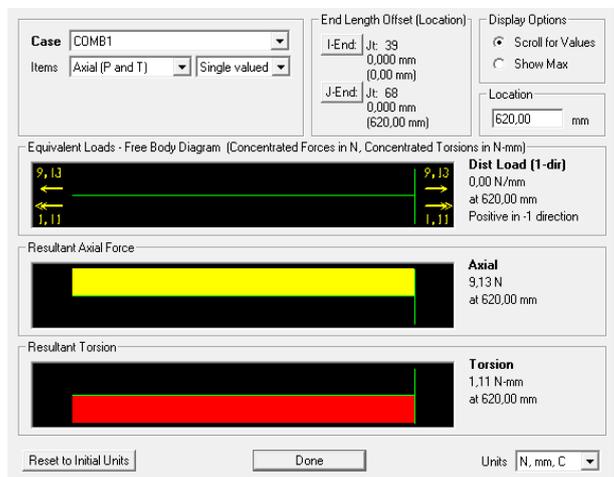
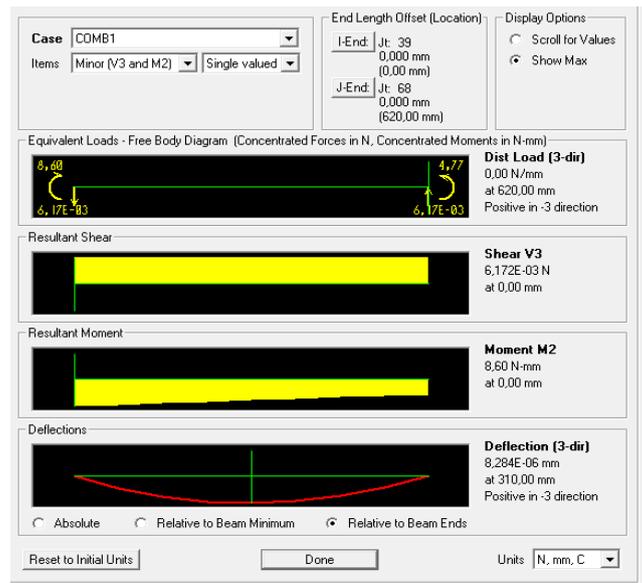
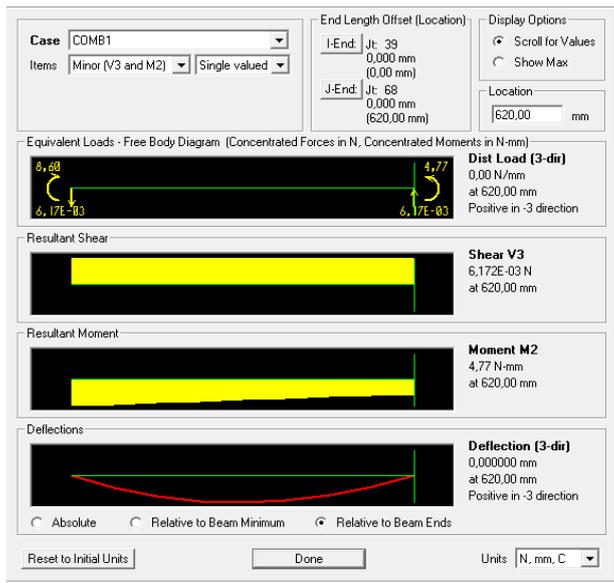
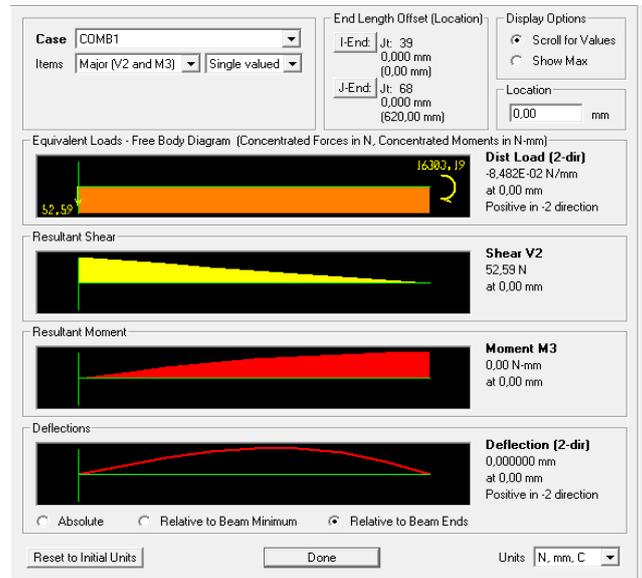


Barre N° 8 :

X = 620 mm

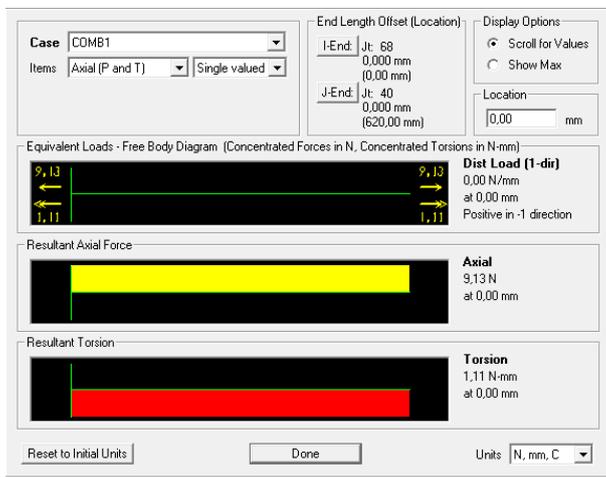
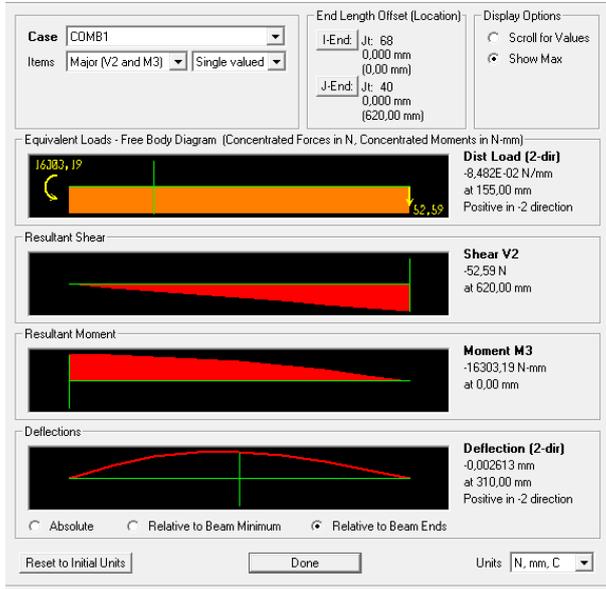


X = 0 mm



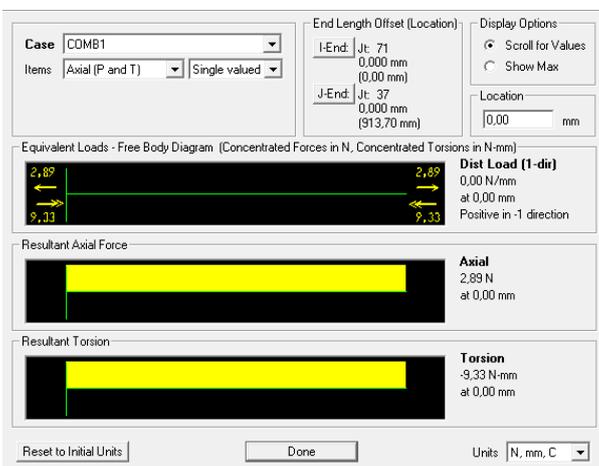
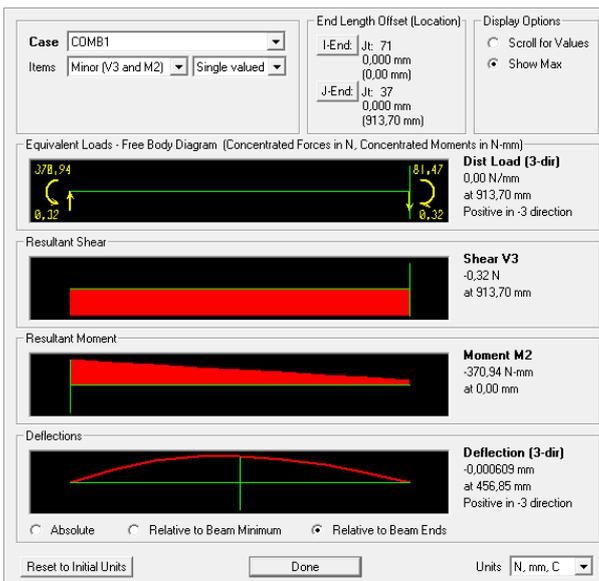
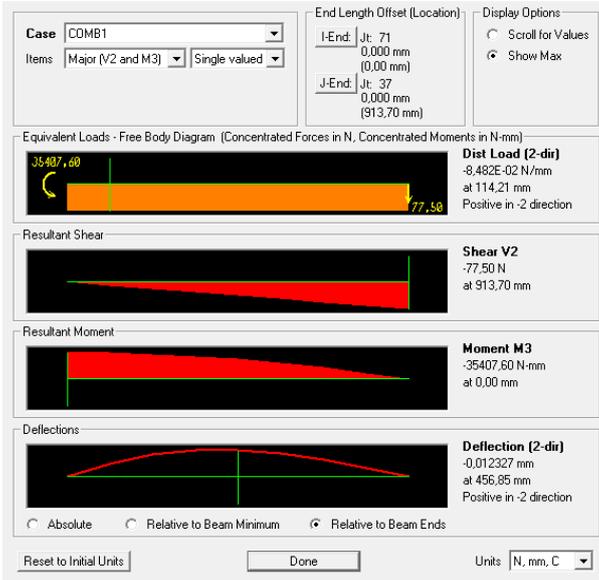
Barre N° 8' :

X = 0 mm



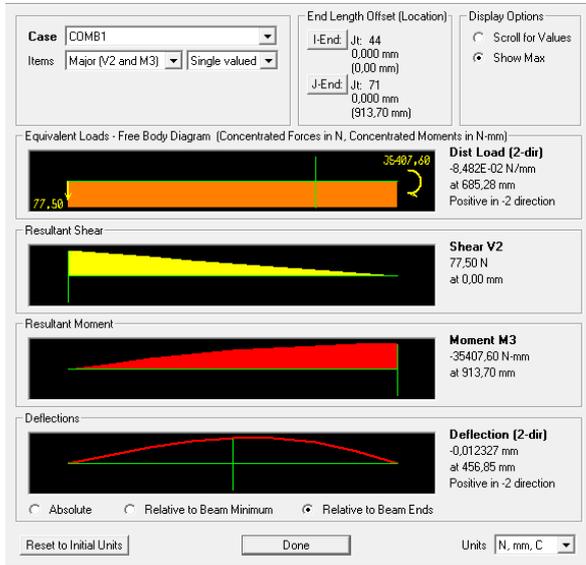
Barre N° 9 :

X = 0 mm

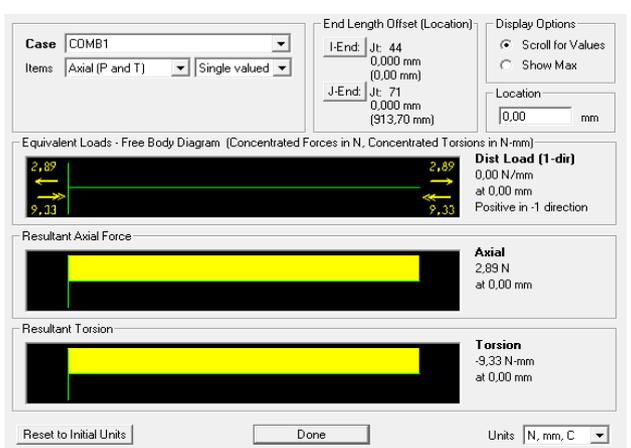
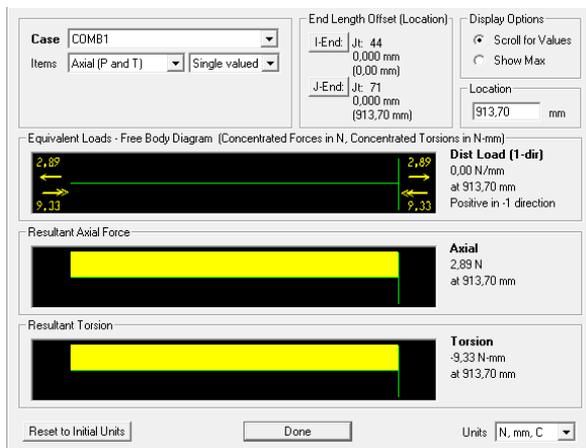
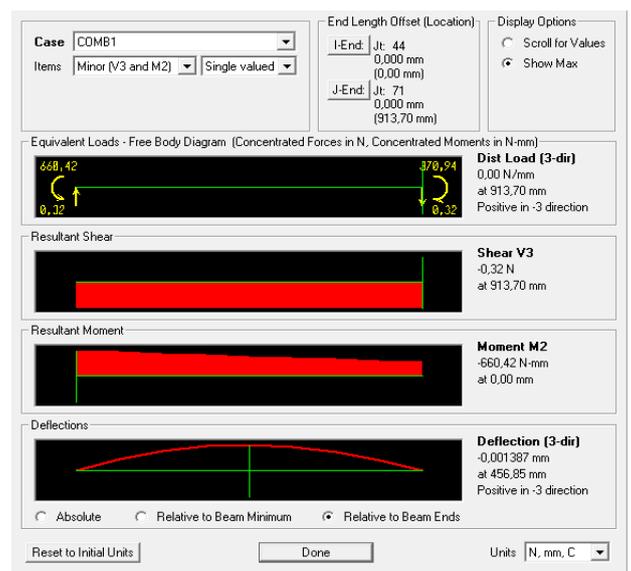
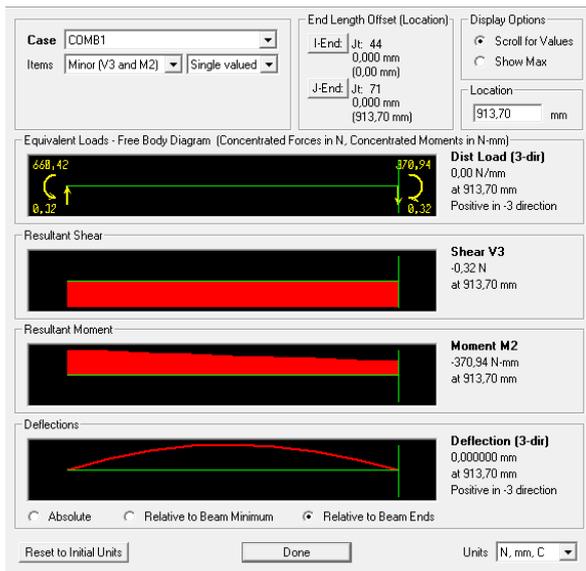
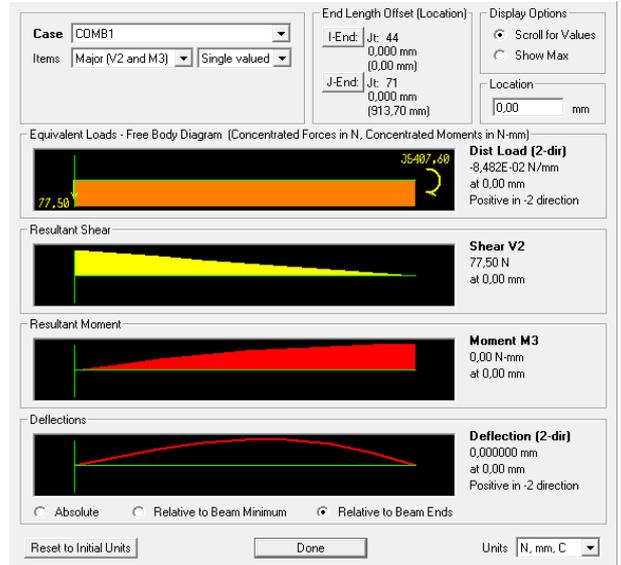


Barre N° 9' :

X = 913,70 mm



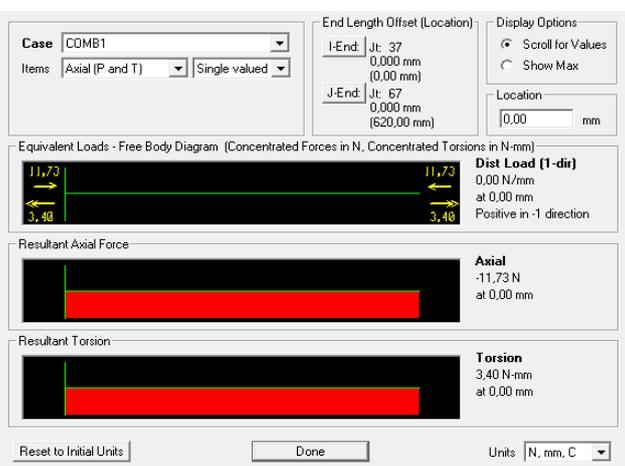
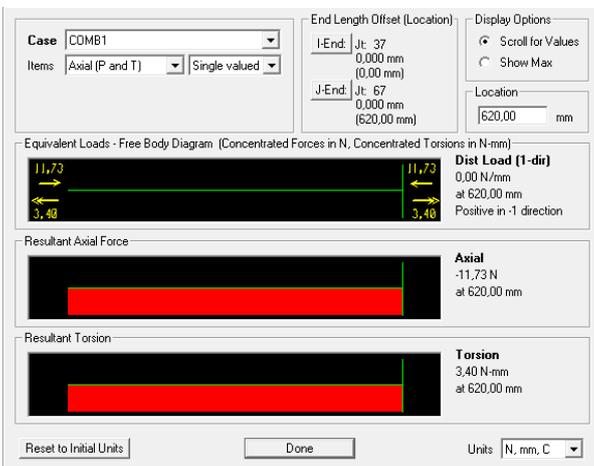
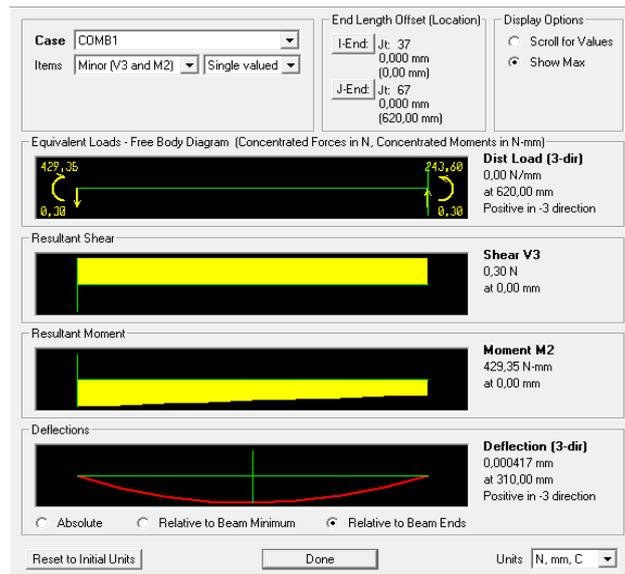
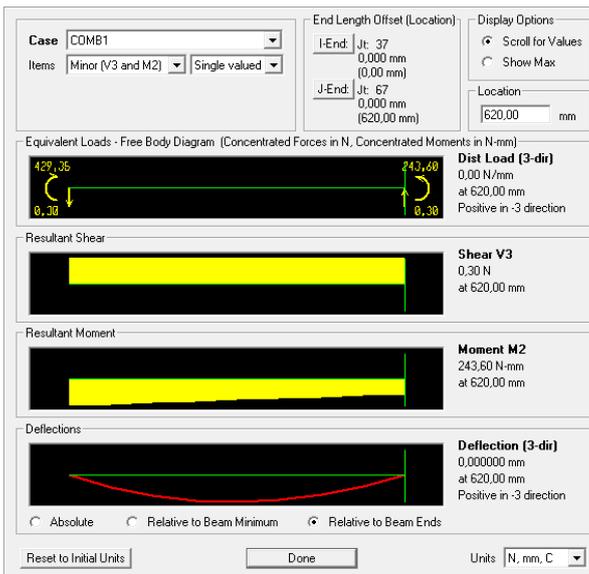
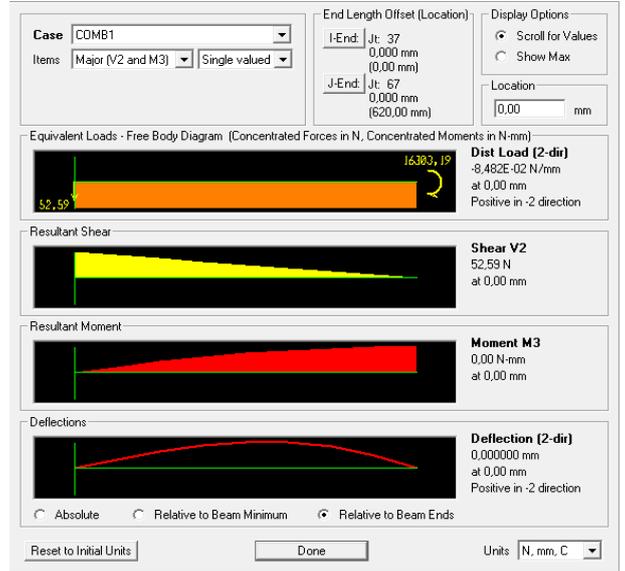
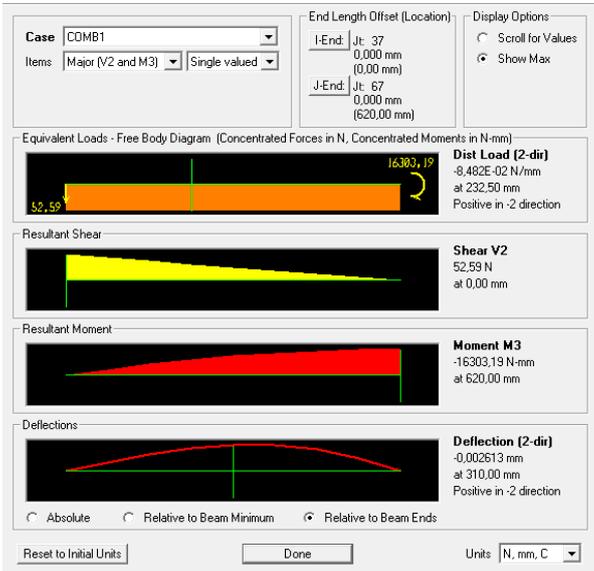
X = 0 mm



Barre N° 10 :

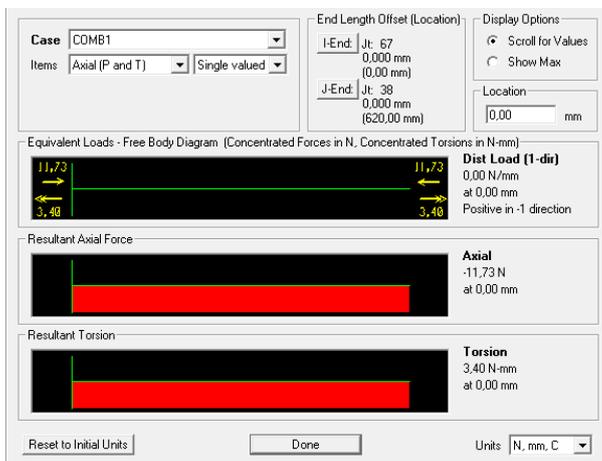
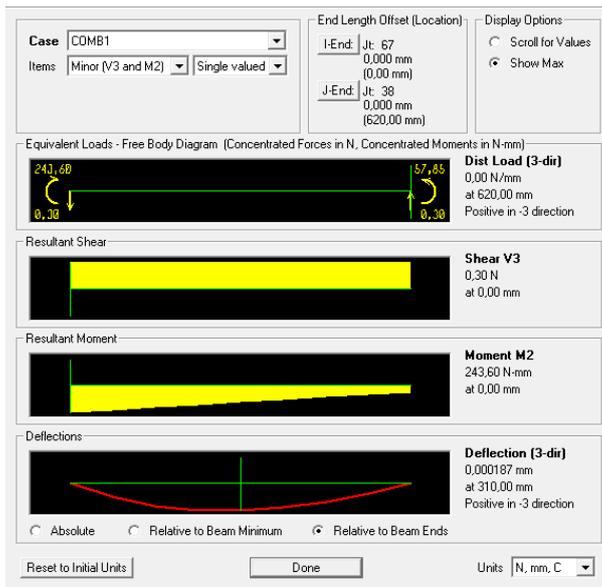
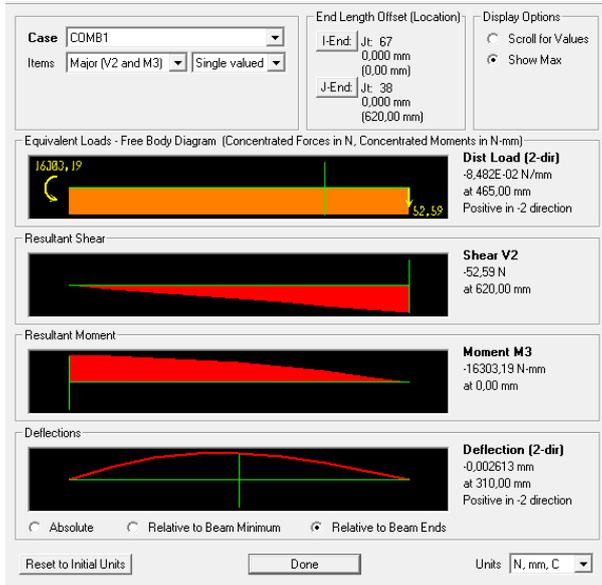
X = 620 mm

X = 0 mm



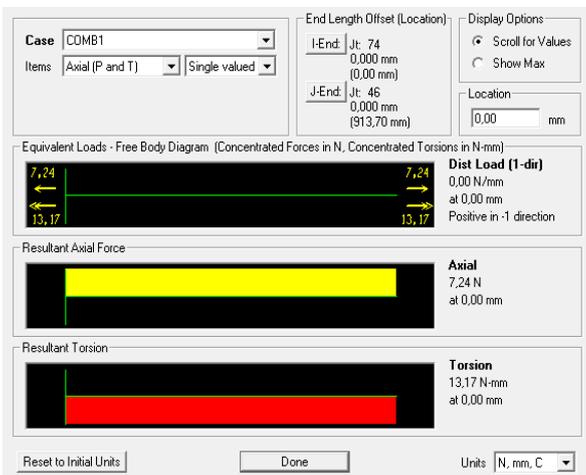
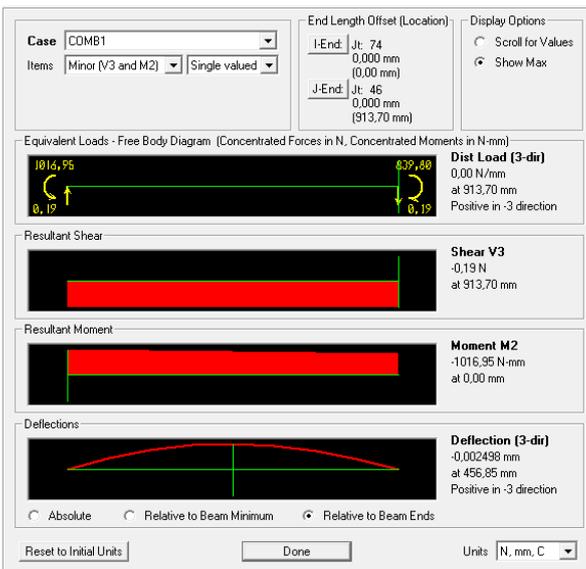
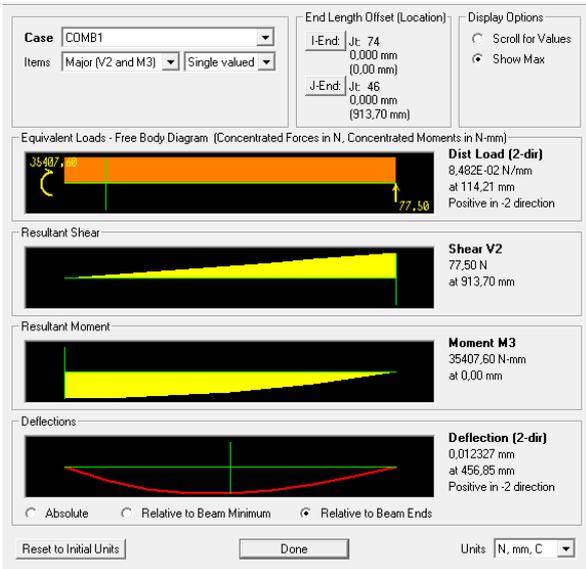
Barre N° 10' :

X= 0 mm



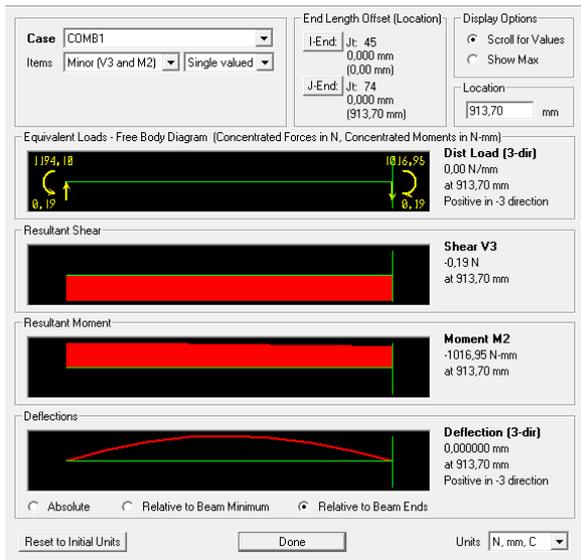
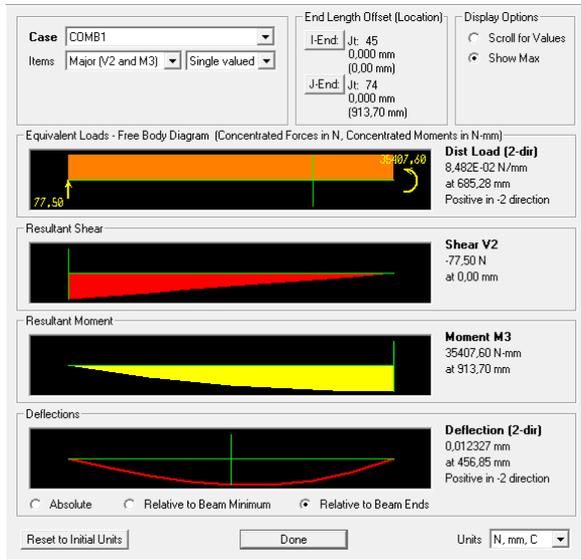
Barre N° 11 :

X = 0 mm

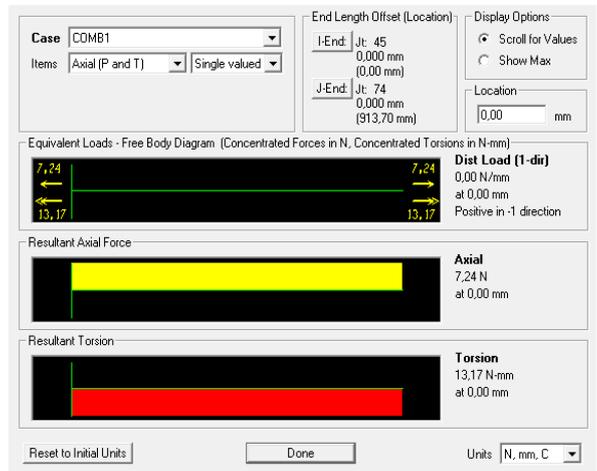
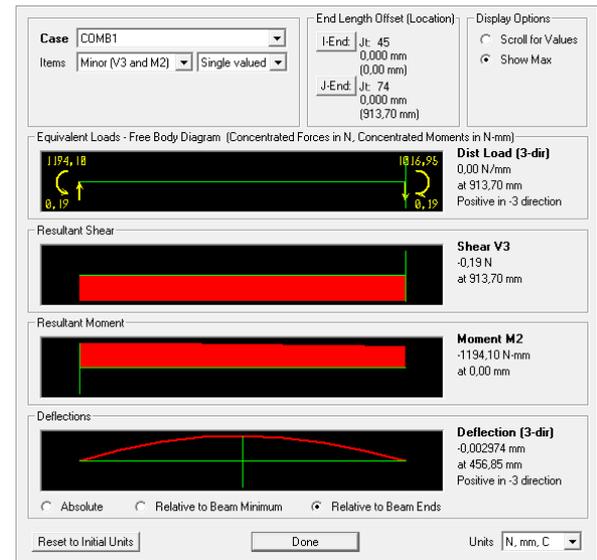
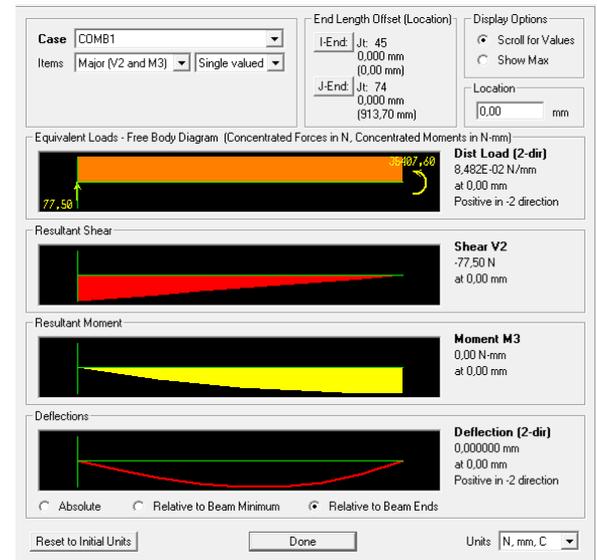


Barre N° 11' :

X = 913,70

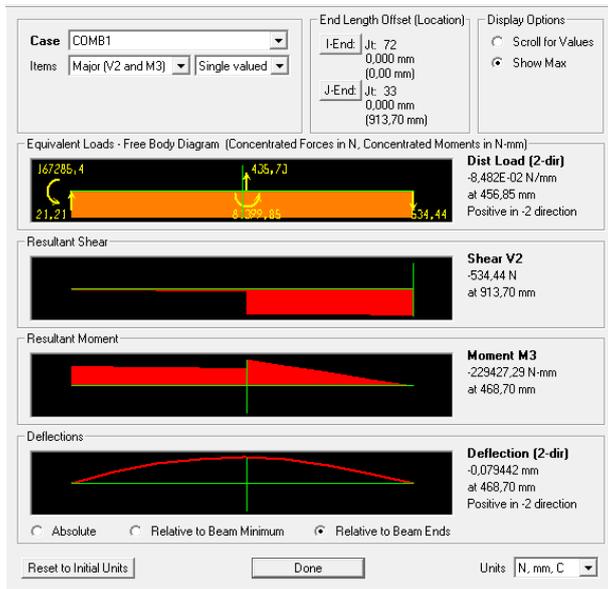


X = 0 mm

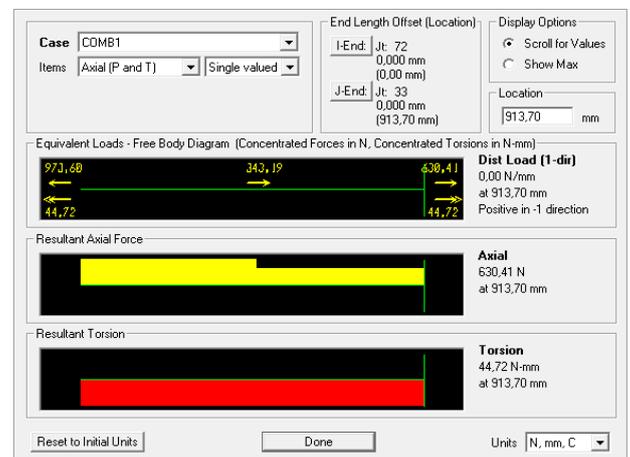
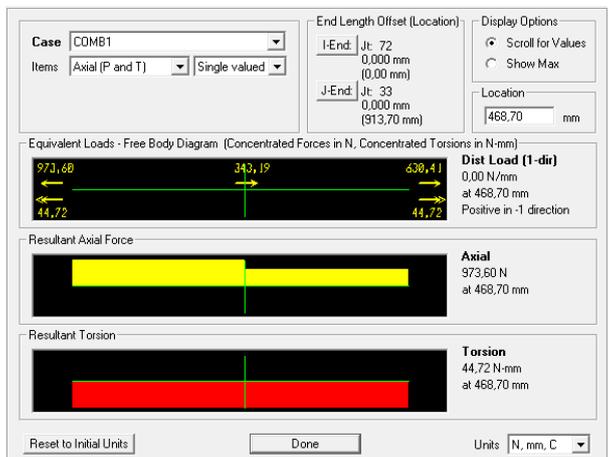
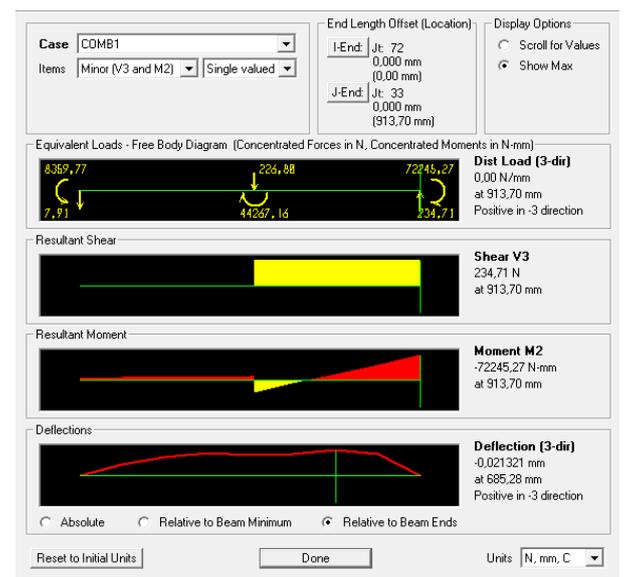
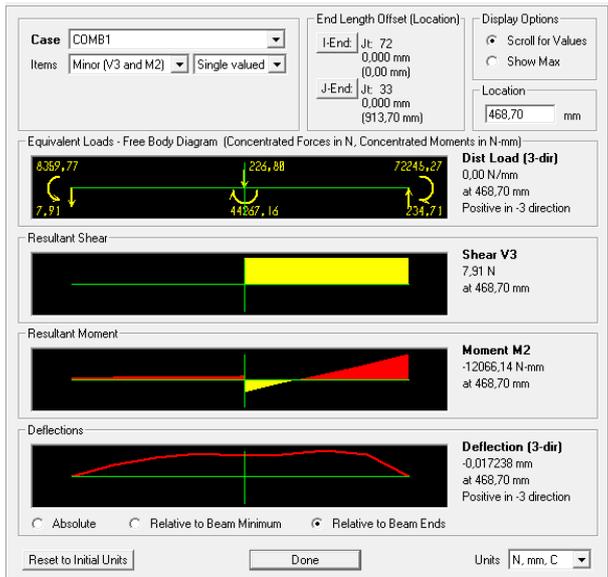
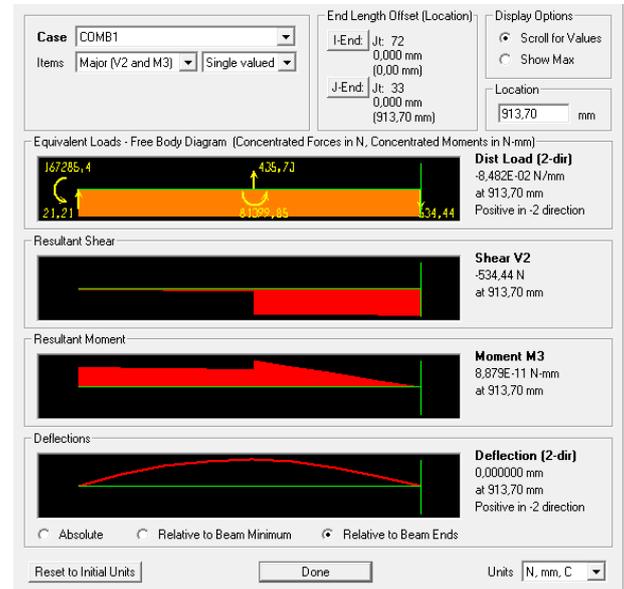


Barre N° 12 :

X = 468,70 mm



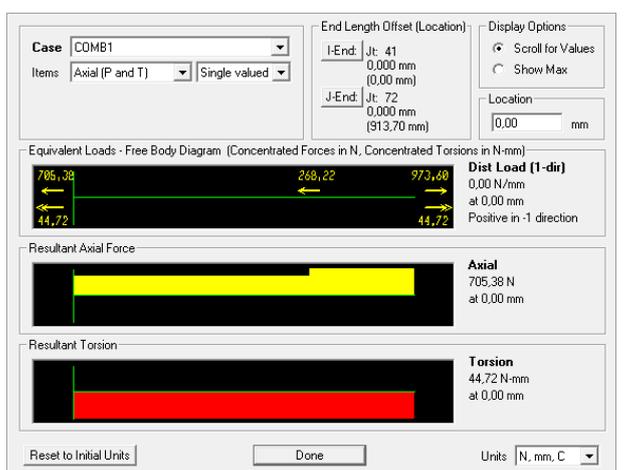
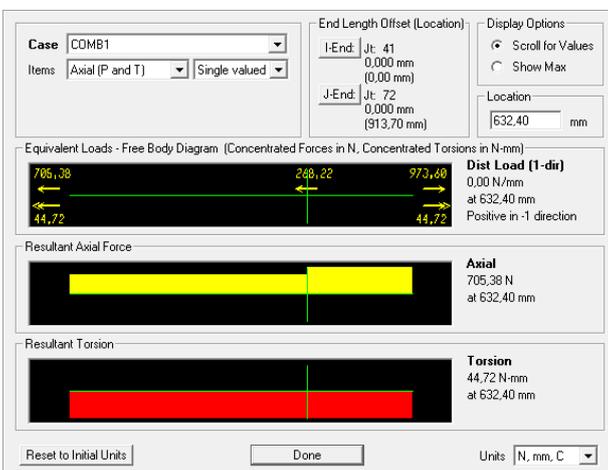
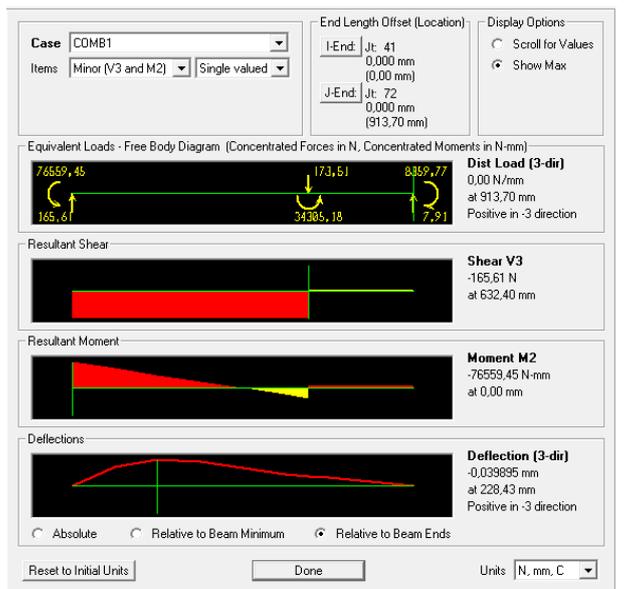
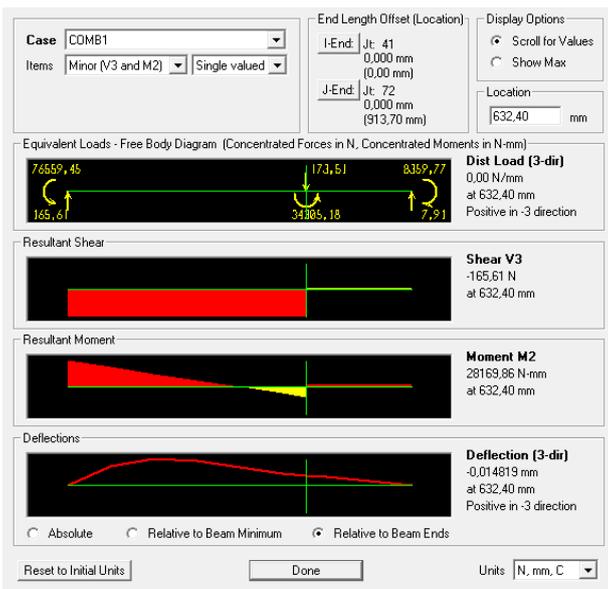
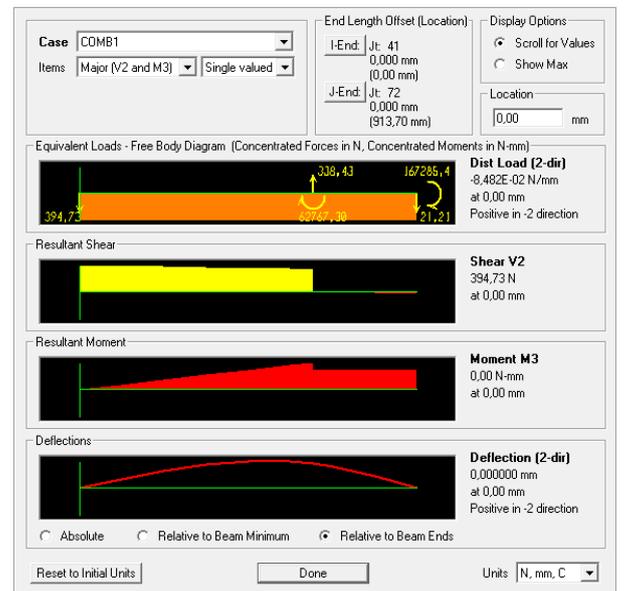
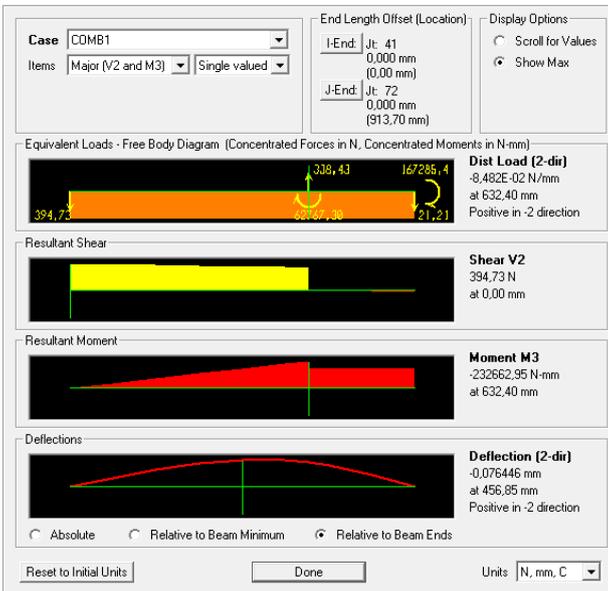
X = 913,70 mm



Barre N° 12' :

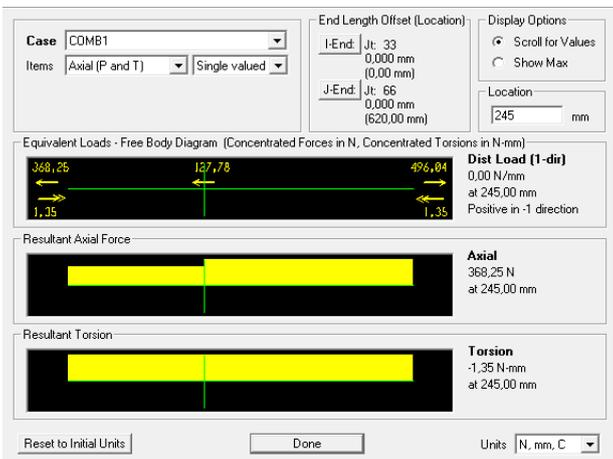
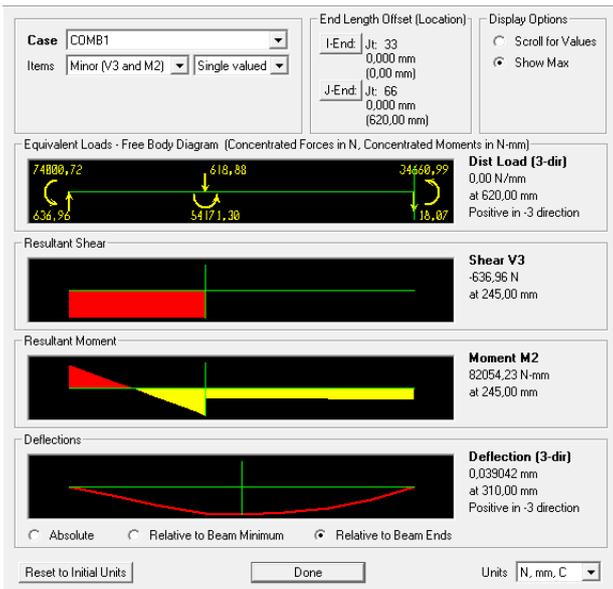
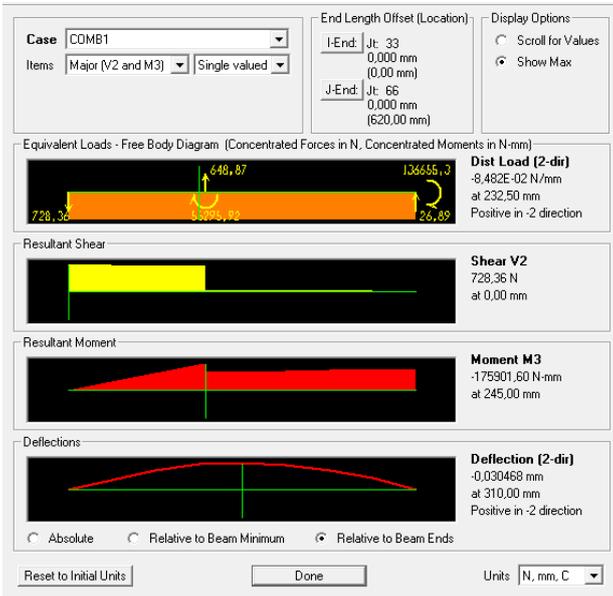
X = 632,40 mm

x = 0 mm



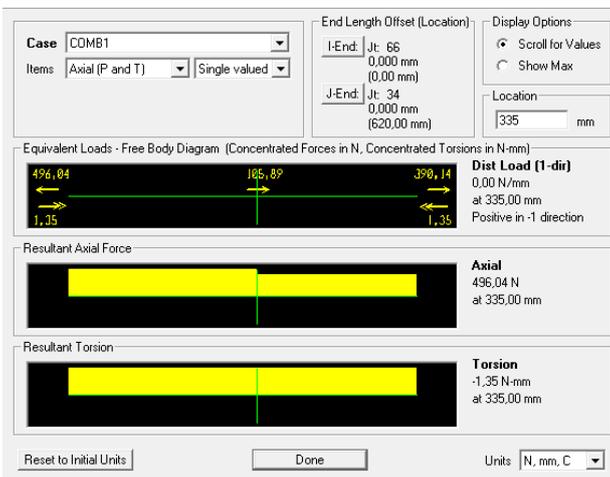
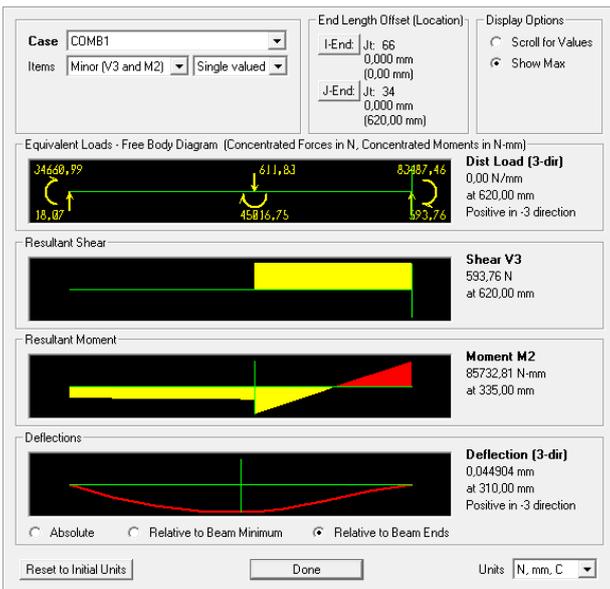
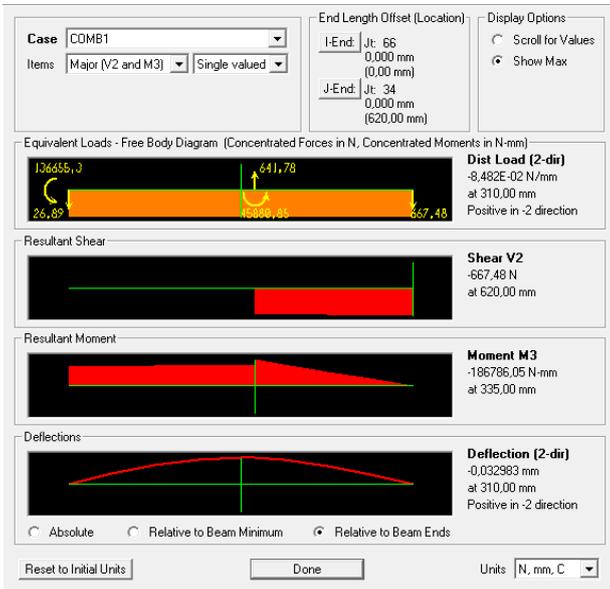
Barre N° 13 :

X = 245 mm



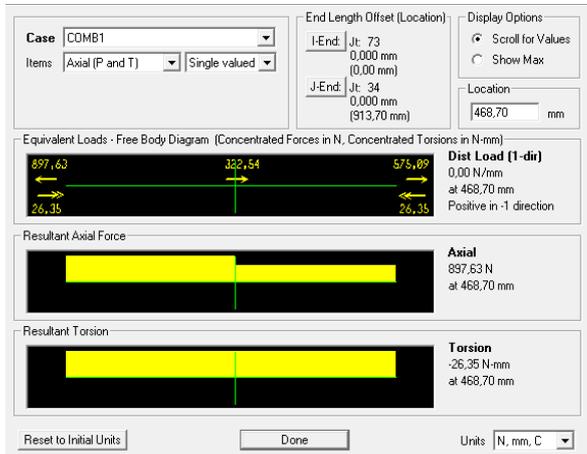
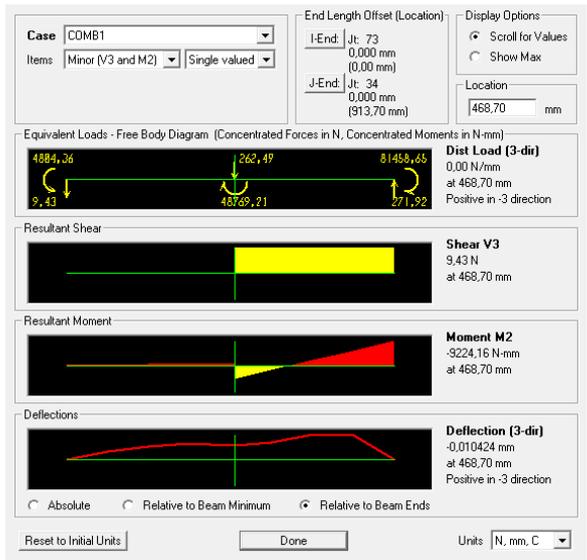
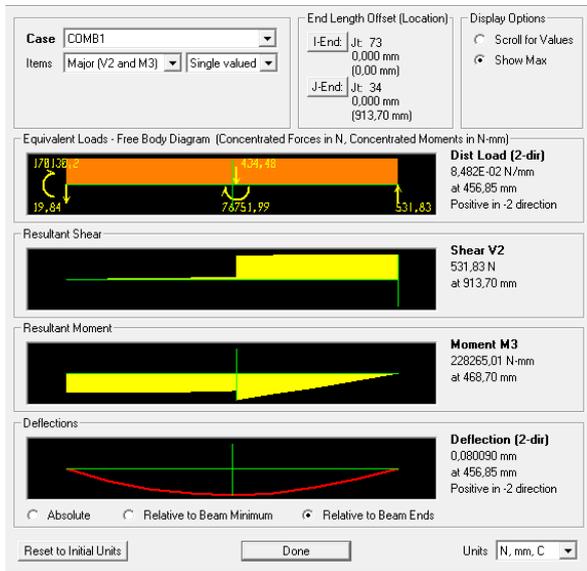
Barre N° 13 ' :

X = 335 mm

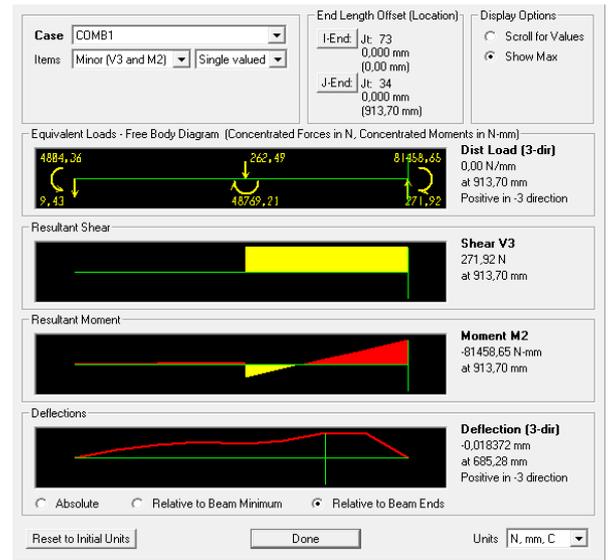
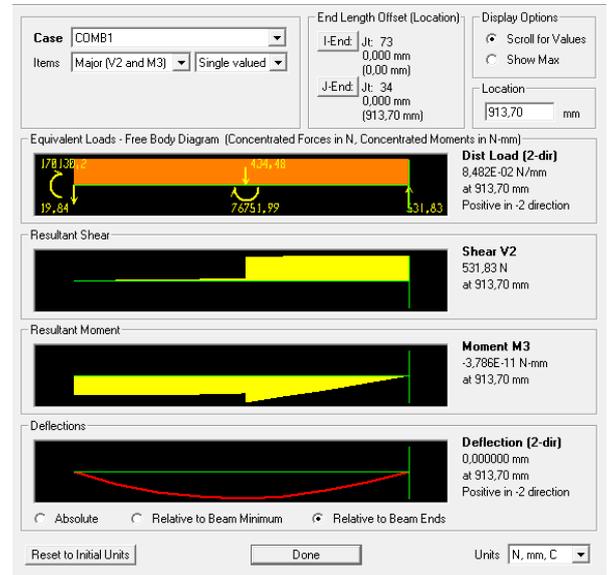


Barre N° 14 :

X = 468,70 mm

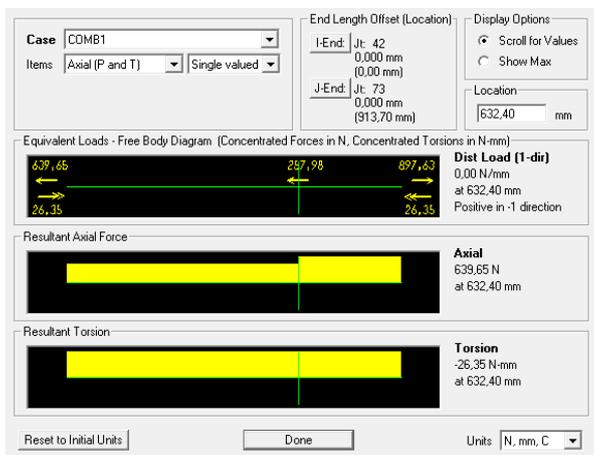
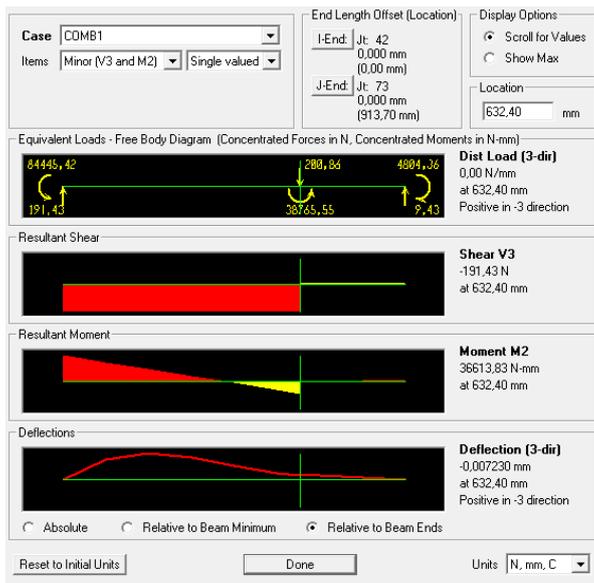
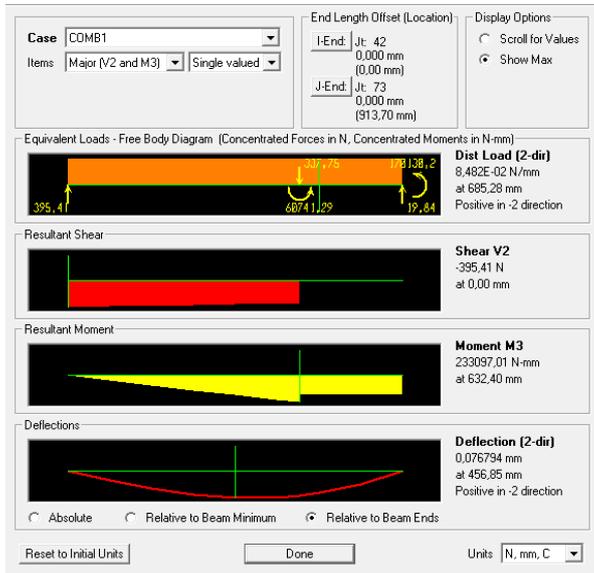


X = 913,70 mm

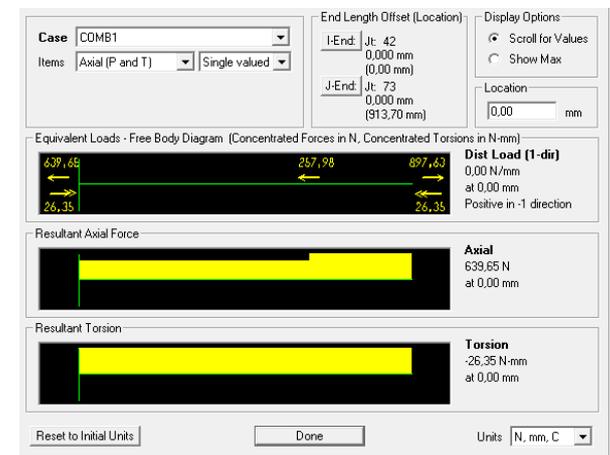
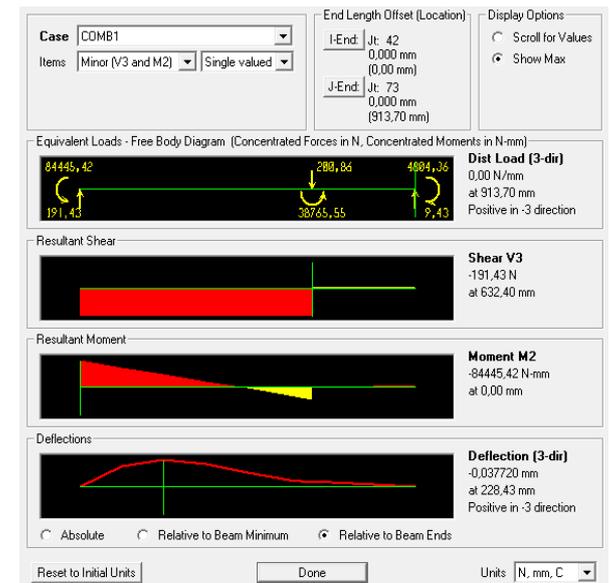
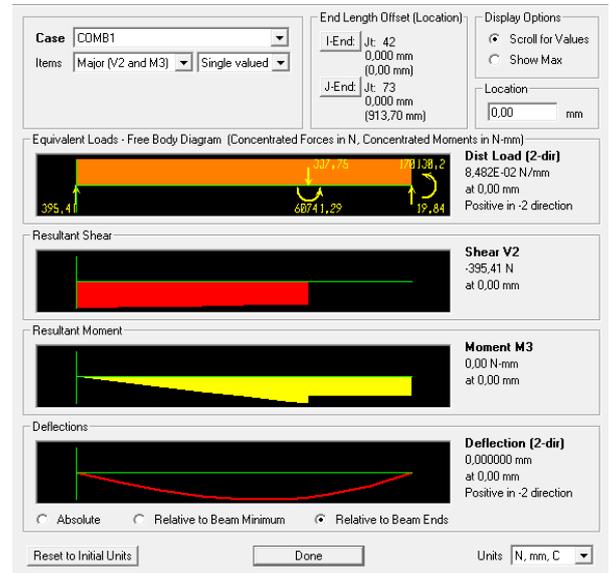


Barre N° 14' :

X = 632,40 mm

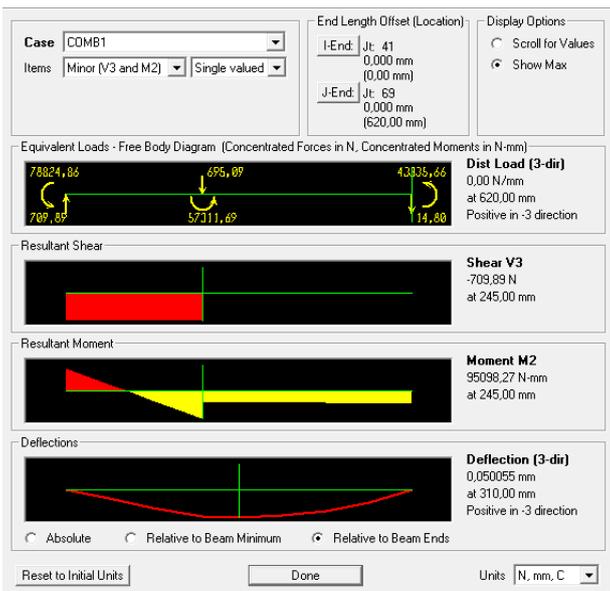
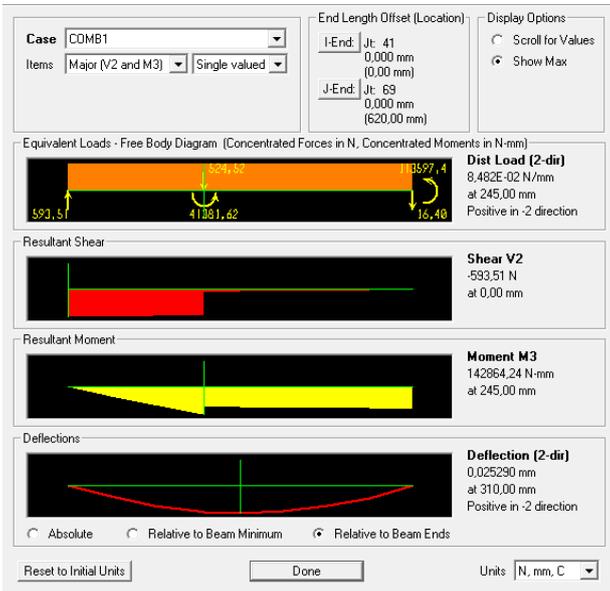


X = 0 mm



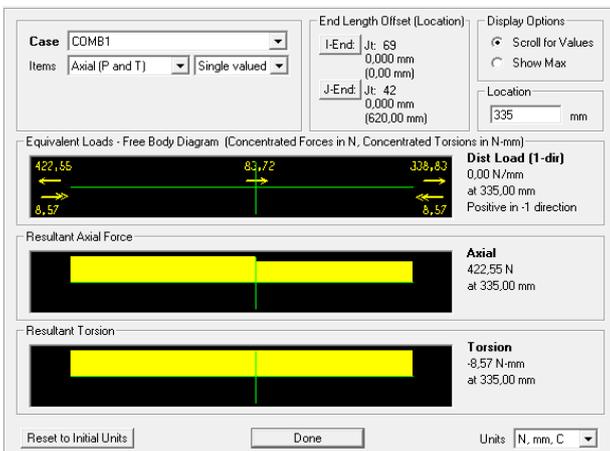
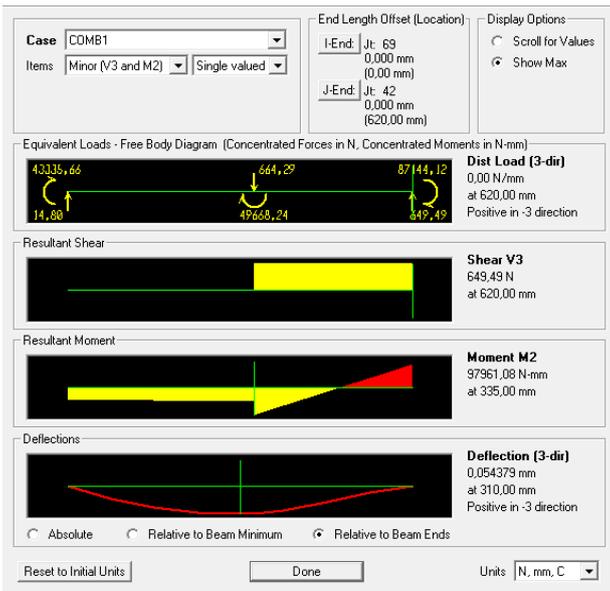
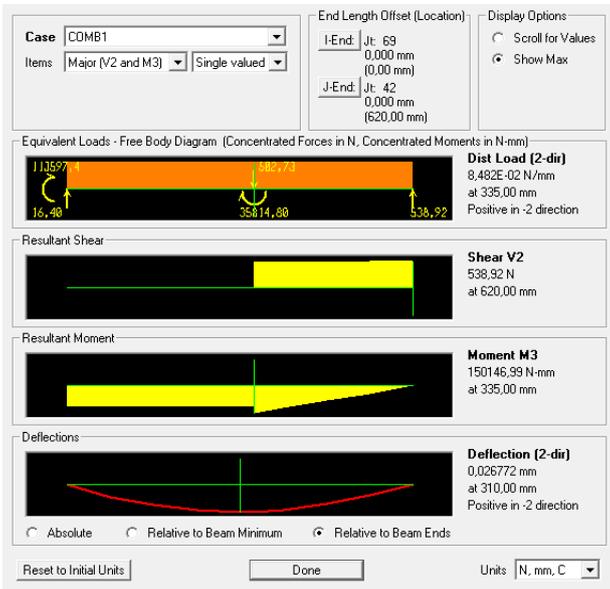
Barre N° 15 :

X = 245 mm



Barre N° 15' :

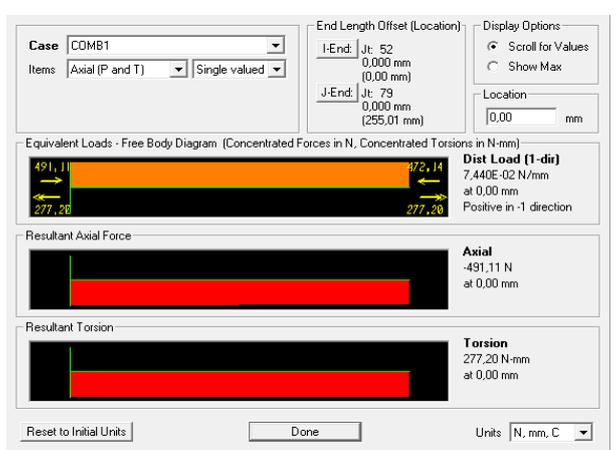
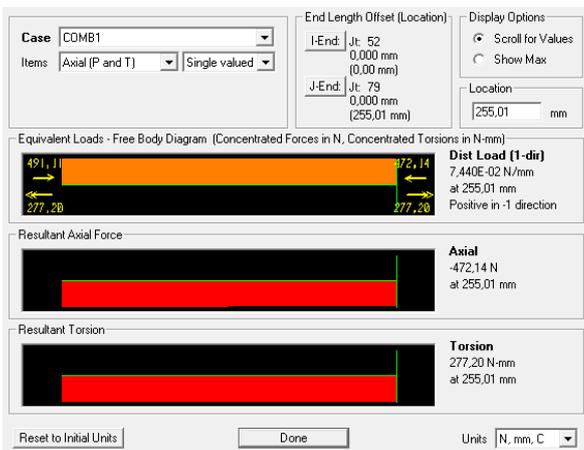
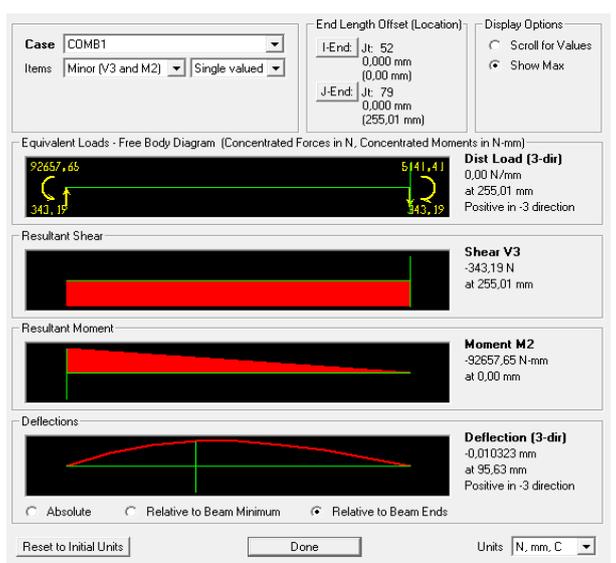
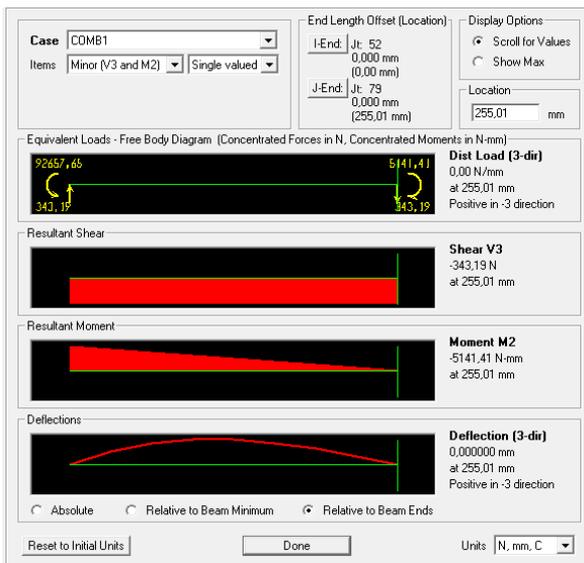
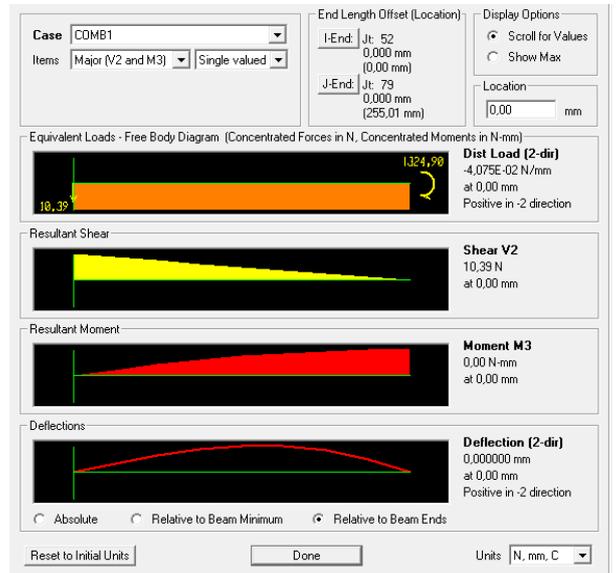
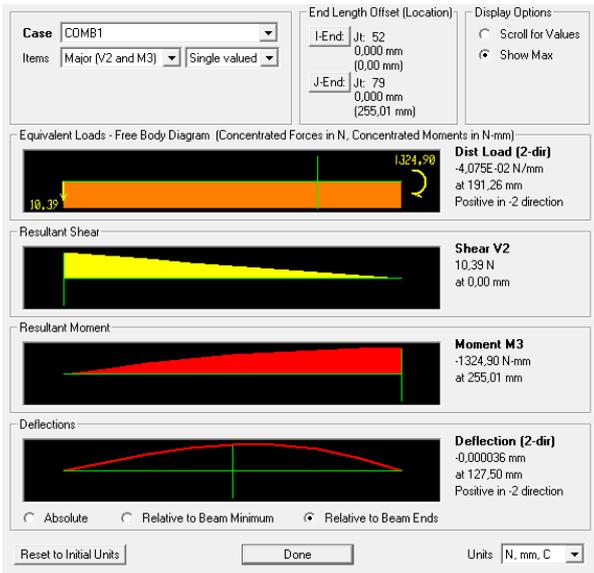
X = 335 mm



Barre N° 16 :

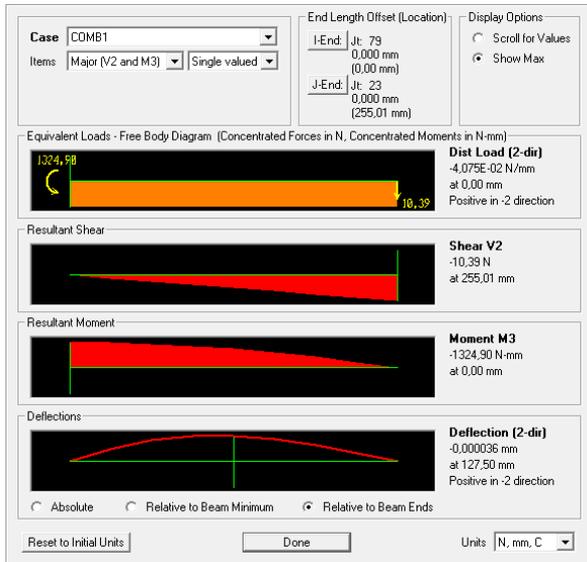
X = 255,01 mm

X = 0 mm

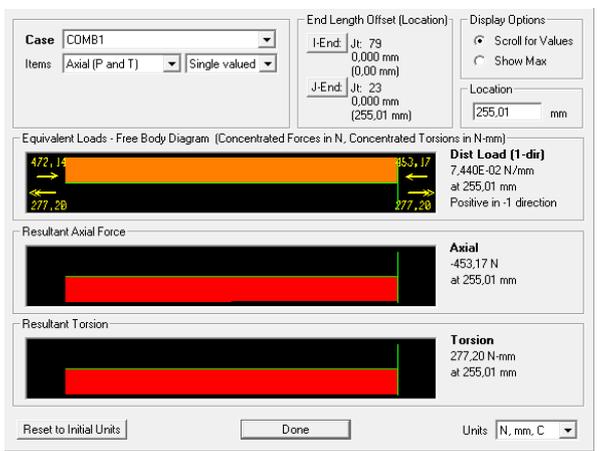
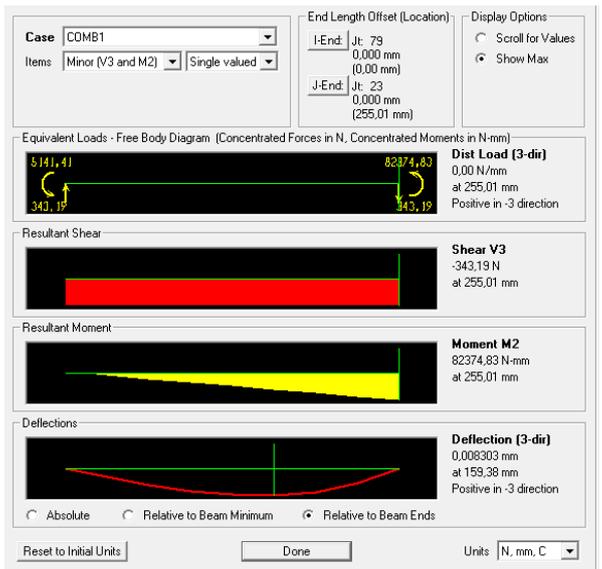
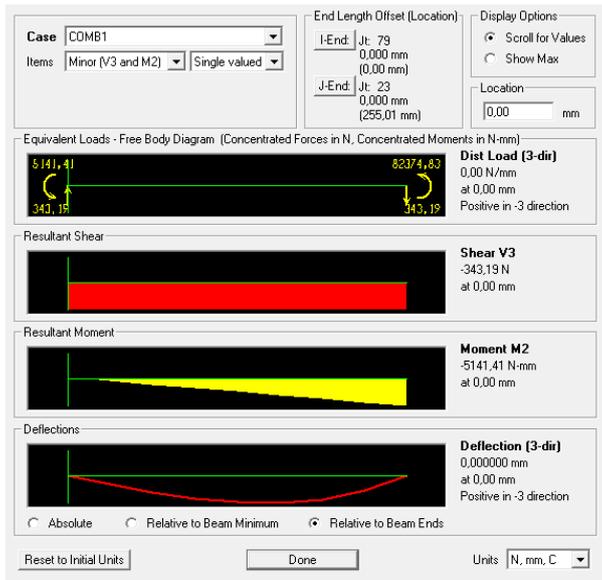
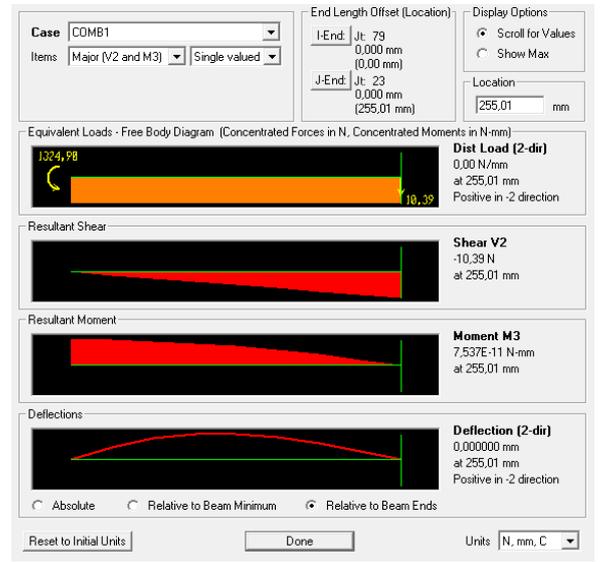


# Barre N° 16' :

X = 0 mm

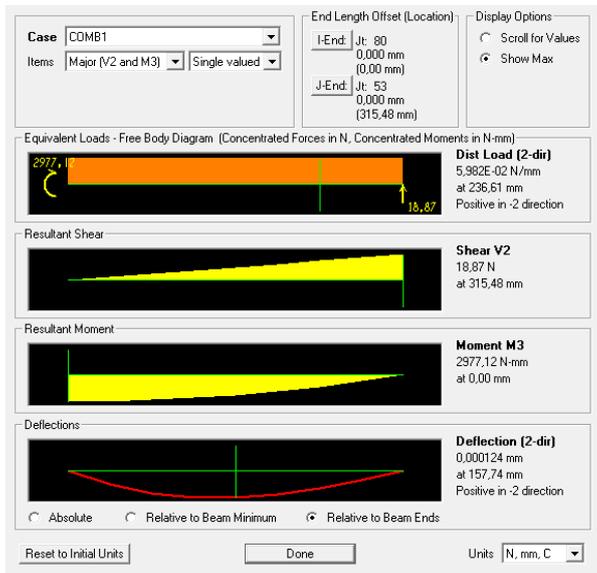


X = 255,01 mm

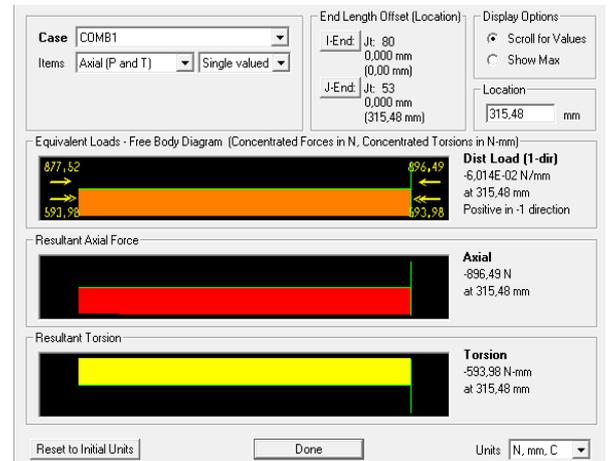
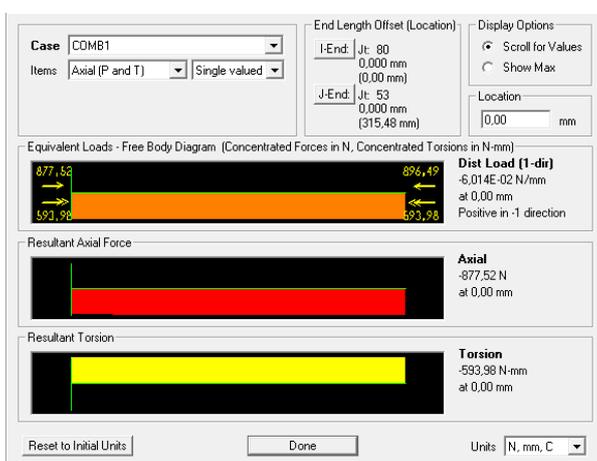
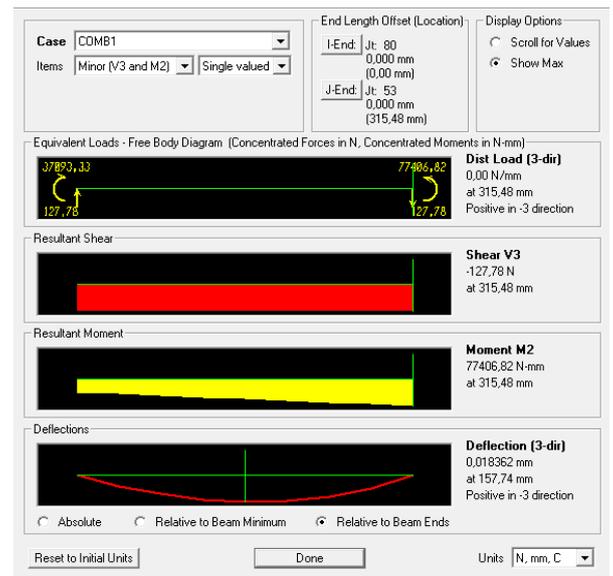
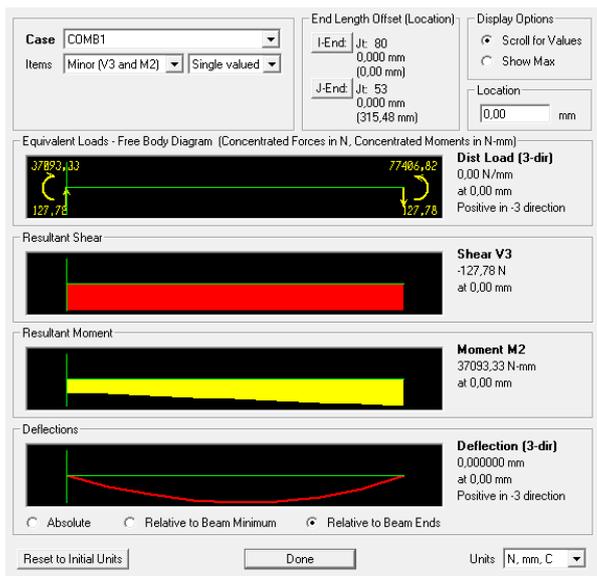
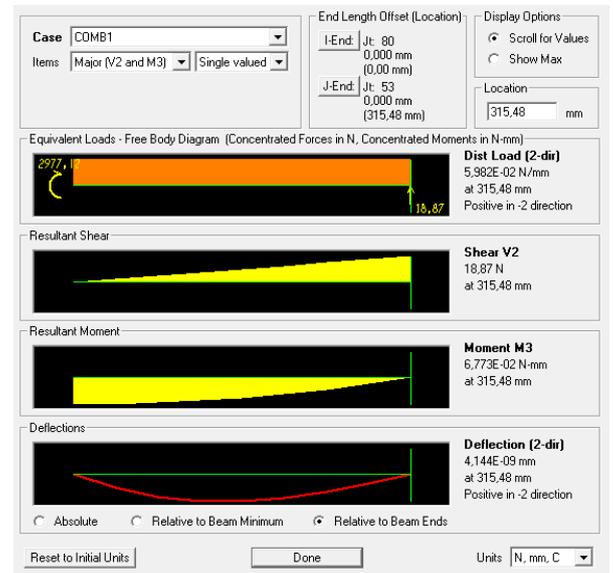


Barre N° 17 :

X = 0 mm

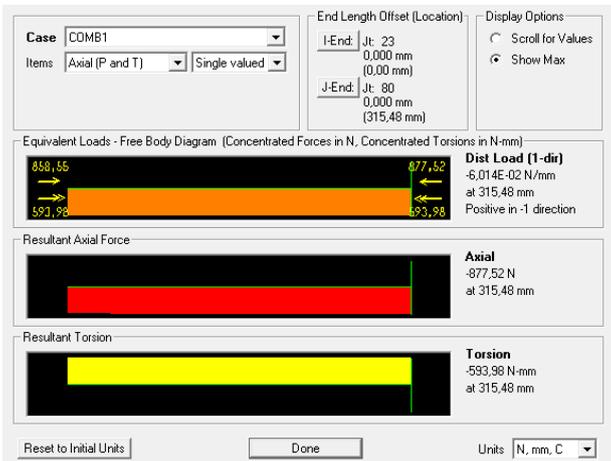
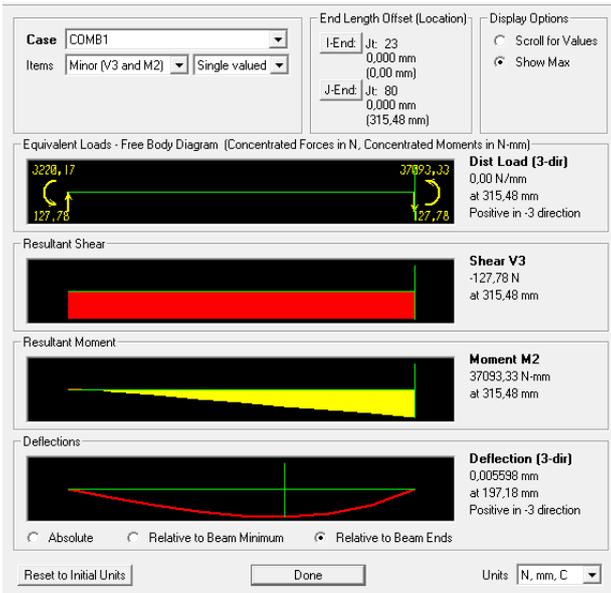
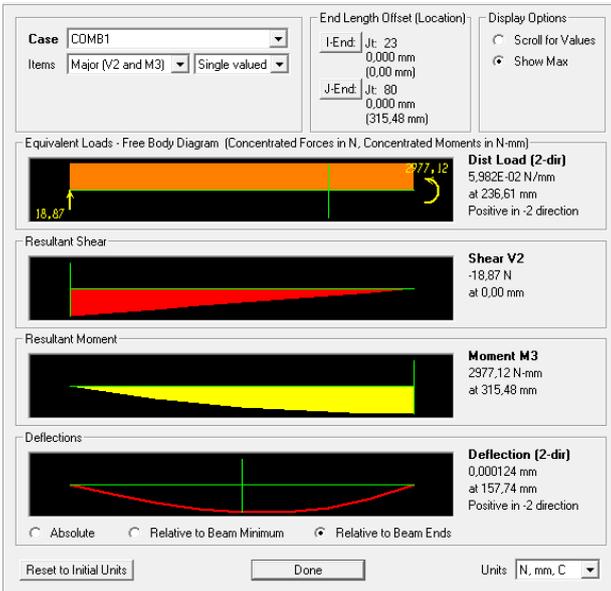


X = 315,48 mm



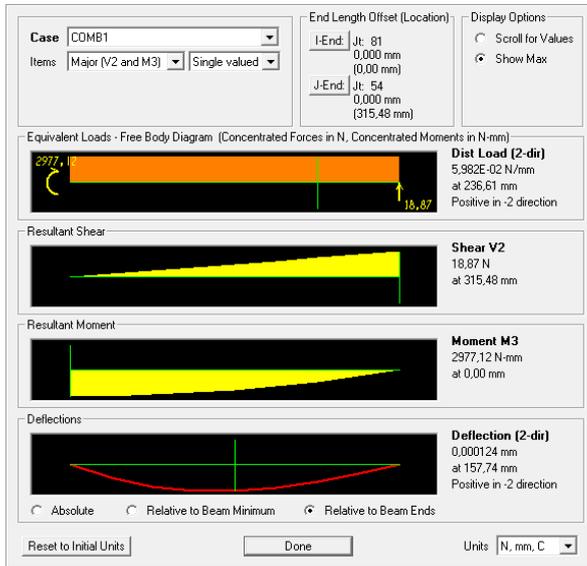
Barre N° 17' :

X = 315,48 mm

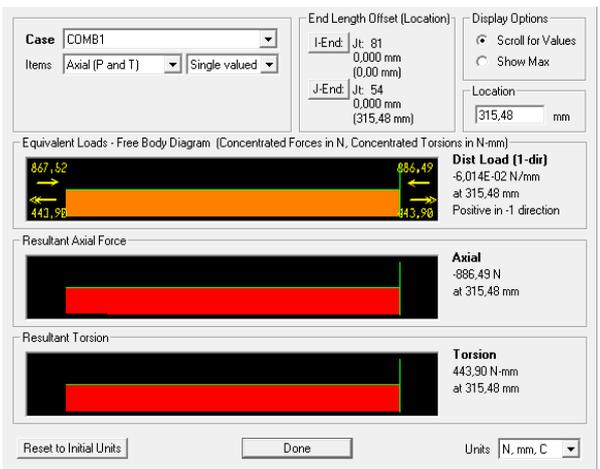
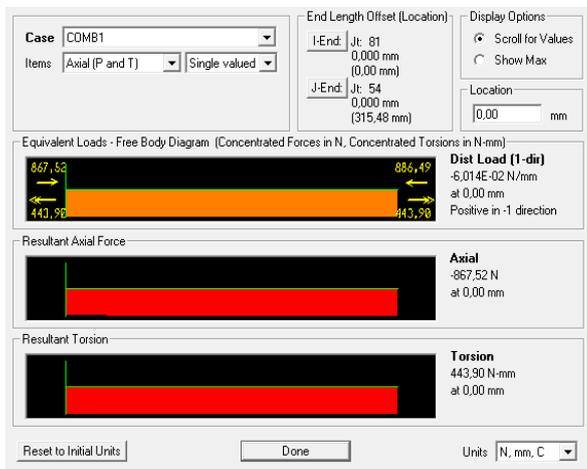
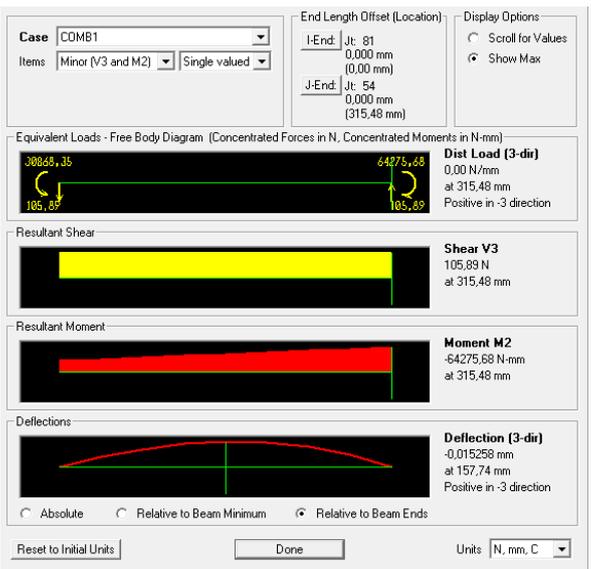
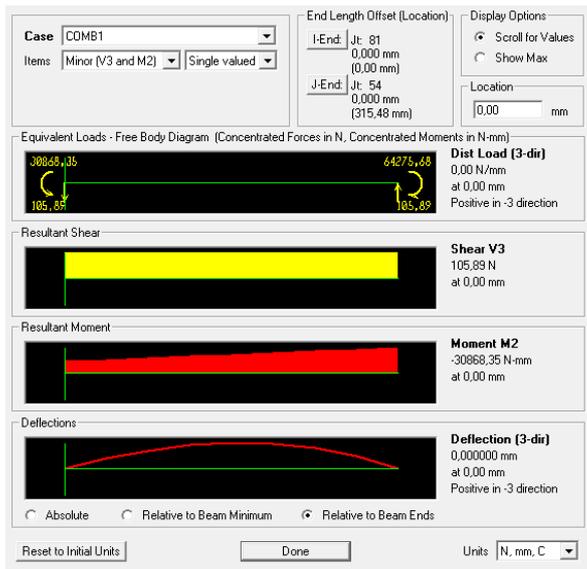
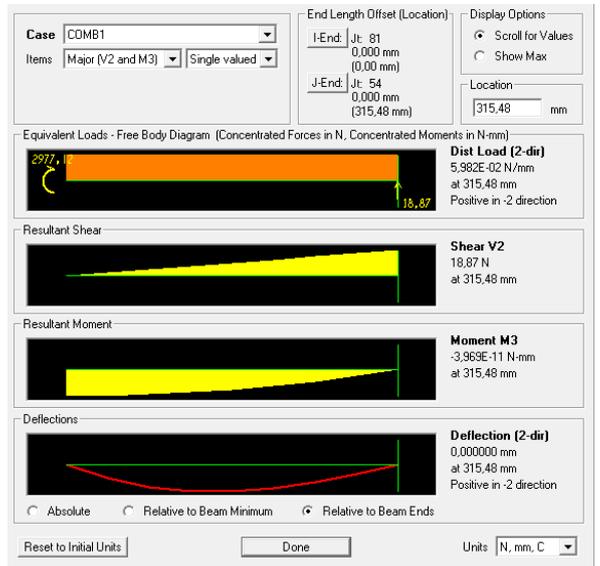


Barre N° 18 :

X = 0 mm

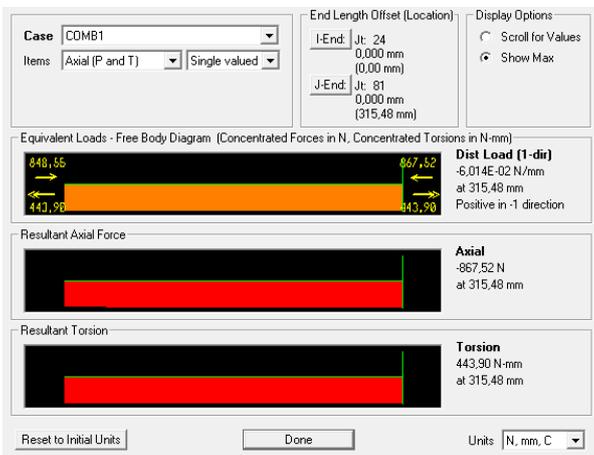
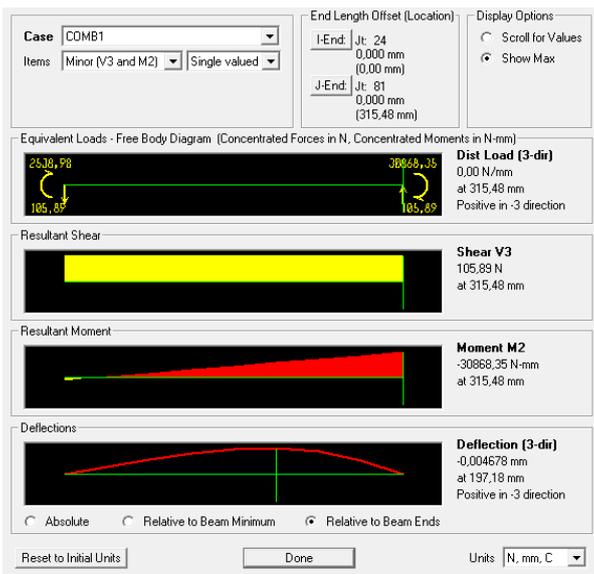
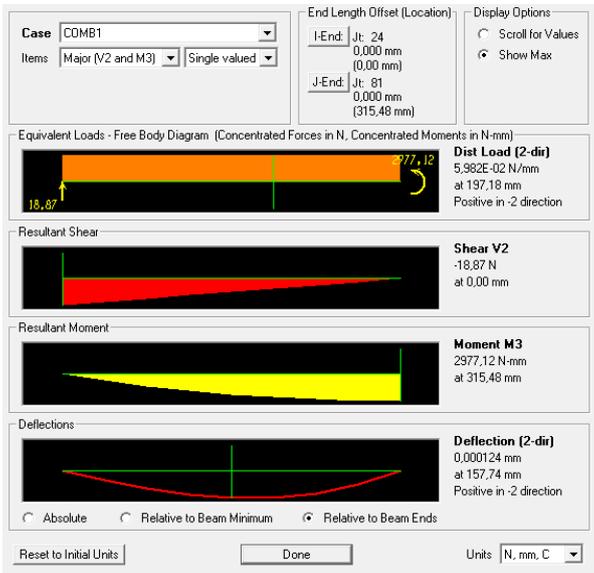


X = 315,48 mm



Barre N° 18' :

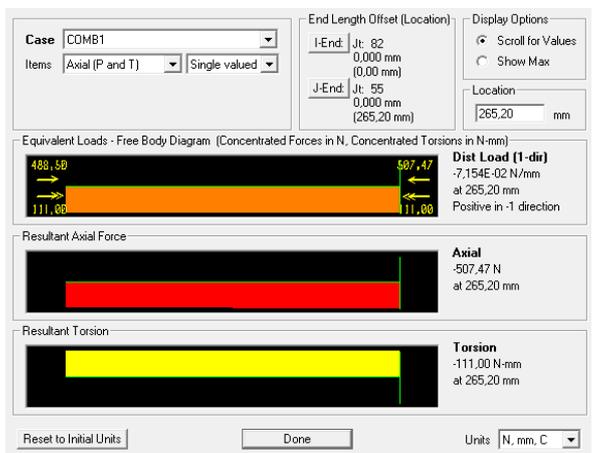
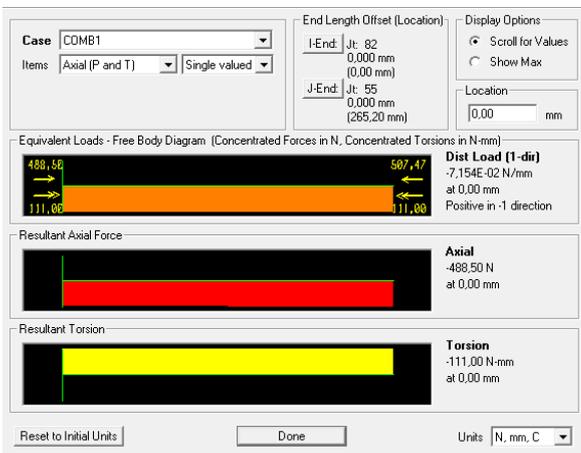
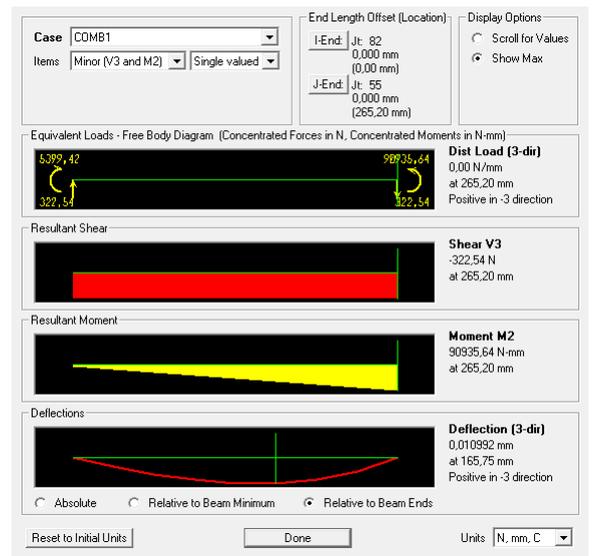
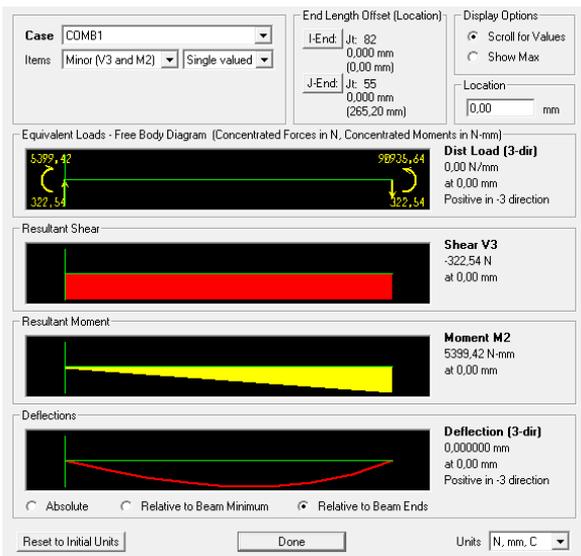
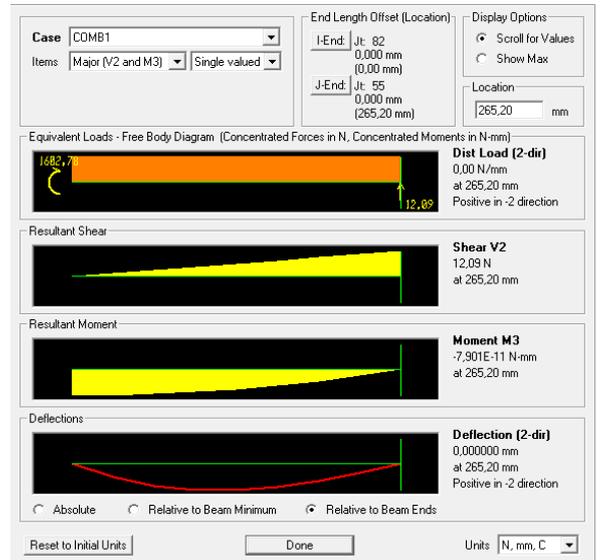
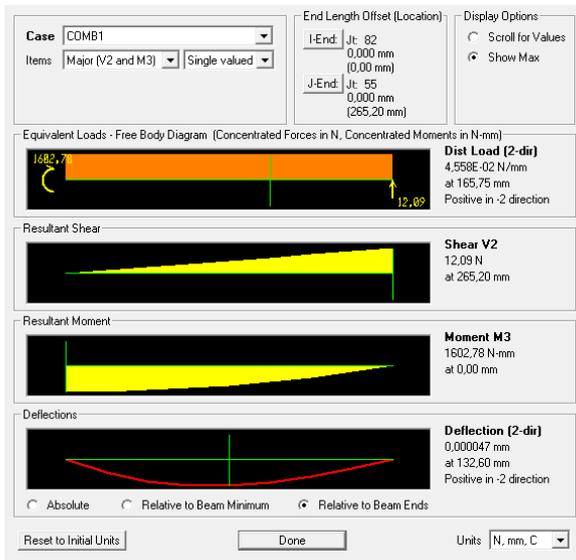
X = 315,48 mm



Barre N° 19 :

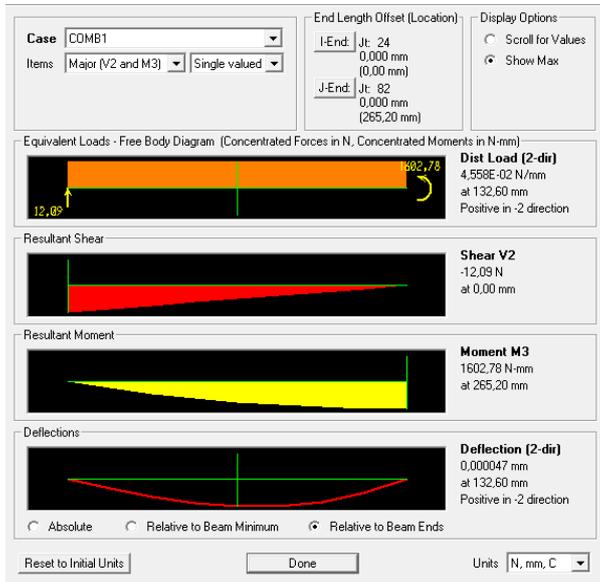
X = 0 mm

X = 265,20 mm

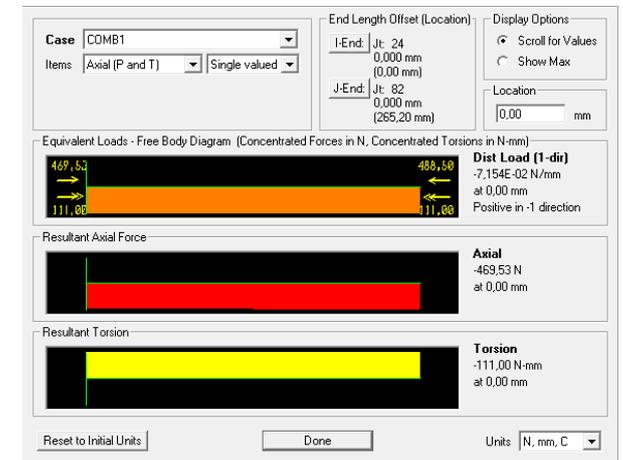
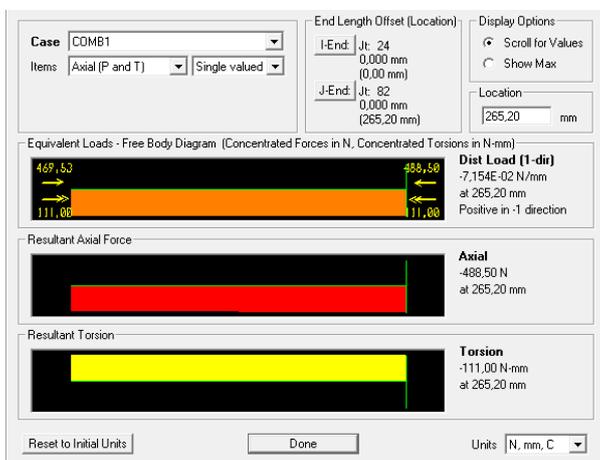
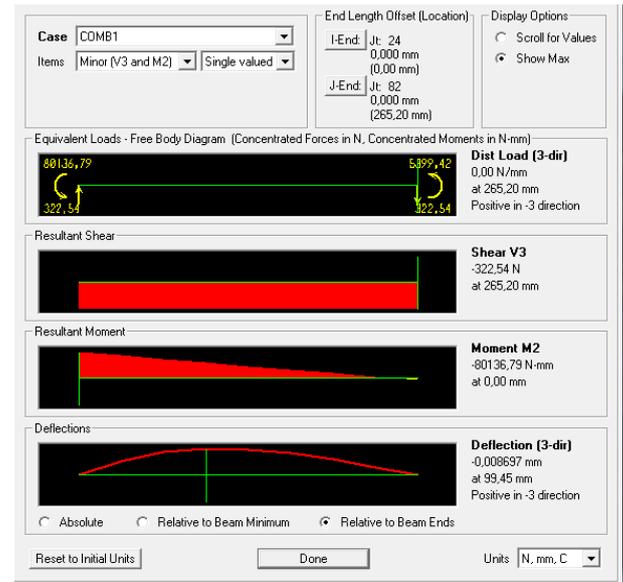
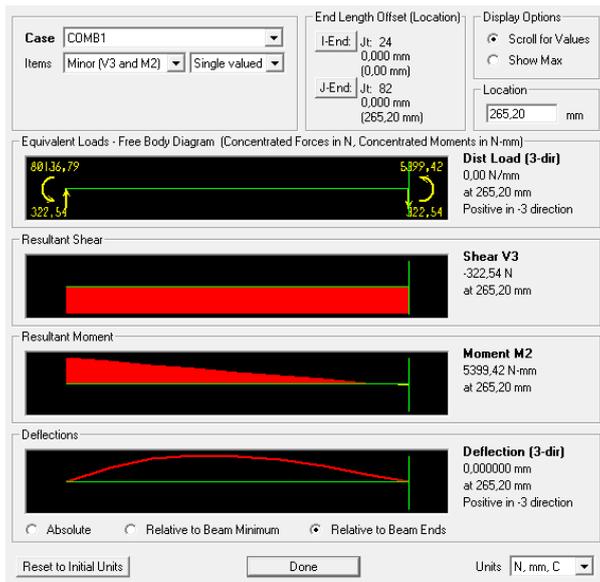
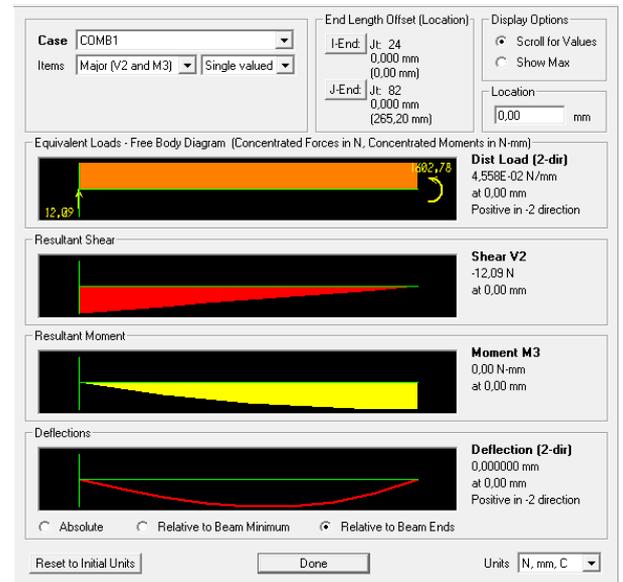


Barre N° 19' :

X = 256,20 mm

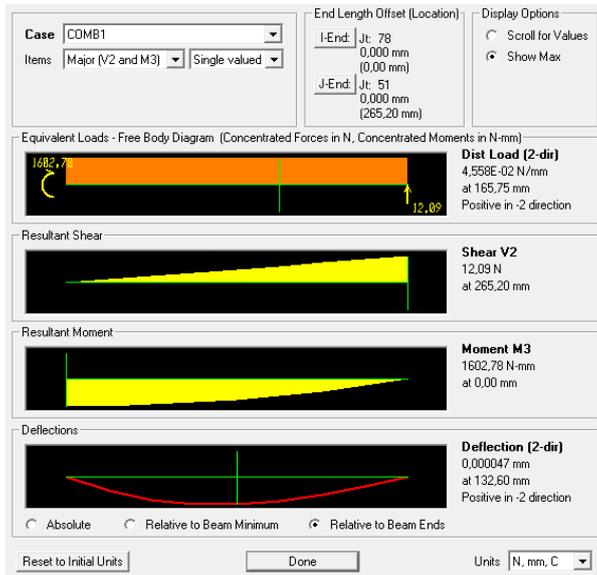


X = 0 mm

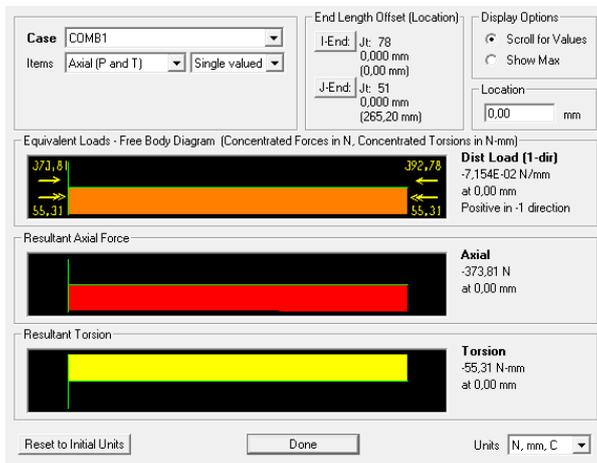
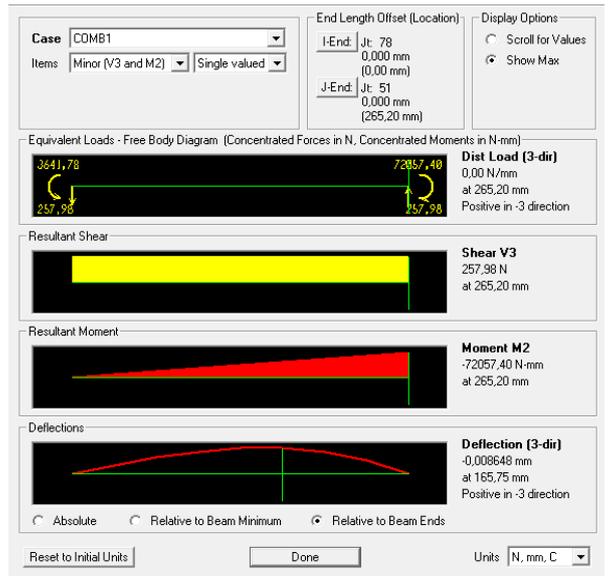
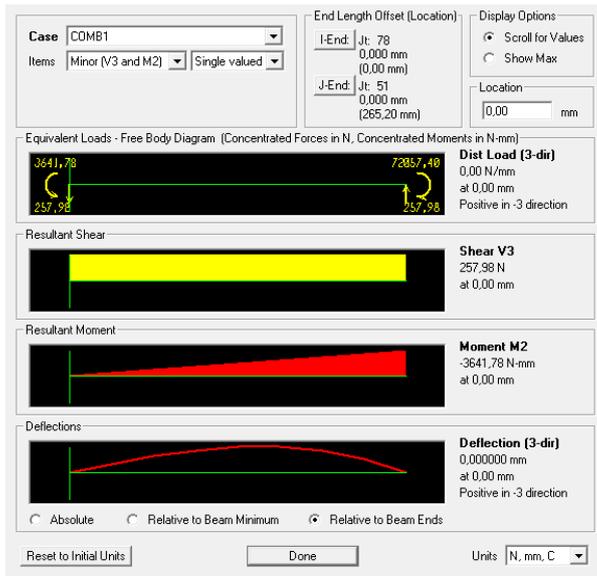
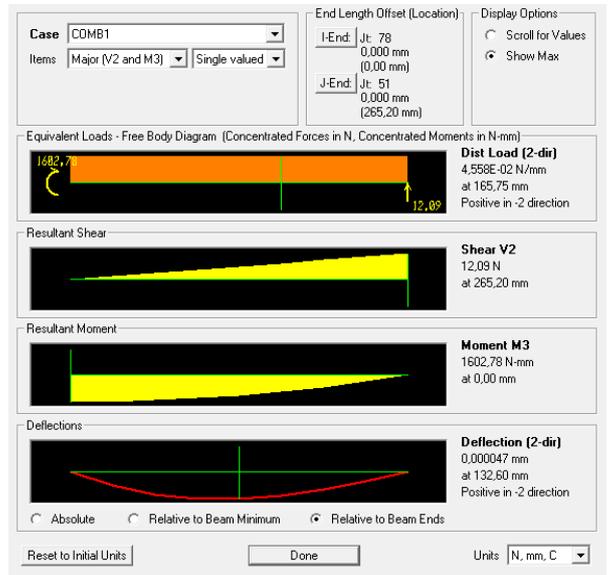


Barre N° 20 :

X = 0 mm

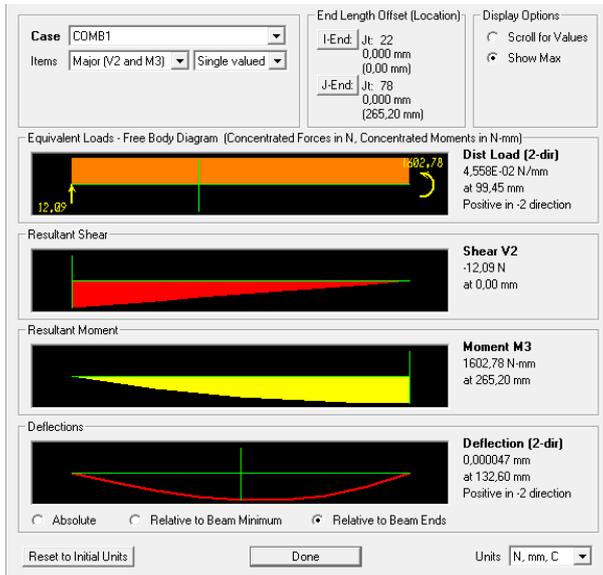


X = 265,20 mm

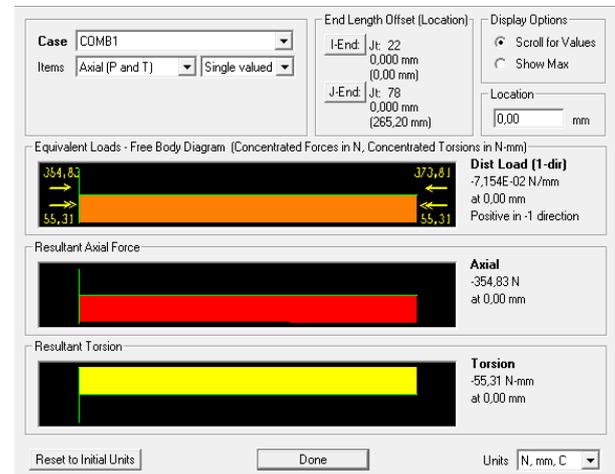
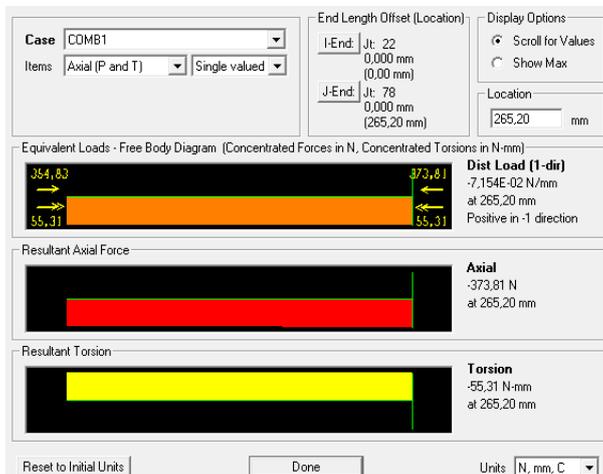
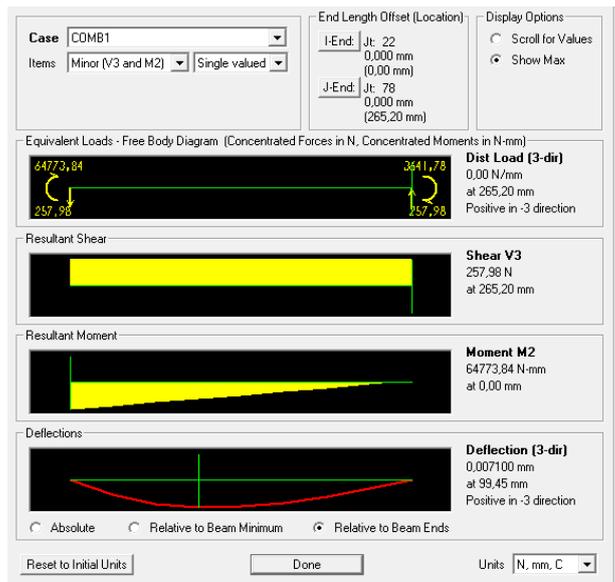
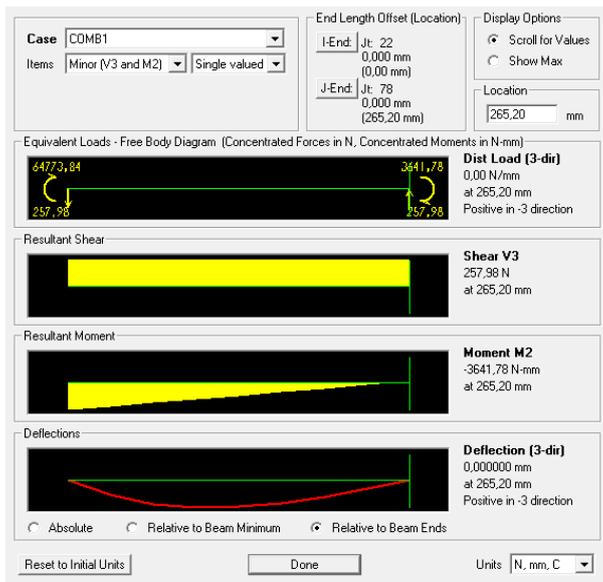
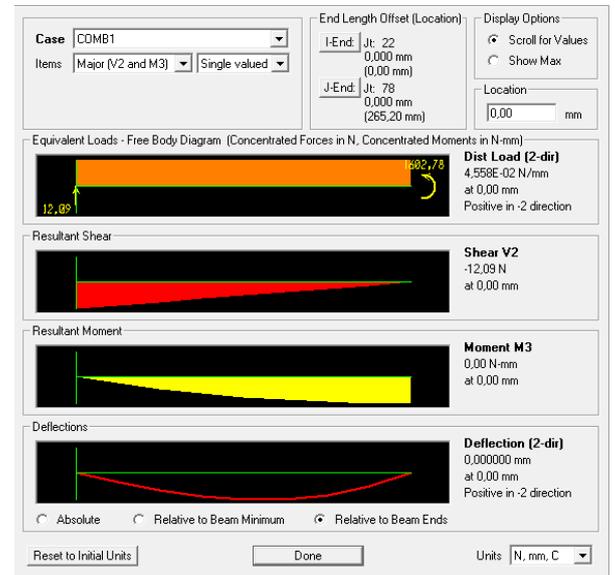


Barre N° 20' :

X = 265,20 mm

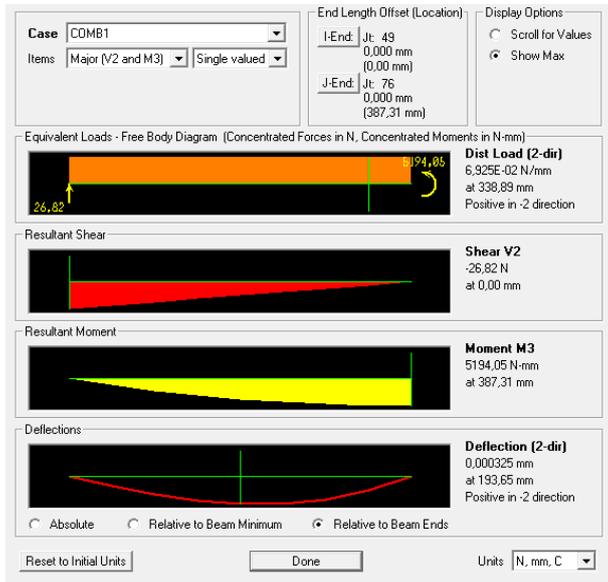


X = 0 mm

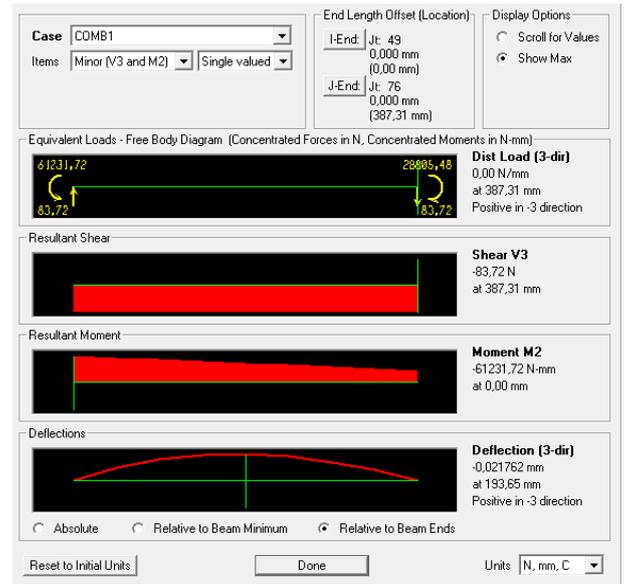
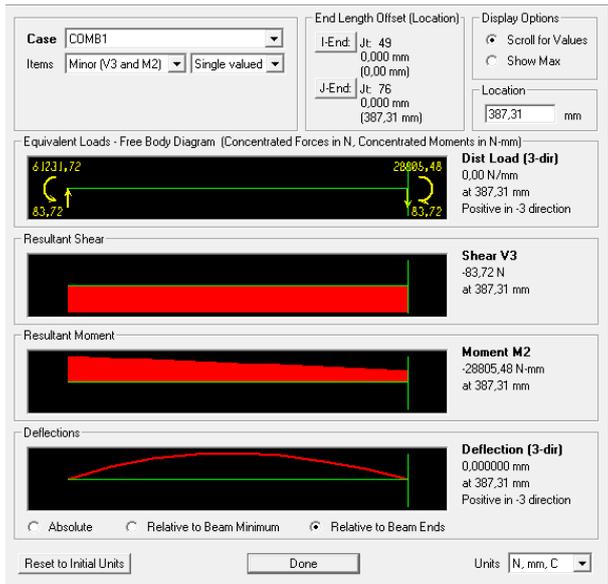
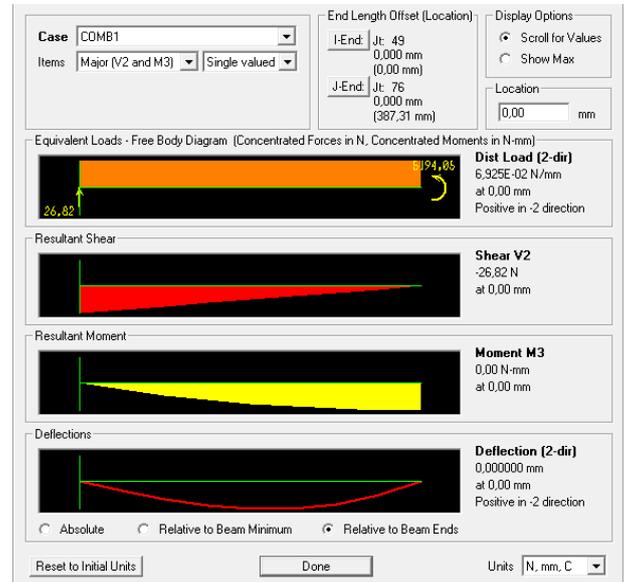


Barre N° 21 :

X = 387,31 mm

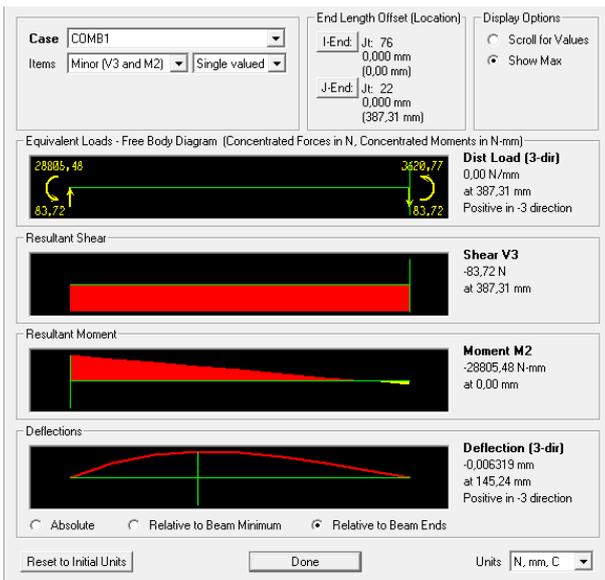
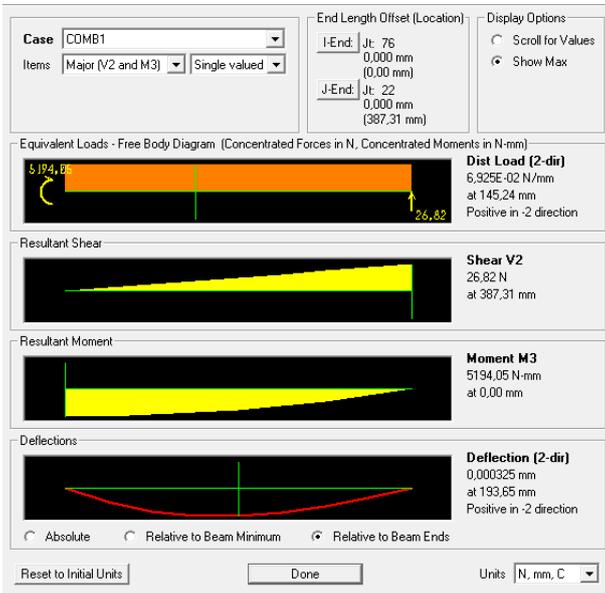


X = 0 mm



Barre N° 21' :

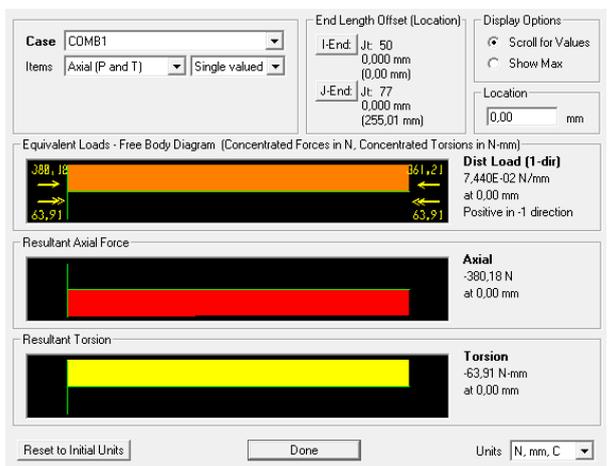
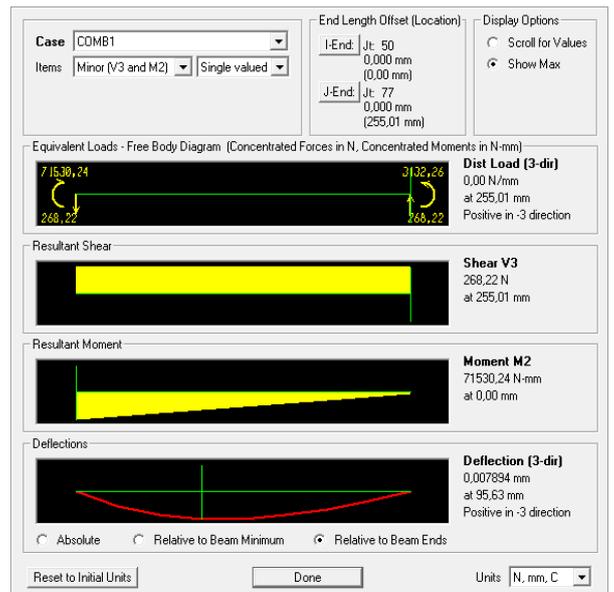
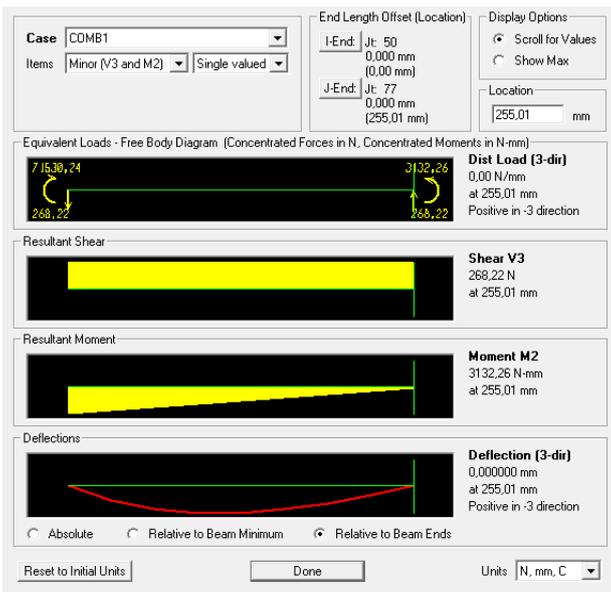
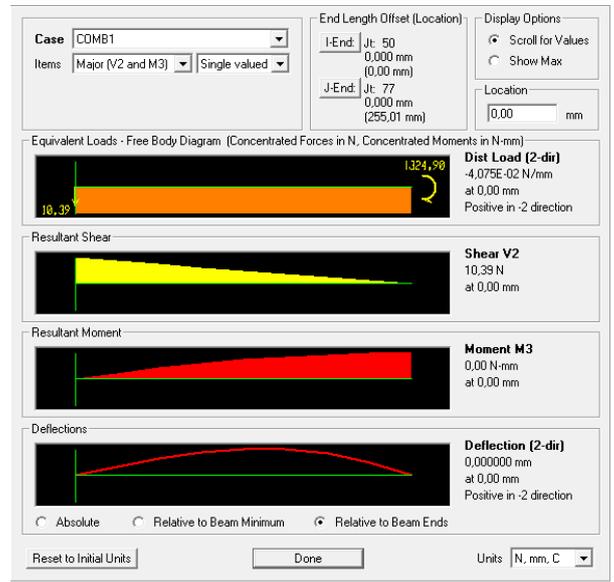
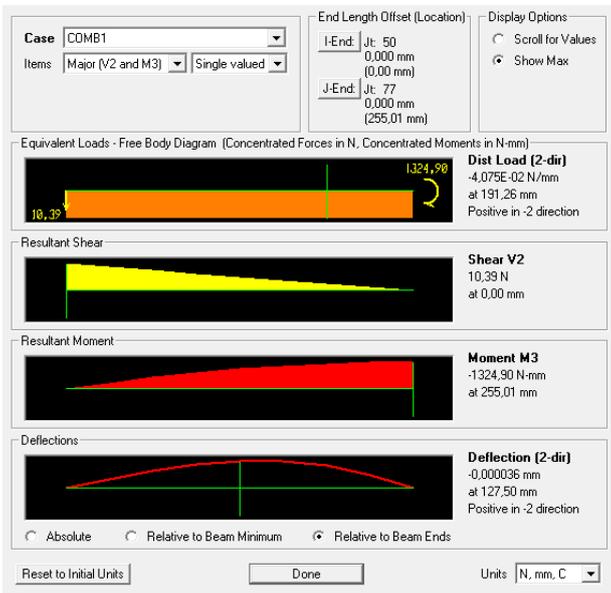
X = 0 mm



Barre N° 22 :

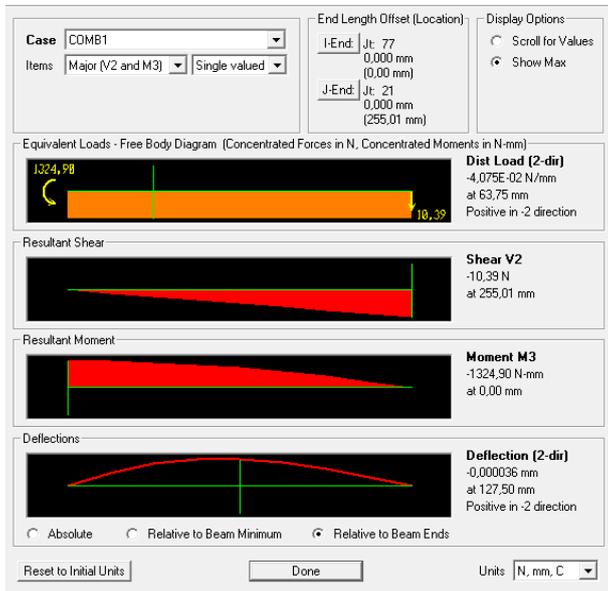
X = 255,01 mm

X = 0 mm

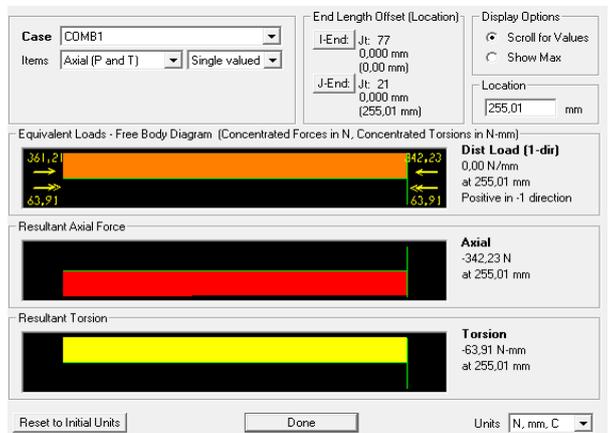
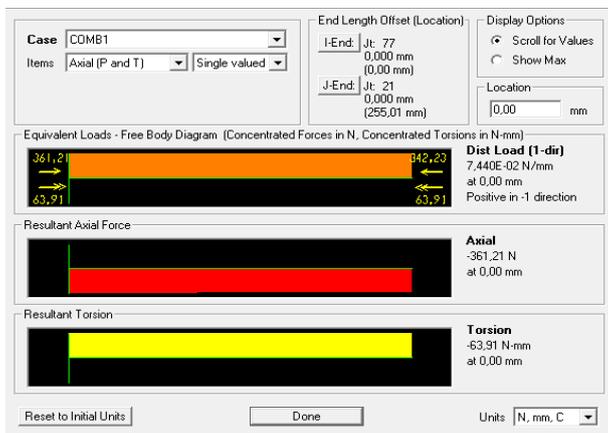
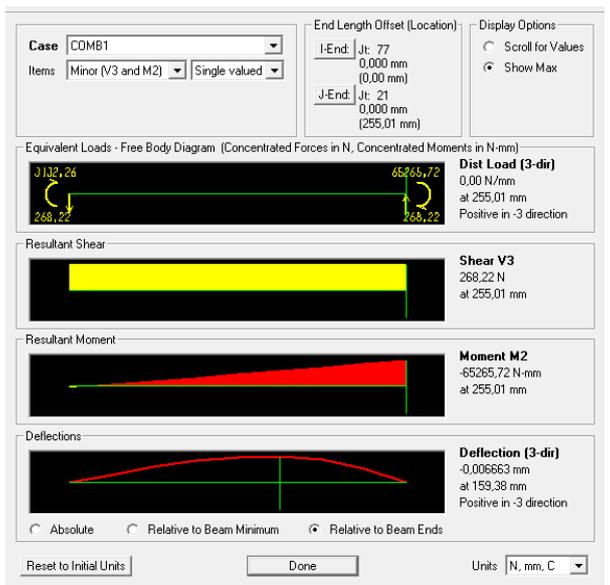
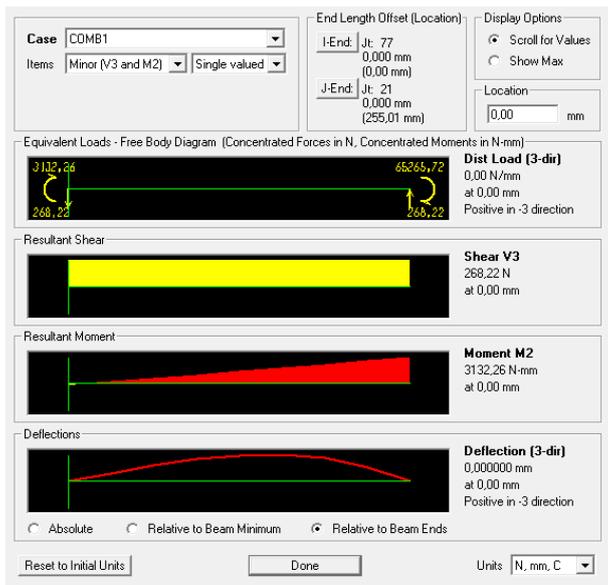
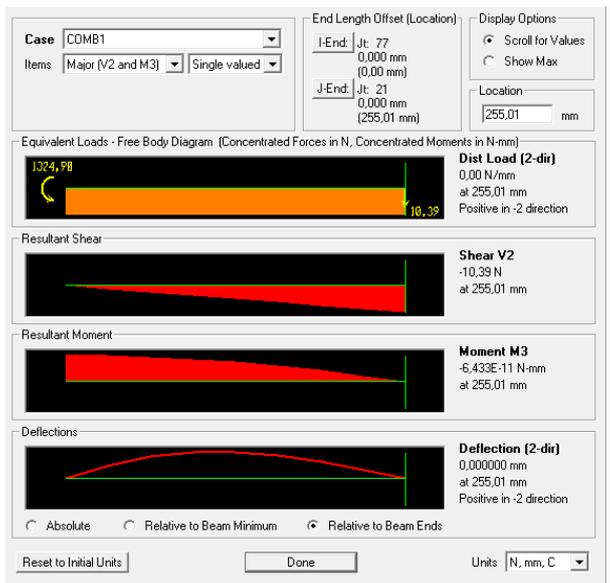


Barre N° 22' :

X = 0 mm

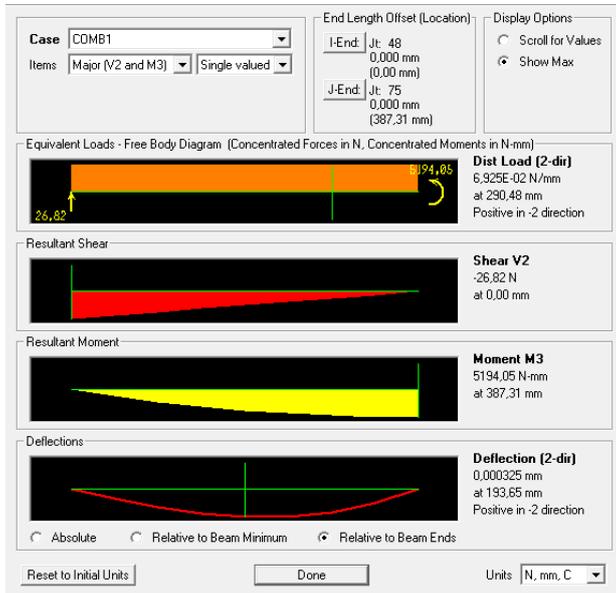


X = 255,01 mm

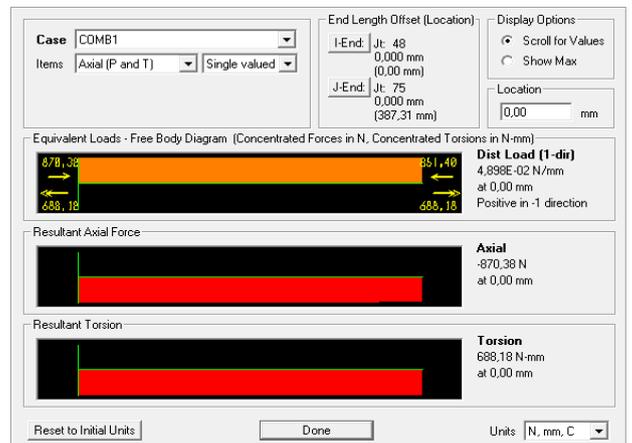
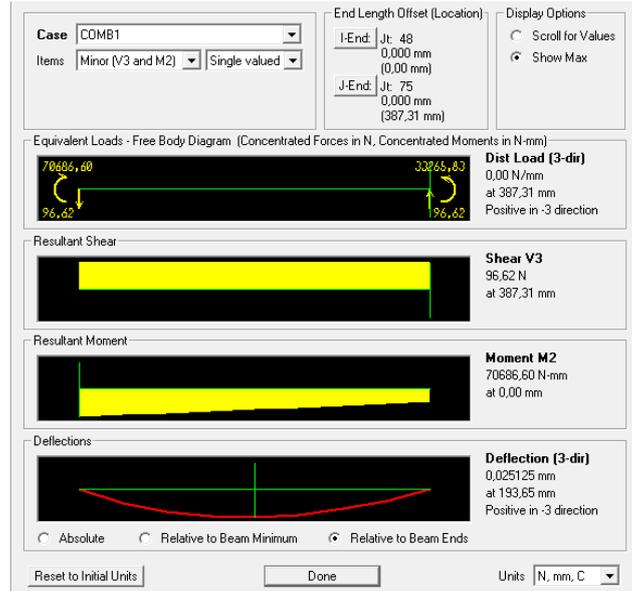
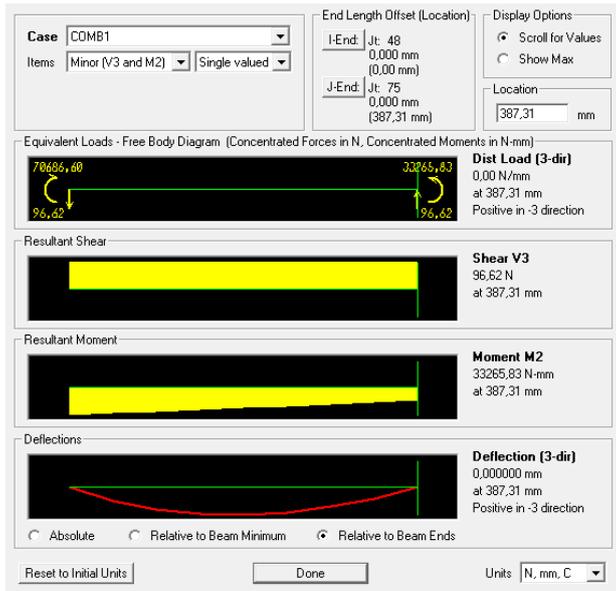
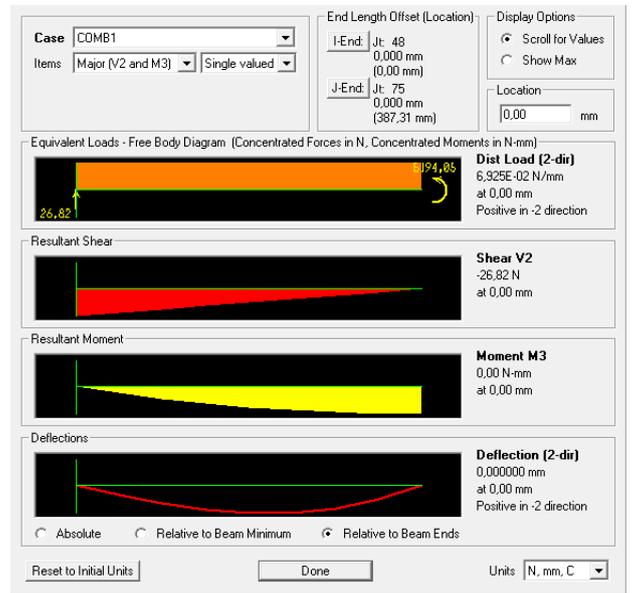


Barre N° 23 :

X = 387,31 mm

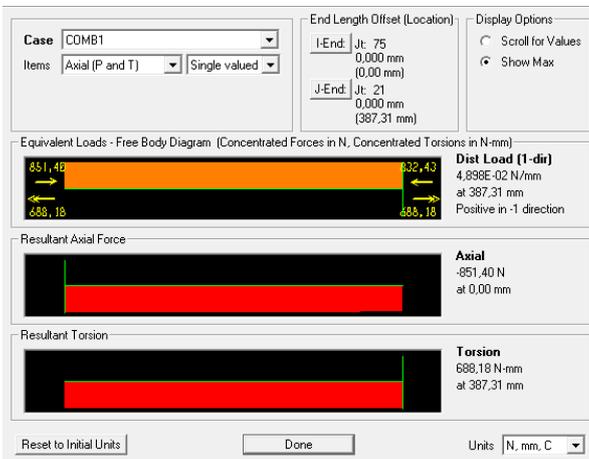
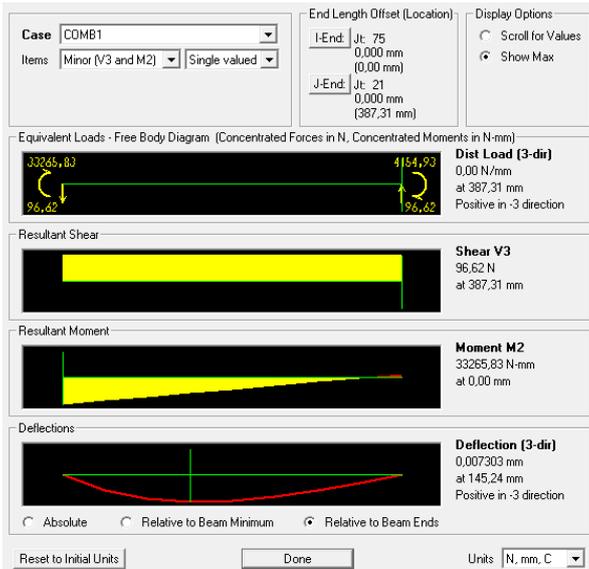
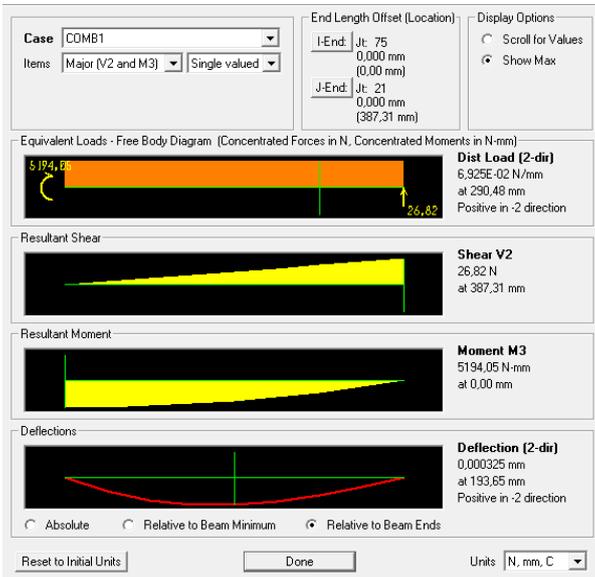


X = 0 mm



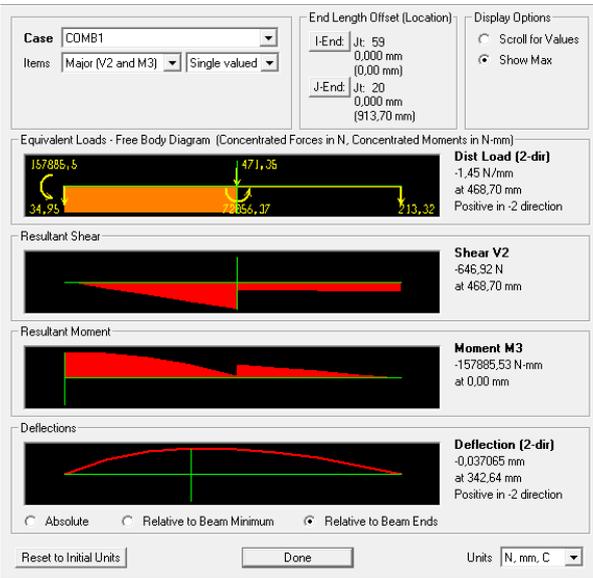
Barre N° 23 ' :

X = 0 mm

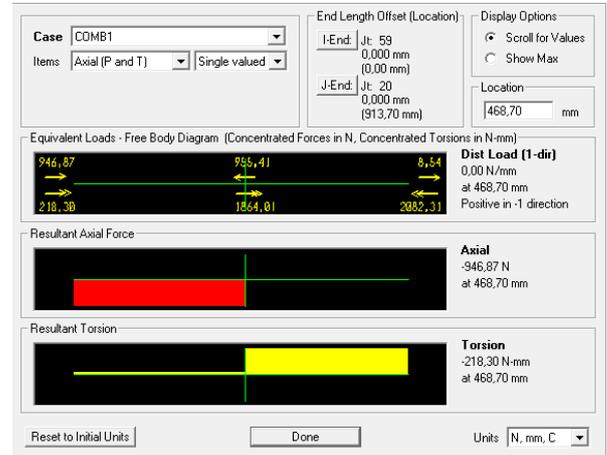
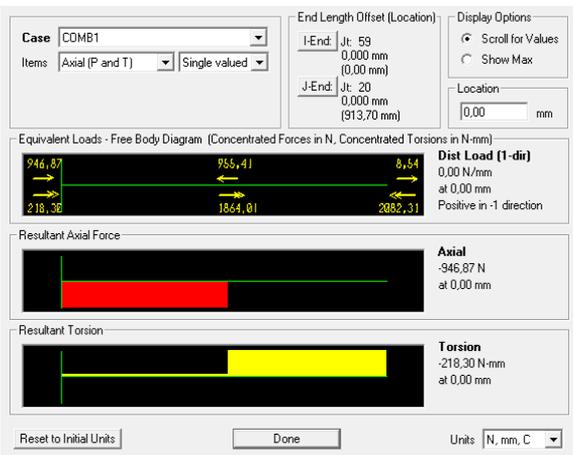
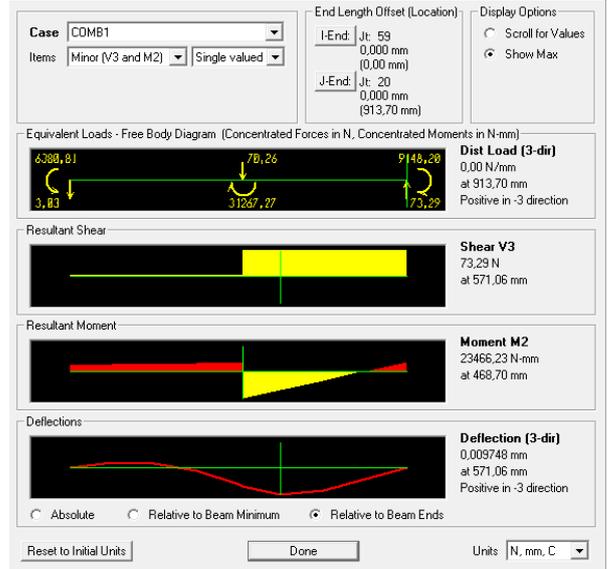
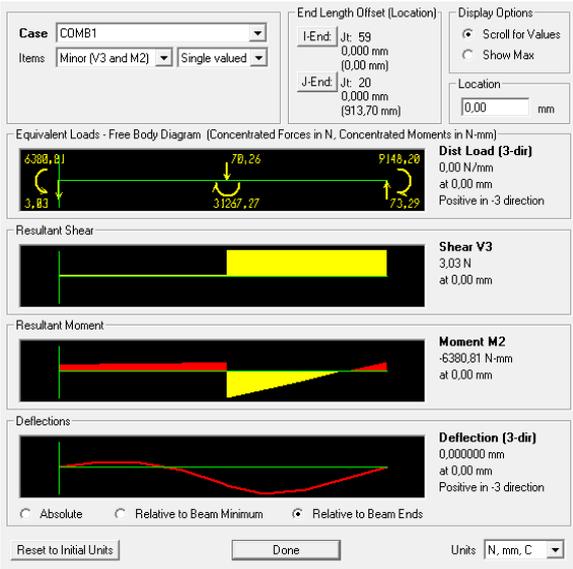
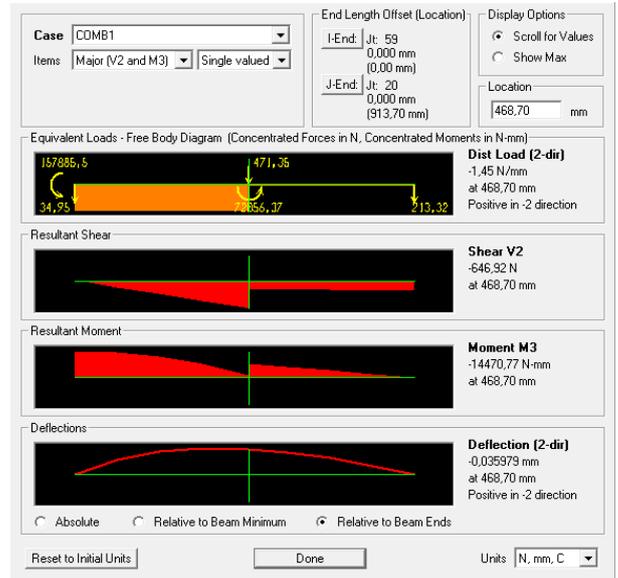


Barre N° 24 :

X = 0 mm

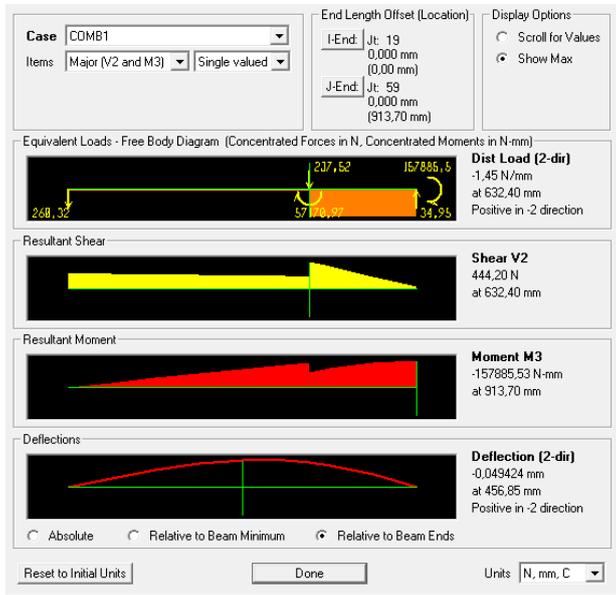


X= 468,70 mm

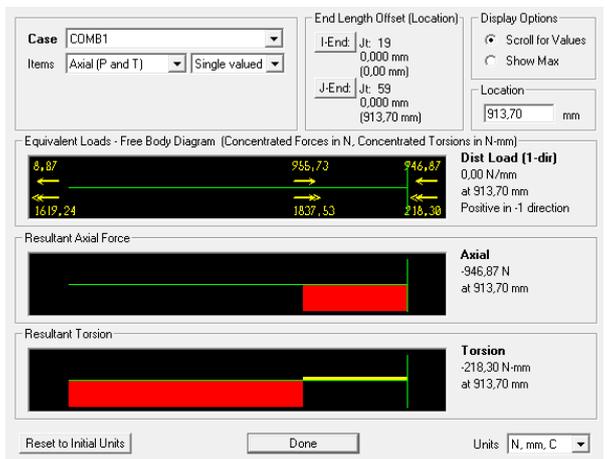
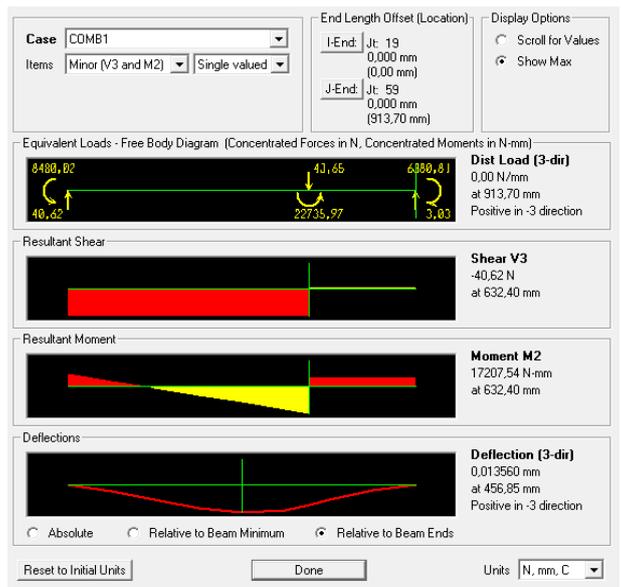
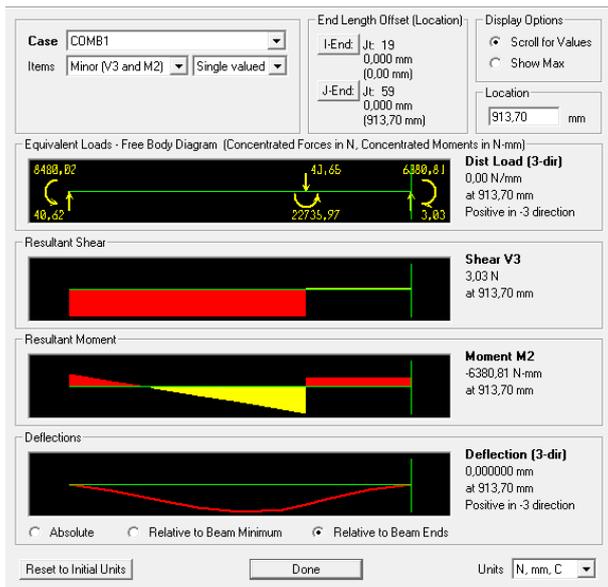
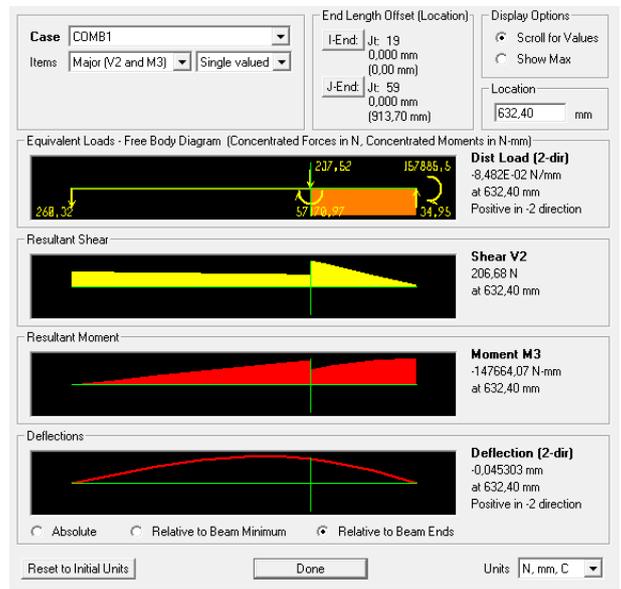


Barre N° 24' :

X= 913,5 mm

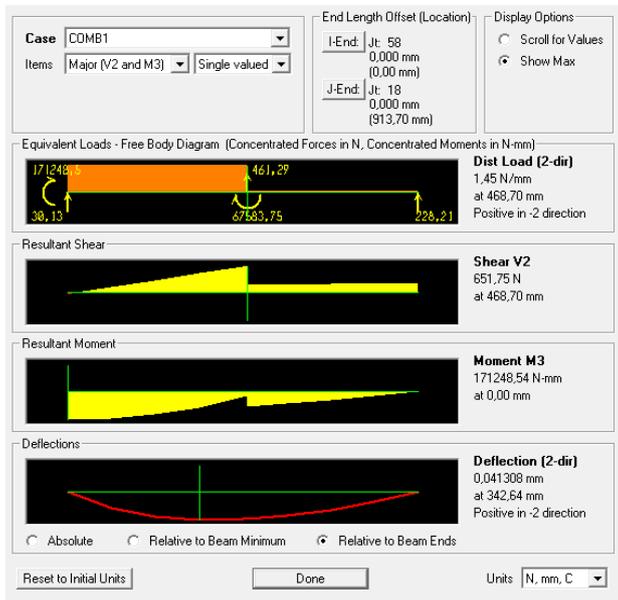


X= 632,40 mm

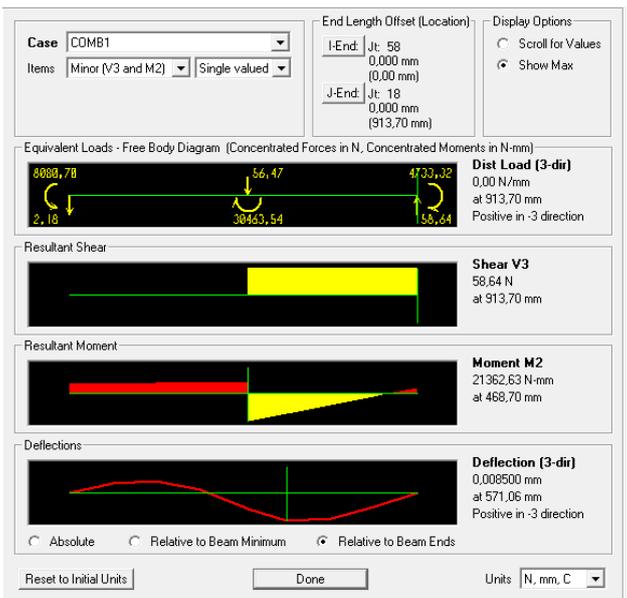
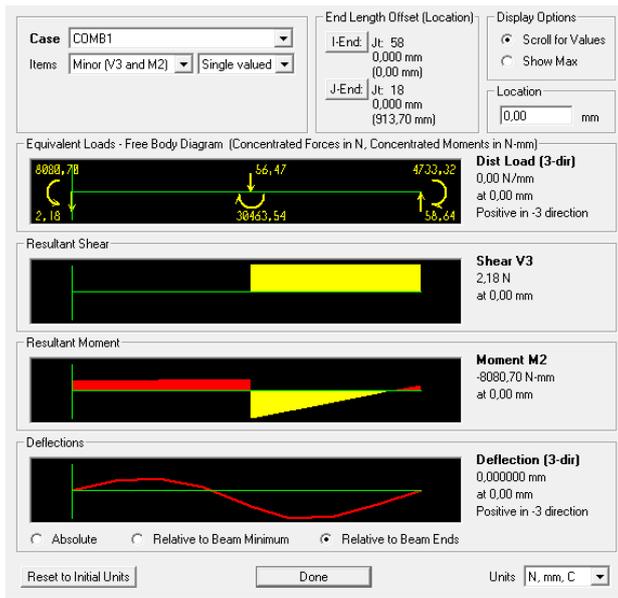
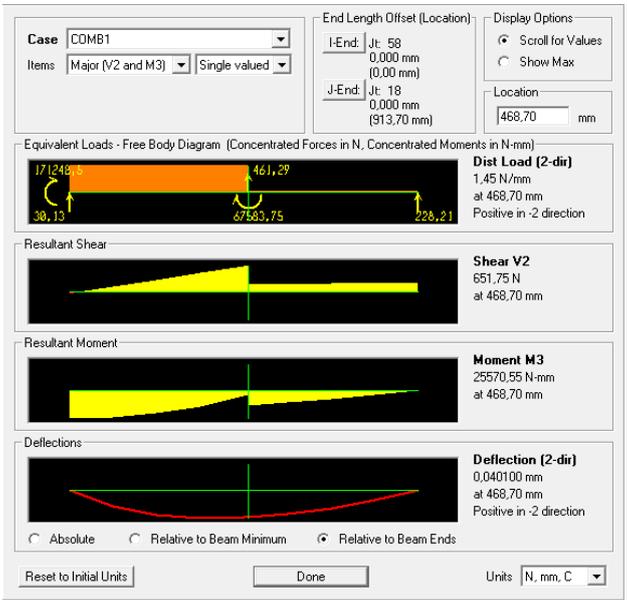


Barre N° 25 :

X = 0 mm

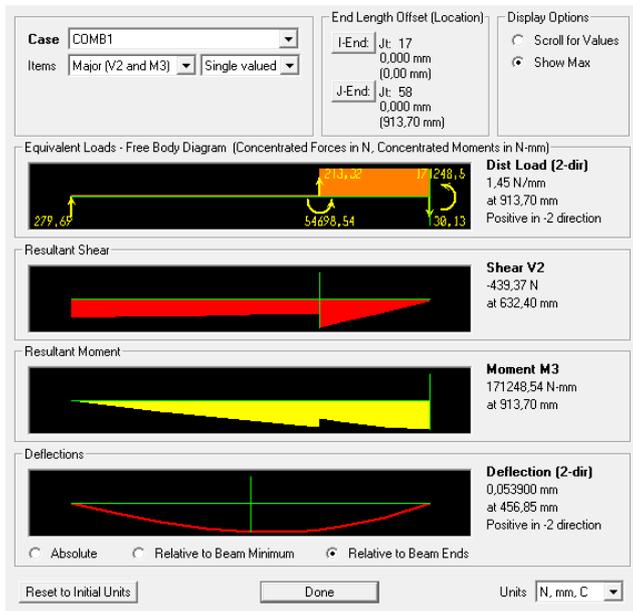


X = 468,70 mm

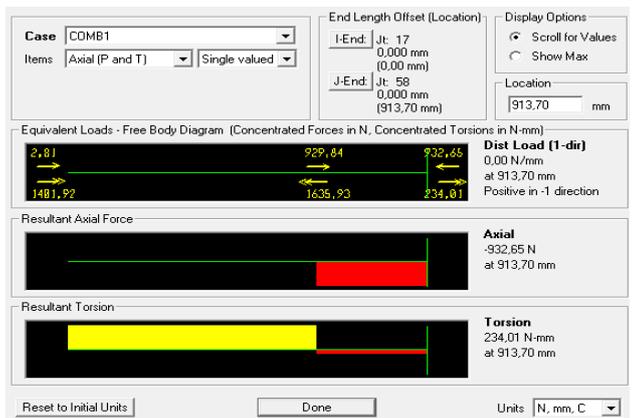
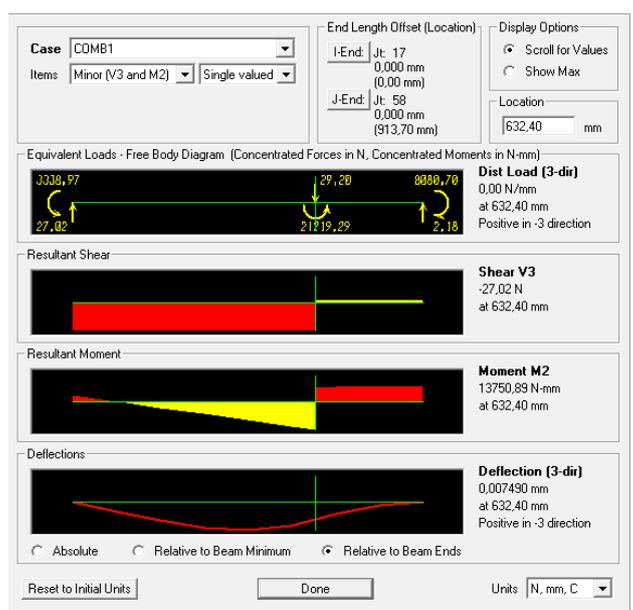
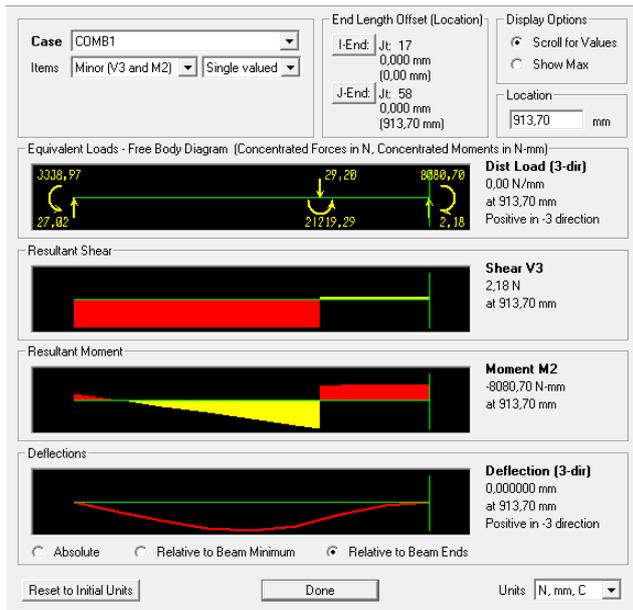
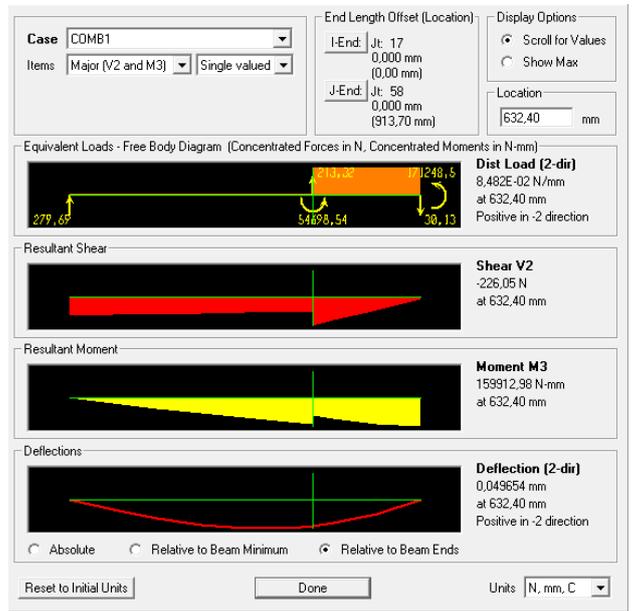


Barre N° 25' :

X = 913,70 mm

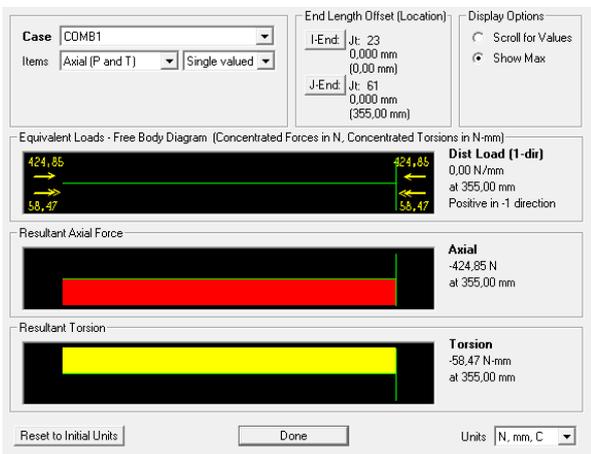
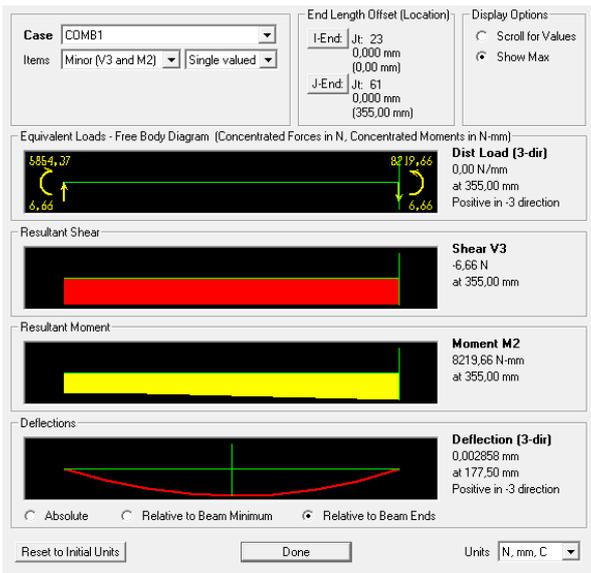
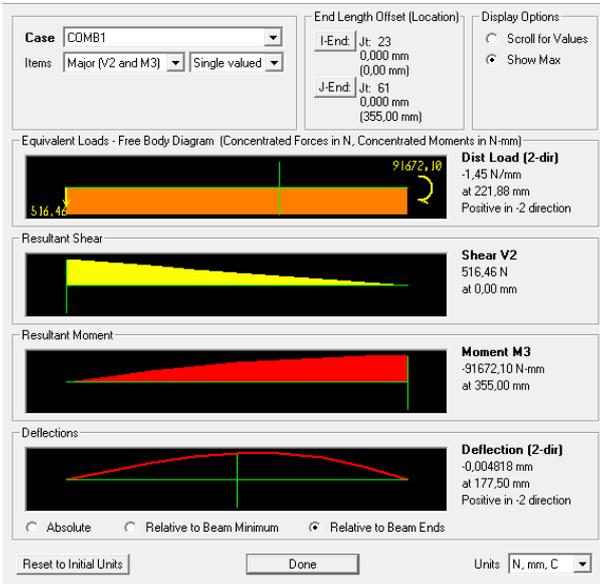


X = 632,40 mm



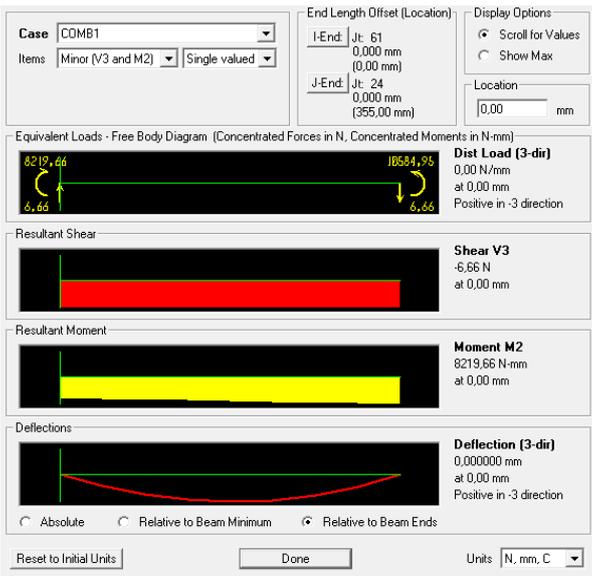
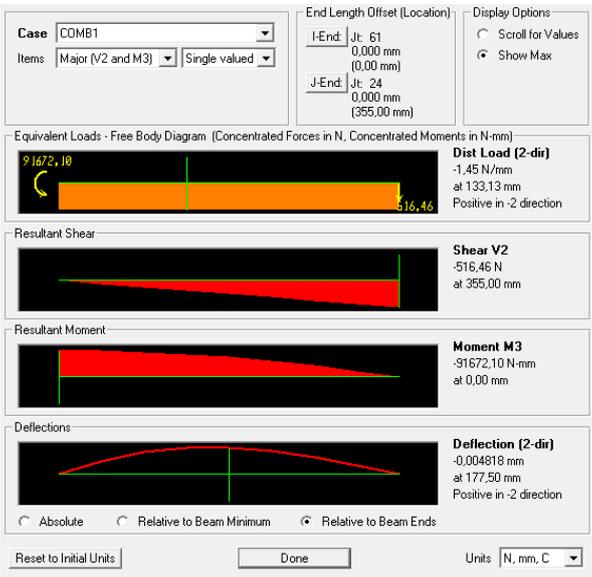
Barre N° 26 :

X = 335 mm

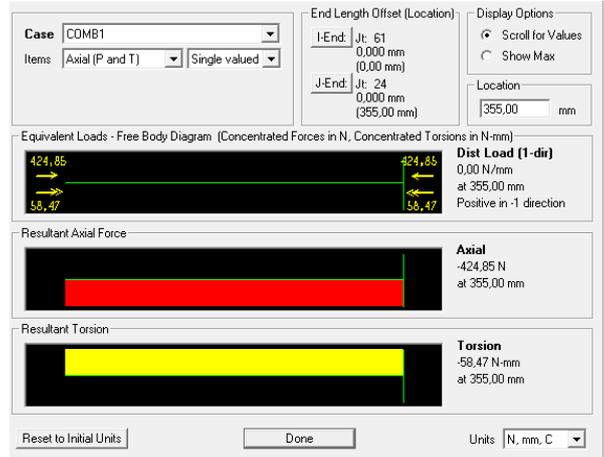
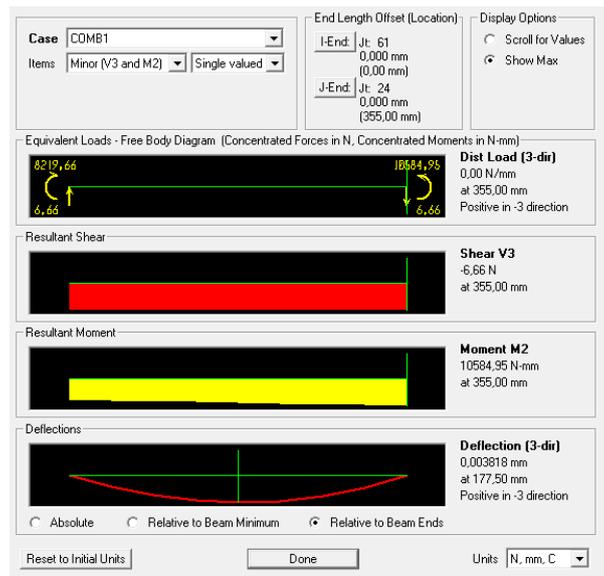
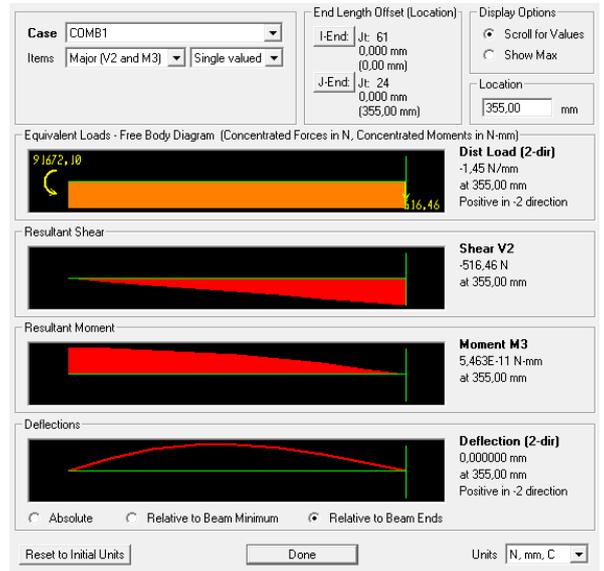


Barre N° 26 ' :

X = 0 mm

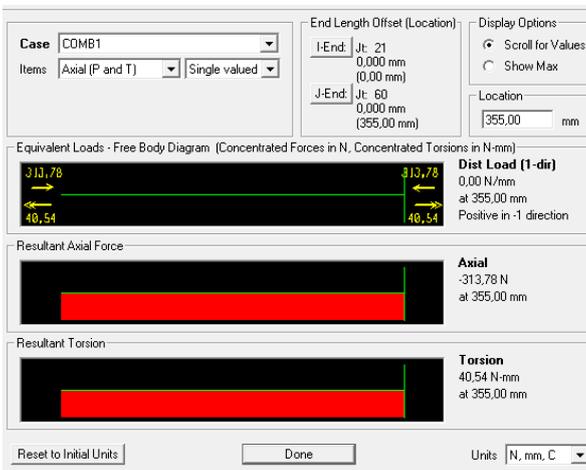
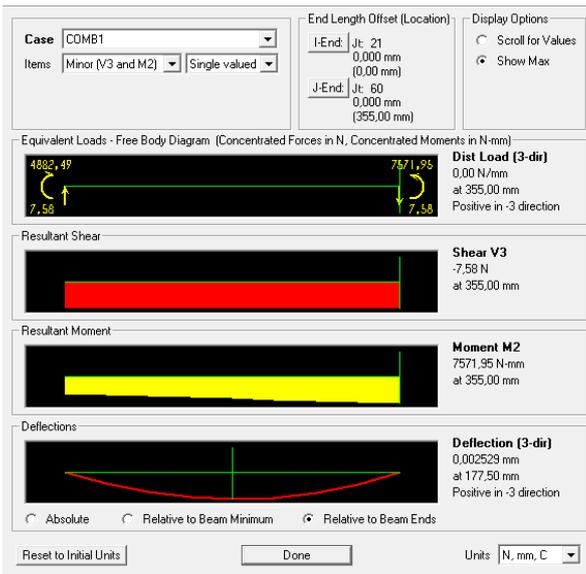
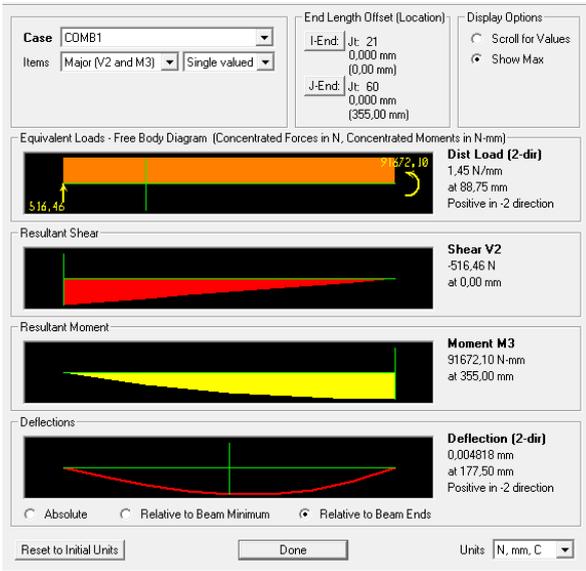


X = 335 mm



Barre N° 27 :

X = 335 mm



Barre N° 27 ' :

X = 0 mm

x = 335 mm

