

# Structurix

## 0 / Utilisation de Structurix:

Structurix est une application libre et gratuite (freeware). Elle est librement utilisable et vous pouvez la diffuser autant de fois que vous le souhaitez et l'utiliser aussi longtemps que vous le désirez.

Vous reconnaissez et admettez expressément que l'utilisation du logiciel Structurix est à vos risques et périls et que la totalité du risque relatif à la qualité, aux performances, à l'exactitude et au maniement satisfaisants repose sur vous.

Le logiciel Structurix est fourni "tel quel" avec tous ses défauts et sans aucune garantie d'aucune sorte.

## 1/ Introduction :

Structurix est un programme de calcul des structures reposant sur la méthode des éléments finis.

Il permet de résoudre des problèmes plans avec des éléments :

- barres.
- poutres.
- triangulaires.

et des problèmes spatiaux avec des éléments :

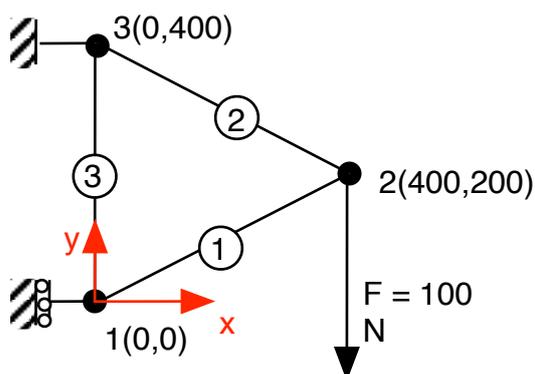
- barres.
- poutres.
- Éléments rectangulaires pour le calcul des plaques en flexion.
- Éléments triangulaires pour le calcul des Solides de révolution.

Structurix permet le calcul des :

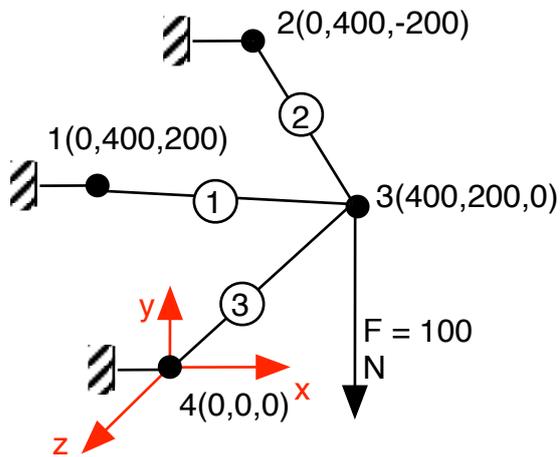
- déplacements de chaque nœuds.
- réactions aux appuis.
- contraintes dans chaque élément.

## 2/ Quelques exemples fournis :

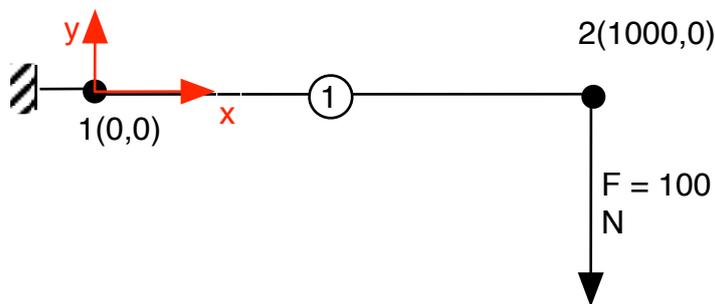
### 2.1 / Barres 2D :



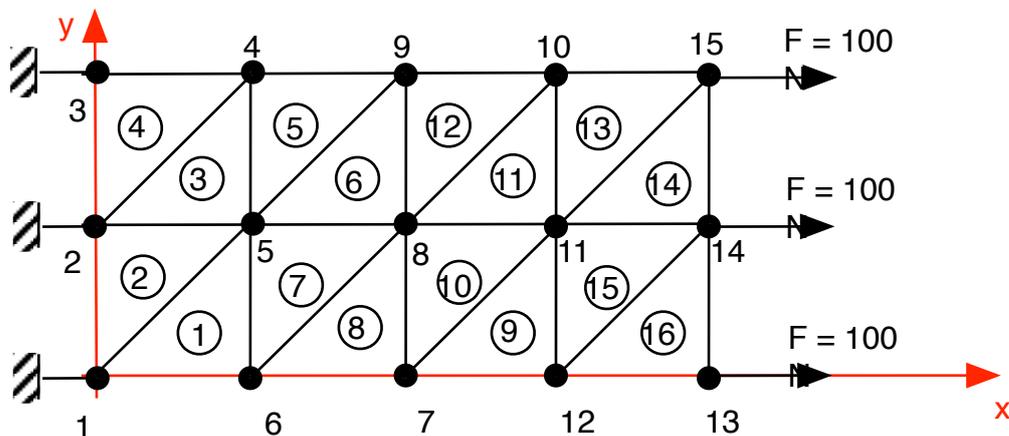
## 2.2 / Barres 3D :



## 2.3 / Poutres 2D :



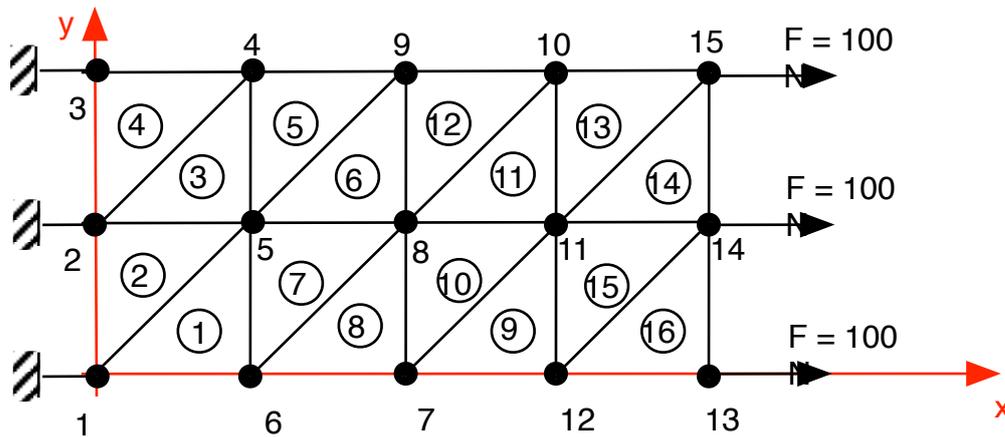
## 2.4 / Contraintes planes :



Le modèle "contraintes planes" est utilisé pour des pièces d'épaisseur constante qui sont découpée dans une tôle. Par exemple: clé à fourche, col de cygne...

Remarque : les éléments doivent être décrit en indiquant les numéros des nœuds dans le sens trigonométrique (sens inverse aux aiguilles d'une montre).

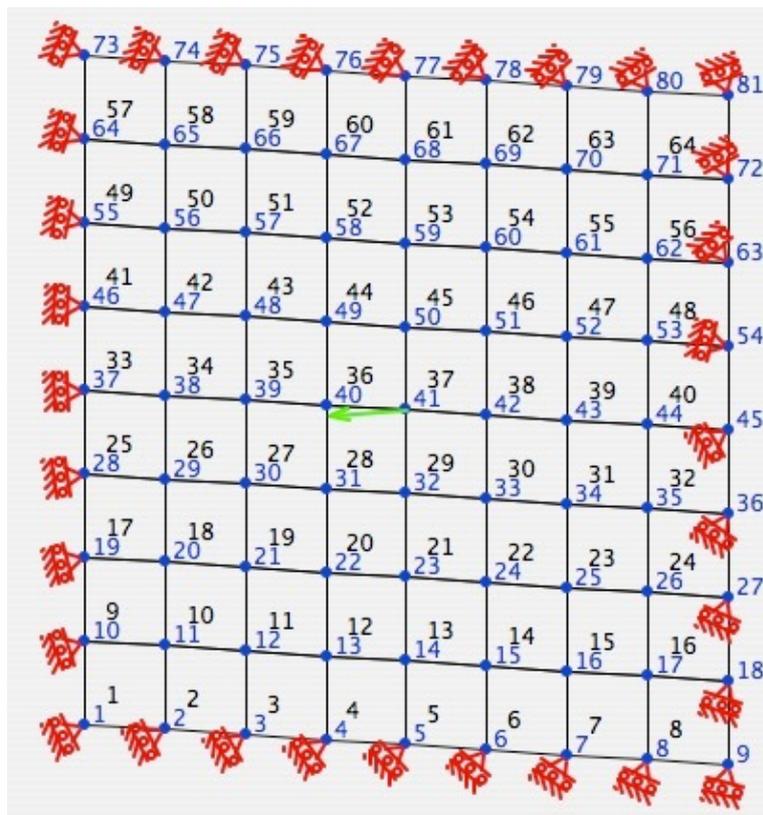
## 2.5 / Déformations planes :



Le modèle “déformations planes” est utilisé pour des tranches de structure où on considère qu’il n’y a pas de déformation dans le sens  $z$ .  
Par exemple: la coupe d’un barrage...

Remarque : les éléments doivent être décrit en indiquant les numéros des nœuds dans le sens trigonométrique (sens inverse aux aiguilles d’une montre).

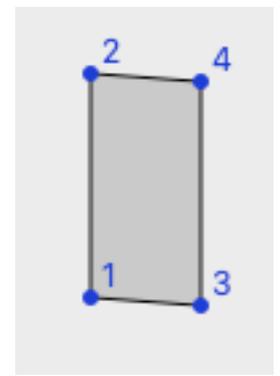
## 2.6 / Flexion des plaques :



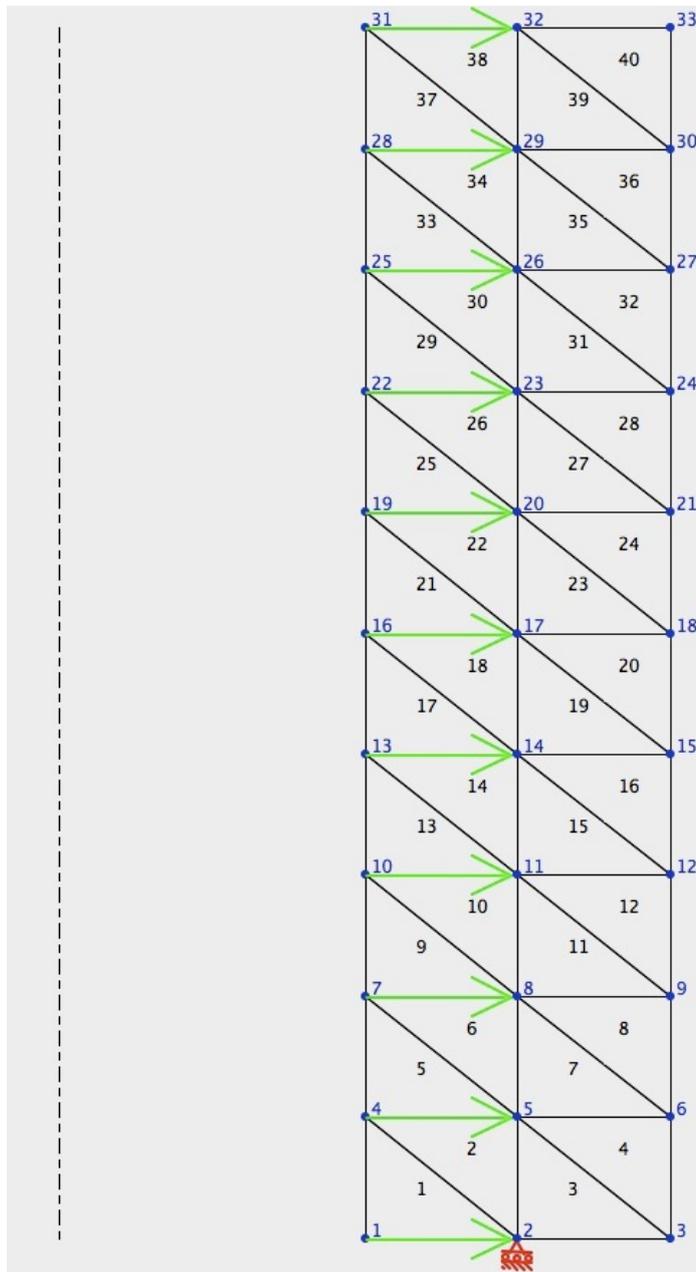
Le modèle “Flexion des plaques” est utilisé pour des plaques de faible épaisseur, qui reçoivent des efforts perpendiculaires à la plaque, et dont les déformations sont faibles par rapport à son épaisseur. Par exemple: Les planchers

Remarque : les éléments doivent être décrit en indiquant les numéros des nœuds dans un sens bien défini:

- le premier noeud : doit être celui en bas à gauche.
- le deuxième noeud : doit être celui en haut à gauche.
- le troisième noeud : doit être celui en bas à droite.
- le quatrième noeud : doit être celui en haut à droite.



## 2.7/ Solide de révolution :



Le modèle “Solide de révolution” est utilisé pour des pièces volumiques qui peuvent être générées par une surface qui tourne autour d’un axe.  
Par exemple: Tube, cylindre, poinçon.

Remarque : les éléments doivent être décrit en indiquant les numéros des nœuds dans le sens trigonométrique (sens inverse aux aiguilles d’une montre).

### 3/ Les écrans :

#### 3.1 / L'Écran principal :

Si coché, la calcul tient compte du poids des éléments

Type de problème traité

Edition des données

Vérification des données lance le calcul

Durée du dernier calcul

Contraintes Planes

Tenir compte de la pesanteur

Déf. périmètre

Taille de la maille

Nbre noeuds

Nbre éléments

Nbre forces ponct.

Nbre réactions

Visualisation graphique :

0

Noeuds	x [mm]	y [mm]
1	0,000	0,000
2	0,000	10,000
3	10,000	5,000

Affichage des résultats

Champ pour l'édition d'une cellule

Validation lors de l'édition d'une cellule

Tableau pour:

- Edition des données
- Affichage des résultats

Detailed description: The image shows a software interface for a finite element analysis (FEA) application. At the top, there are several buttons: 'Vérif.' (Verification), 'Calcul' (Calculate), and a text field for 'Durée du dernier calcul' (Last calculation duration). Below these are 'Contraintes Planes' (Plane Constraints) and a checkbox 'Tenir compte de la pesanteur' (Consider gravity). The main area contains input fields for 'Déf. périmètre' (Perimeter definition), 'Taille de la maille' (Mesh size) set to 5 mm, and 'Maillage' (Meshing) button. There are also input fields for 'Nbre noeuds' (3), 'Nbre éléments' (1), 'Nbre forces ponct.' (1), and 'Nbre réactions' (2). A central panel has 'Edition' buttons for 'Déplacements' (Displacements), 'Contraintes' (Constraints), and 'Réactions' (Reactions). To the right, there are 'Affichage des résultats' (Display results) buttons for 'Détails' (Details) and 'Réactions'. At the bottom, there is a 'Visualisation graphique' (Graphical visualization) section with a 'Données' (Data) button, a 'Résultats' (Results) button, and a 'Validation' button. A text input field contains the number '0'. Below this is a table with 3 columns: 'Noeuds' (Nodes), 'x [mm]', and 'y [mm]'. The table contains three rows of data. Annotations with arrows point to various elements: 'Type de problème traité' points to 'Contraintes Planes'; 'Edition des données' points to the 'Edition' buttons; 'Vérification des données lance le calcul' points to the 'Vérif.' and 'Calcul' buttons; 'Durée du dernier calcul' points to the text field; 'Affichage des résultats' points to the 'Détails' button; 'Champ pour l'édition d'une cellule' points to the '0' input field; 'Validation lors de l'édition d'une cellule' points to the 'Validation' button; and 'Tableau pour: - Edition des données - Affichage des résultats' points to the table.

### 3.2 / Caractéristiques des Barres 2D et 3D :

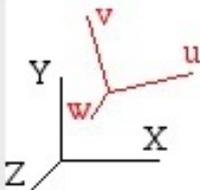
Sans titre

Barres 2D

Vérif.

Calcul

Tenir compte de la pesanteur



Nbre noeuds	3	Edition	Déplacements		
Nbre éléments	3	Edition	Contraintes	Détails	
Nbre forces ponct.	1	Edition			
Nbre réactions	2	Edition	Réactions		
Visualisation graphique :	Données		Résultats		
	1	Validation			

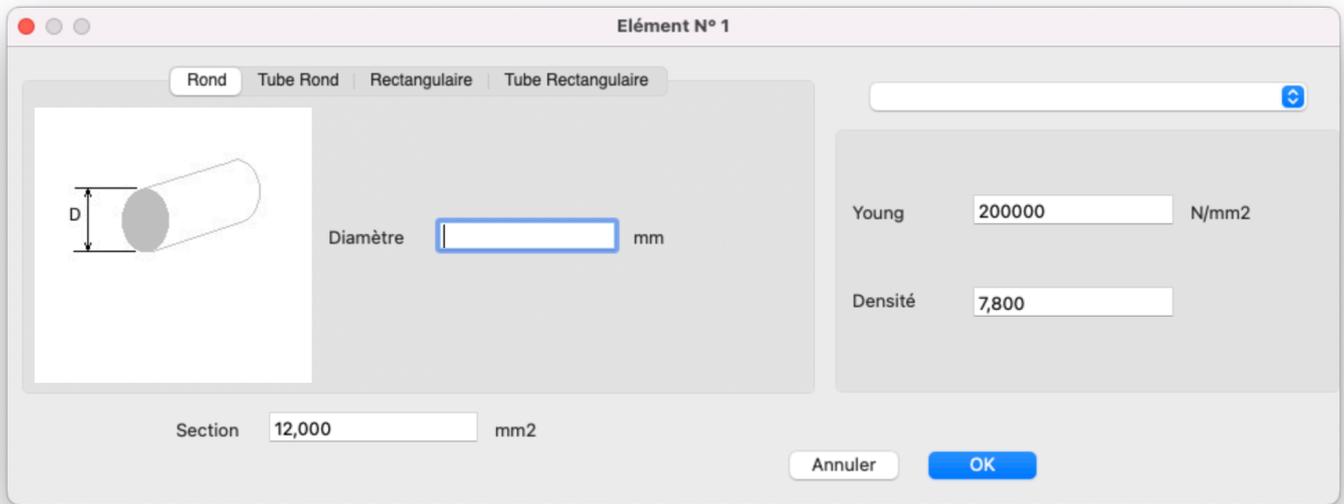
Eléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm <sup>2</sup> ]	Section [mm <sup>2</sup> ]	Densité	
1	1	2	200000	12,000	7,800	
2	2	3	200000	12,000	7,800	
3	3	1	200000	12,000	7,800	

Young : Module d'Young, module d'élasticité longitudinal du matériau employé, il est souvent appelé 'E'.

Section : c'est la surface générée lorsque l'on coupe une barre perpendiculairement à son axe.

Densité : densité du matériau utilisé. C'est le rapport entre la masse d'un volume du matériau et la masse d'un même volume d'eau.

Un double click sur une ligne, permet d'ouvrir une fenêtre d'édition de l'élément.



Cette fenêtre vous permet de choisir la forme de la barre, et sa matière. Vous pouvez également saisir les valeurs souhaitées si nécessaire.

### 3.3 / Caractéristiques des Poutres 2D :

Eléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm²]	Section [mm²]	Inertie w [mm⁴]	Fibre Ext/v [mm]	Densité
1	1	2	200000	400,000	13333,000	10,000	7,800

Young : Module d'Young, module d'élasticité longitudinal du matériau employé, il est souvent appelé 'E'.

Section : c'est la surface générée lorsque l'on coupe une poutre perpendiculairement à son axe.

Inertie suivant w : ou Moment quadratique  $I_w = S D_S \cdot v^2$ .

Fibre Ext st v : Distance entre la fibre extérieure et la fibre neutre, cette distance sert au calcul de la contrainte.

Densité : densité du matériau utilisé. C'est le rapport entre la masse d'un volume du matériau et la masse d'un même volume d'eau.

Un double click sur une ligne, permet d'ouvrir une fenêtre d'édition de l'élément.

Elément N° 1

Rond Tube Rond Rectangulaire Tube Rectangulaire

Hauteur H  mm

Largeur B  mm

Young 200000 N/mm2

Densité 7800

Section 400,000 mm2

Fibre Ext/v 10,000 mm

Inertie w 13333,000 mm4

Annuler OK

Cette fenêtre vous permet de choisir la forme de la poutre, et sa matière.

Les autres paramètres sont calculés :

- Section
- Inertie suivant w
- Distance de la fibre extérieure par rapport à la fibre neutre.

Vous pouvez également saisir les valeurs souhaitées si nécessaire.

### 3.4 / Caractéristiques des Poutres3D :

Sans titre

Poutres 3D

Tenir compte de la pesanteur

Nbre noeuds

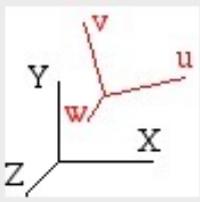
Nbre éléments

Nbre forces ponct.

Nbre Charges répart.

Nbre réactions

Visualisation graphique :



Éléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm2]	Trans [N/mm2]	Section [mm2]	Inertie v
1	1	2	200000	80000	400,000	

Éléments	Inertie v [mm4]	Inertie w [mm4]	Fibre Ext/u [mm]	Fibre Ext/v [mm]	Fibre Ext/w [mm]	Densité
1	13333,000	13333,000	14,000	10,000	10,000	7,80

Young : Module d'Young, module d'élasticité longitudinal du matériau employé, il est souvent appelé 'E'.

Module trans : ou Module G, module d'élasticité transversal ou module de Coulomb.

Section : c'est la surface générée lorsque l'on coupe une poutre perpendiculairement à son axe.

Inertie suivant v : ou Moment quadratique  $I_v = S D_s \cdot w^2$ .

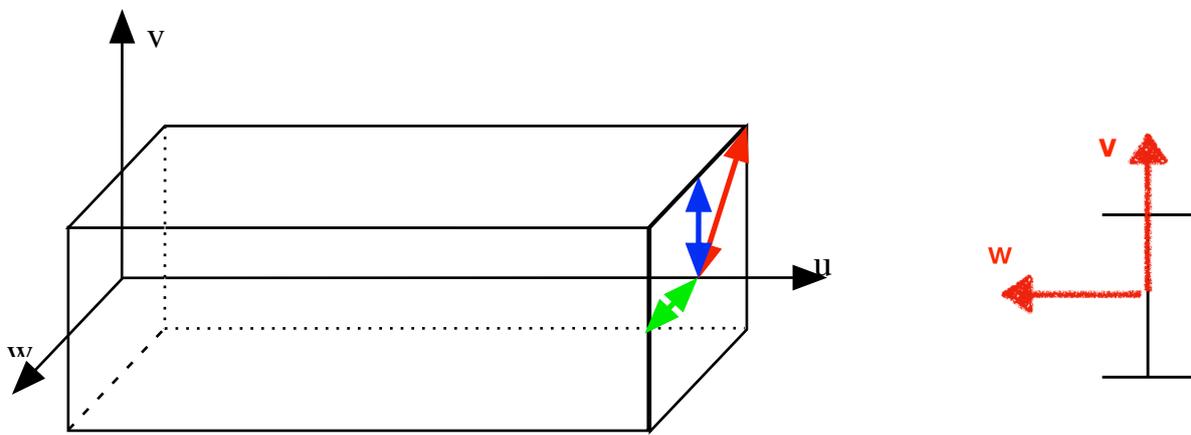
Inertie suivant w : ou Moment quadratique  $I_w = S D_s \cdot v^2$ .

Distances entre les fibres extérieures et la fibre neutre : ces distances servent au calcul des contraintes.

Fibre Ext / u : pour un couple de torsion.

Fibre Ext / v : pour une flexion suivant l'axe des w. Distance entre fibre extérieure et fibre neutre en suivant axe v.

Fibre Ext / w : pour une flexion suivant l'axe des v. Distance entre fibre extérieure et fibre neutre en suivant axe w.



Densité : densité du matériau utilisé. C'est le rapport entre la masse d'un volume du matériau et la masse d'un même volume d'eau.

Un double click sur une ligne, permet d'ouvrir une fenêtre d'édition de l'élément.

Cette fenêtre vous permet de choisir la forme de la poutre, et sa matière.

Les autres paramètres sont calculés :

- Section
- Inerties suivant u, v, w
- Distance de la fibre extérieure par rapport à la fibre neutre suivant u, v, w.

Vous pouvez également saisir les valeurs souhaitées si nécessaire.

### 3.5 / Caractéristiques des Plaques :

Cet item du menu saisie est accessible seulement pour les éléments plaques.

Un double click sur une ligne, permet d'ouvrir une fenêtre d'édition des caractéristiques de la plaque.

Contraintes Planes

Acier C32

Young 20000 Kg/mm2

Coef. poisson 0.24

Densité 7,800

Epaisseur 1 mm

Annuler OK

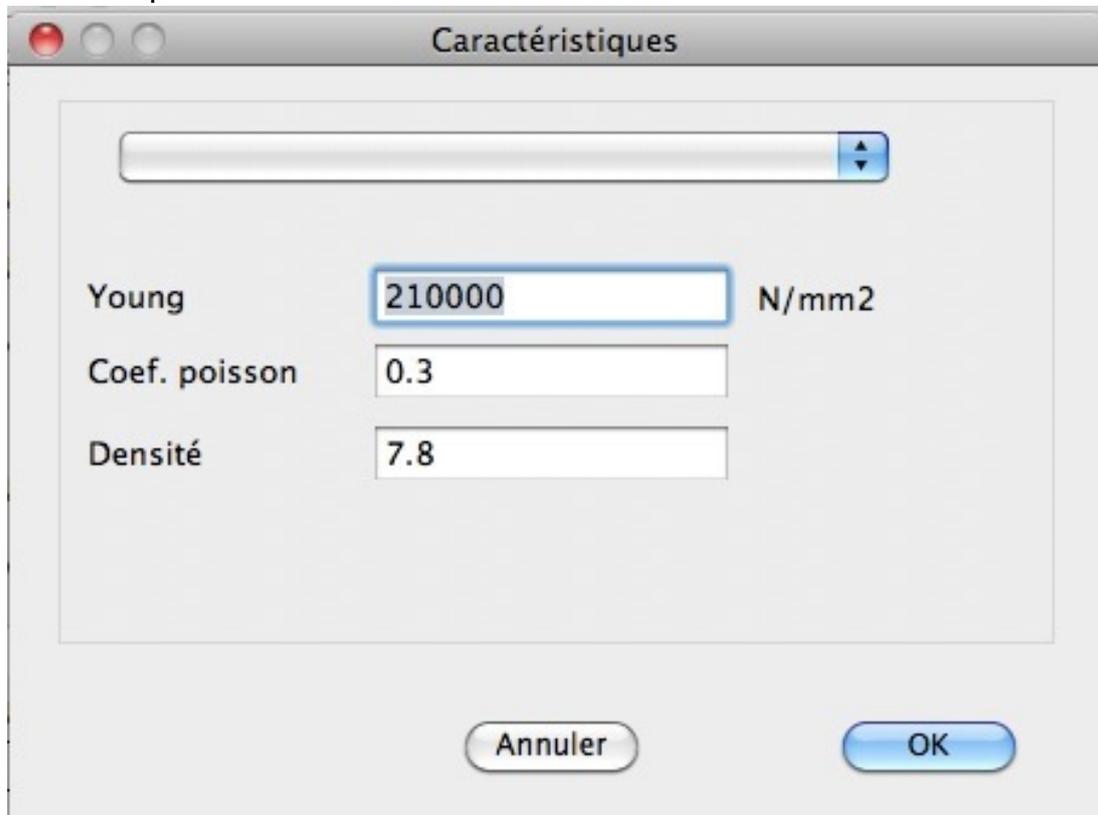
Module d'Young : module d'élasticité longitudinal du matériau employé, il est souvent appelé 'E'.

Coef. Poisson : coefficient qui relie les dilatations longitudinale et transversale  
 $e_y = -\nu \cdot e_x$ .

Épaisseur : épaisseur de la plaque ou de la tranche considérée.

Densité : densité du matériau utilisé. C'est le rapport entre la masse d'un volume du matériau et la masse d'un même volume d'eau.

### 3.6 / Caractéristiques des Solides de révolution :



Module d'Young : module d'élasticité longitudinale du matériau employé, il est souvent appelé 'E'.

Coef. Poisson : coefficient qui relie les dilatations longitudinale et transversale  
 $e_y = -\nu \cdot e_x$ .

Densité : densité du matériau utilisé. C'est le rapport entre la masse d'un volume du matériau et la masse d'un même volume d'eau.

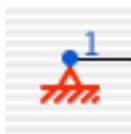
### 3.7 / Les Réactions en 2D :

Encastrement



React.	Noeud	Rx	Ry	RMz
1	1	1	1	1

Appui simple



React.	Noeud	Rx	Ry	RMz
1	1	1	1	0

### Appui unidirectionnel



React.	Noeud	Rx	Ry	RMz
1	1	0	1	0

### Blocage en rotation suivant l'axe z



React.	Noeud	Rx	Ry	RMz
1	1	0	0	1

## 3.8 / Les Réactions en 3D :

### Encastrement



React.	Noeud	Rx	Ry	Rz	RMx	RMz
1	1	1	1	1	1	1

### Appui simple



React.	Noeud	Rx	Ry	Rz	RMx	RMz
1	1	1	1	1	0	0

### Appui unidirectionnel



React.	Noeud	Rx	Ry	Rz	RMx	RMz
1	1	0	1	0	0	0

### Blocage en rotation suivant l'axe Y



React.	Noeud	Rx	Ry	Rz	RMx	RMz
1	1	0	0	0	0	1

### 3.9 / Les préférences :



Vérification des données avant calcul : Le programme vérifie la cohérence des données avant d'entreprendre le calcul.

Affichage des numéros des nœuds : les numéros des nœuds sont inscrits à côté des points représentant les nœuds de la structure.

Affichage des numéros des éléments : les numéros des éléments sont inscrits à côté des barres ou dans les triangles représentant les éléments de la structure.

Affichage des forces extérieures : les forces sont représentées par des vecteurs.

Affichage des appuis : les appuis sont symbolisés aux nœuds où ils sont appliqués.

Affichage structure initiale : La structure en position initiale est représentée en grisé lors de l'affichage graphique des résultats.

Coefficient multiplicateur : Pour représenter la structure déformée il est nécessaire d'amplifier les déformations pour qu'elles soient visibles.

Unité de longueur : Sélection de l'unité de longueur utilisée.

Unité de force : Sélection de l'unité de force utilisée.

Long partie entière / décimale : Définit le format des nombres dans les tableaux.

### 3.10 / Les codes couleurs :



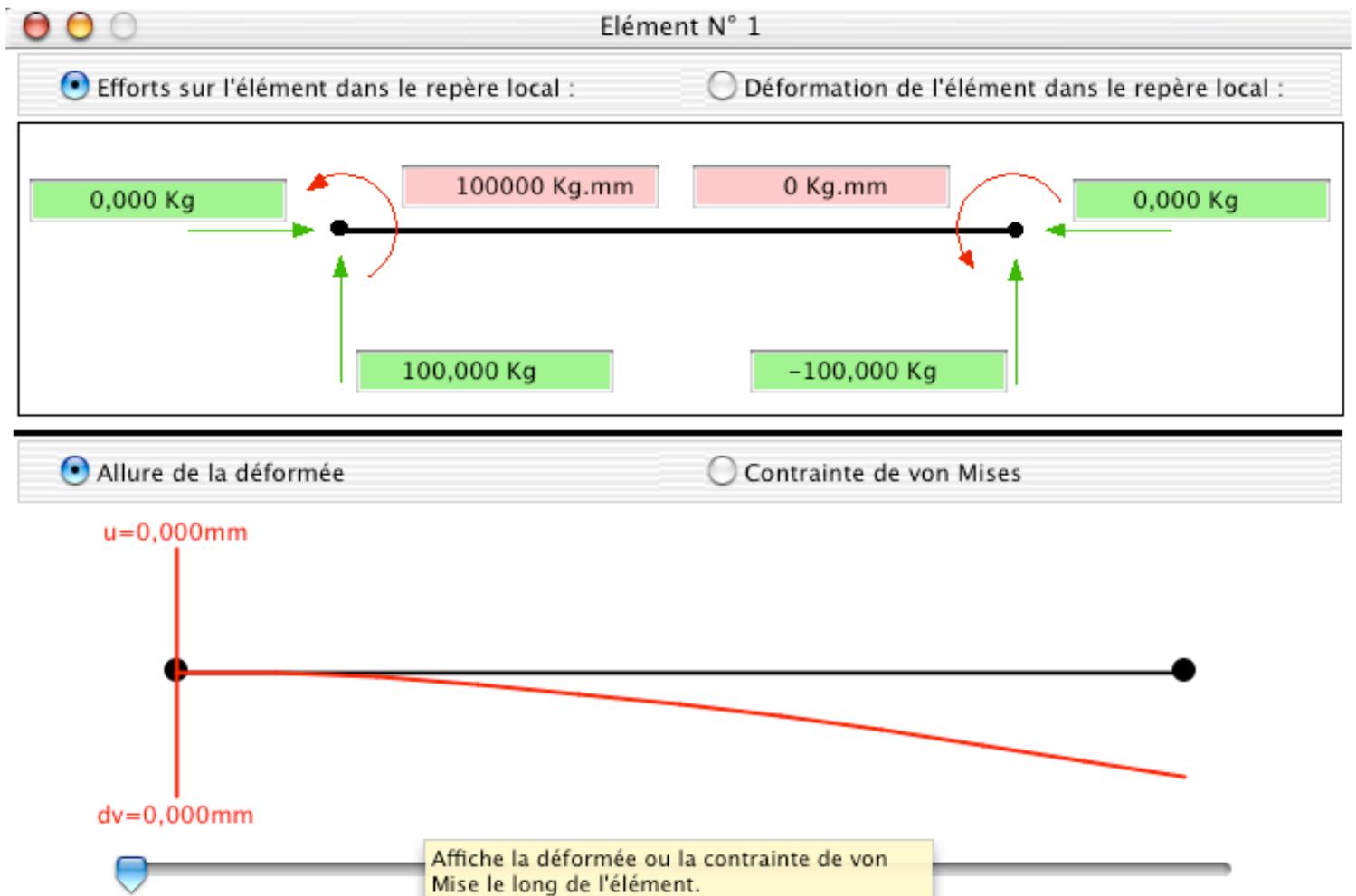
Les éléments sont dessinés dans la couleur correspondant au niveau des contraintes internes.

Le programme calcul la valeur absolue de la contrainte de vonMises et ensuite choisi la couleur adéquate. Dans cet exemple:

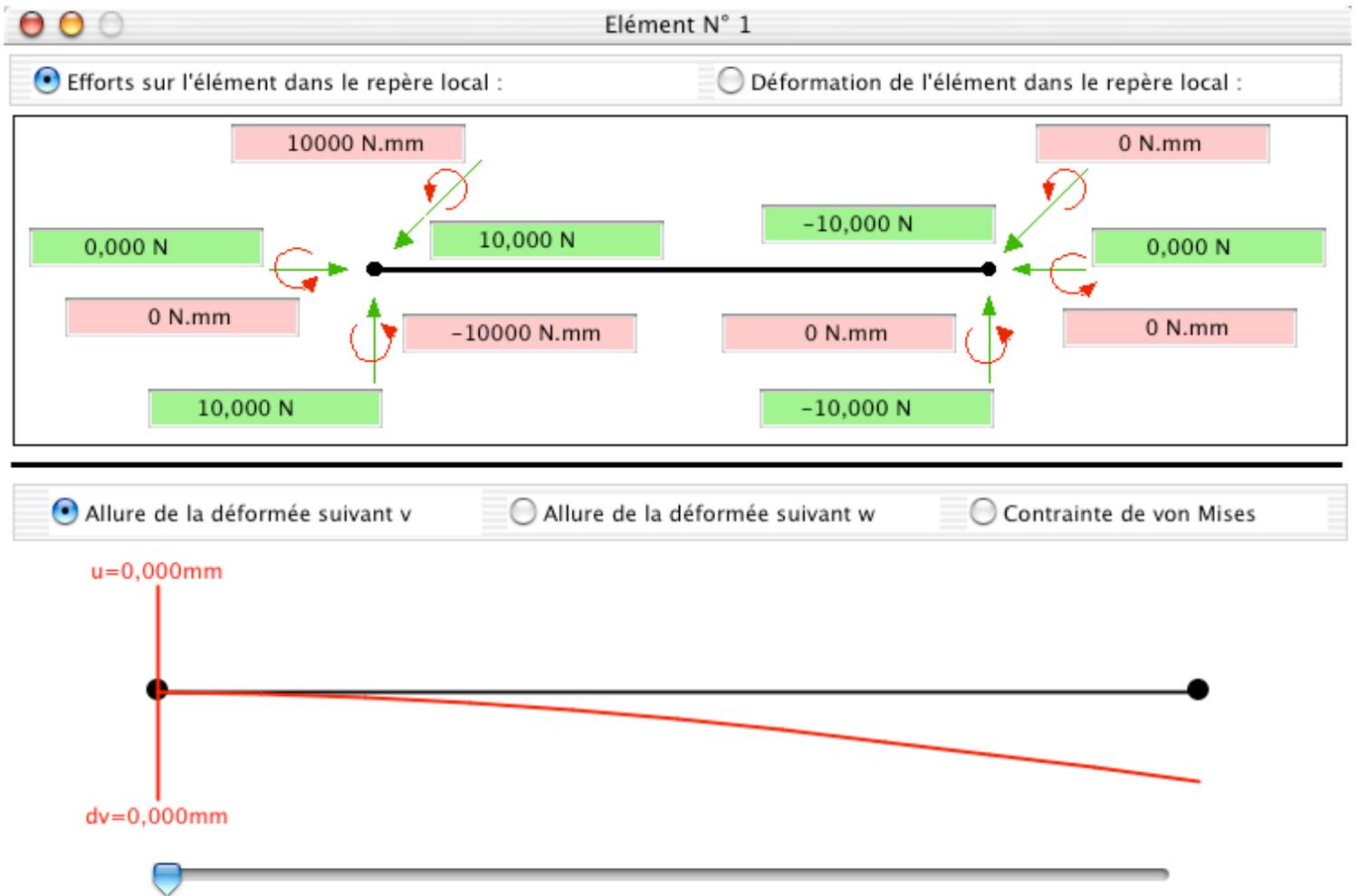
- les éléments violets ont une contrainte interne proche de 0.
- les éléments rouges ont une contrainte interne maximale.

Si “Echelle Automatique” est cochée, Structurix évaluera les contraintes dans tous les éléments, retiendra la contrainte maxi, pour définir la plage des couleurs.

### 3.11 / Ecran détails éléments 2D :



### 3.12 / Ecran détails éléments 3D :



### 3.13 / Maillage triangulaire automatique :

Il est possible de générer un maillage triangulaire automatiquement. C'est valable pour les problèmes de contraintes planes, déformations planes et solide de révolution. Le périmètre du maillage doit être décrit par une succession de points, dont on donne leurs coordonnées x,y. Le périmètre ainsi décrit définit le contour du solide, et doit être fait dans le sens trigonométrique (sens opposé aux aiguilles d'une montre).



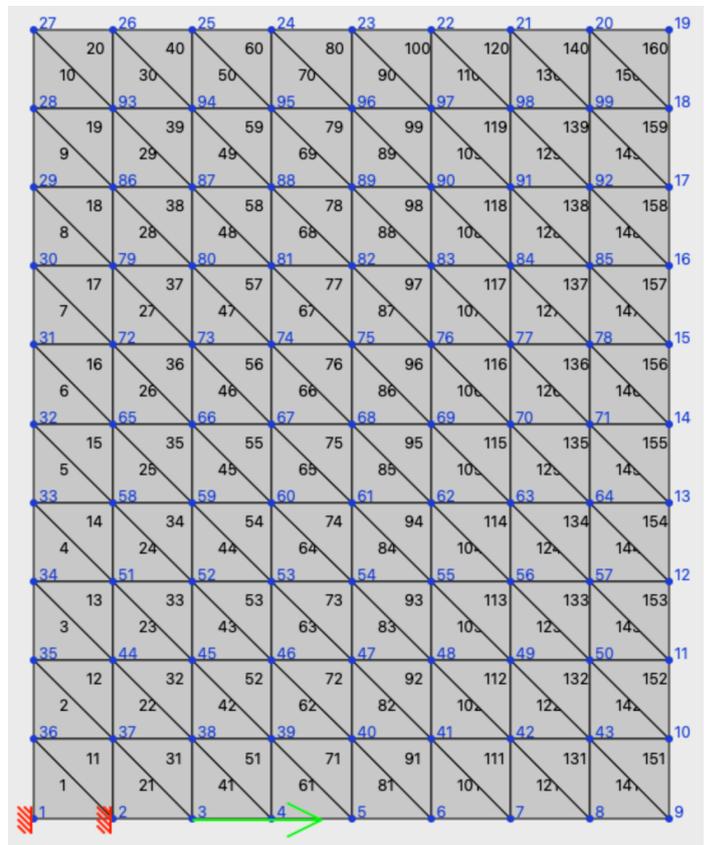
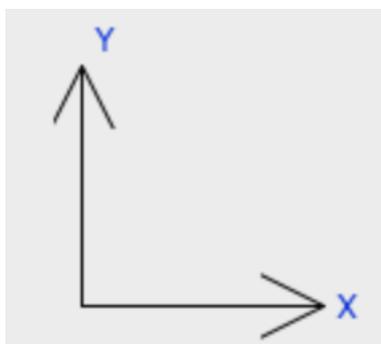
Pour saisir les points qui décrivent le périmètre, il faut cliquer sur le bouton « Edition » de la Définition du périmètre. Les points sont à lister dans le tableau d'édition.

Ne mettre que les points correspondants à un changement de direction, il n'est pas nécessaire d'indiquer les points pour chaque pas du maillage, Structurix ajoutera les points nécessaires pour respecter la taille de la maille.

La dernière ligne doit répéter les coordonnées du premier point, afin que Structurix sache que la description est terminée.

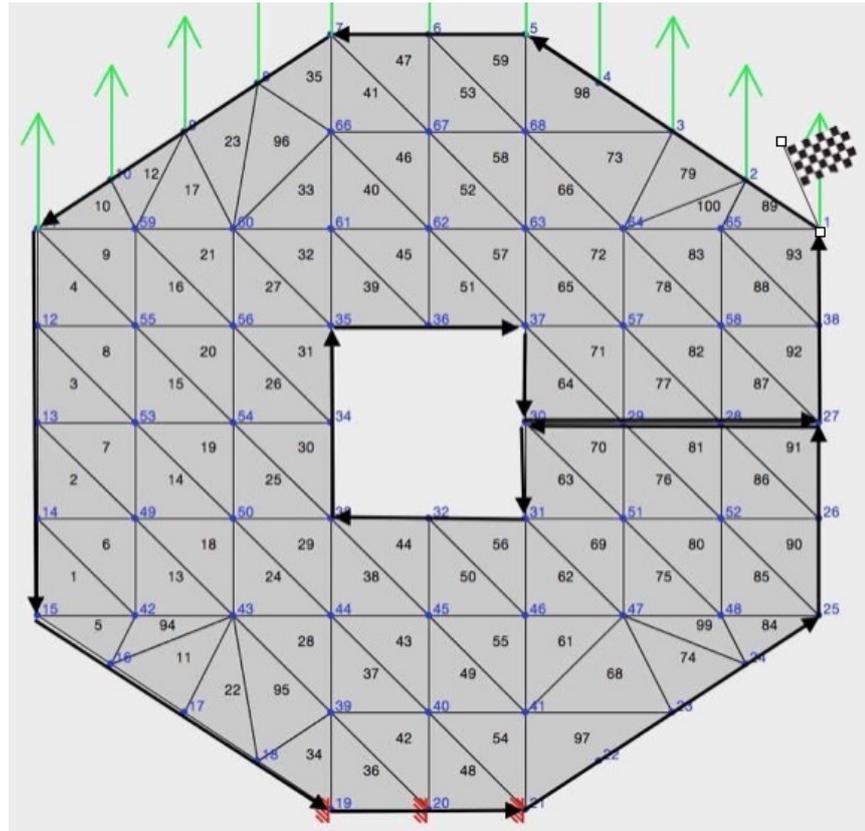
L'exemple, ci-dessous, montre comment décrire un rectangle, et le résultat obtenu.

Périmètre	x [mm]	y [mm]
1	10,000	0,000
2	50,000	0,000
3	50,000	50,000
4	10,000	50,000
5	10,000	0,000



Dans le cas d'une zone creuse, il faut atteindre la zone creuse et rejoindre le périmètre avec la même succession de points. Voir exemple de l'octogone creux:

Périmètre	x [mm]	y [mm]
1	20,000	10,000
2	5,000	20,000
3	-5,000	20,000
4	-20,000	10,000
5	-20,000	-10,000
6	-5,000	-20,000
7	5,000	-20,000
8	20,000	-10,000
9	20,000	0,000
10	5,000	0,000
11	5,000	-5,000
12	-5,000	-5,000
13	-5,000	5,000
14	5,000	5,000
15	5,000	0,000
16	20,000	0,000
17	20,000	10,000



Quand la description est terminée, il faut lancer la génération du maillage en cliquant sur le bouton « Maillage ».

Les différentes étapes dans Structurix sont:

- Calcul du périmètre en ajoutant les noeuds sur le périmètre, pour respecter la taille de la maille.
- Ajout de points sur tout le rectangle qui couvre le périmètre, en respectant la taille de la maille.
- Suppression des points qui sont à l'extérieur du périmètre.
- Création des éléments en utilisant les points disponibles.

A la fin de la génération du maillage. Les points sont copiés dans le tableau noeuds, les éléments sont copiés dans le tableau éléments.

Il vous reste à définir les appuis et les forces appliquées aux noeuds.

### 3.14 / Maillage Rectangulaire automatique :

Il est possible de générer un maillage rectangulaire automatiquement. C'est valable pour les problèmes de flexion planes.

Le périmètre du maillage doit être décrit par une succession de points, dont on donne leurs coordonnées x,y. Le périmètre ainsi décrit définit le contour du solide, et doit être fait dans le sens trigonométrique (sens opposé aux aiguilles d'une montre).



Pour saisir les points qui décrivent le périmètre, il faut cliquer sur le bouton « Edition » de la Définition du périmètre. Les points sont à lister dans le tableau d'édition.

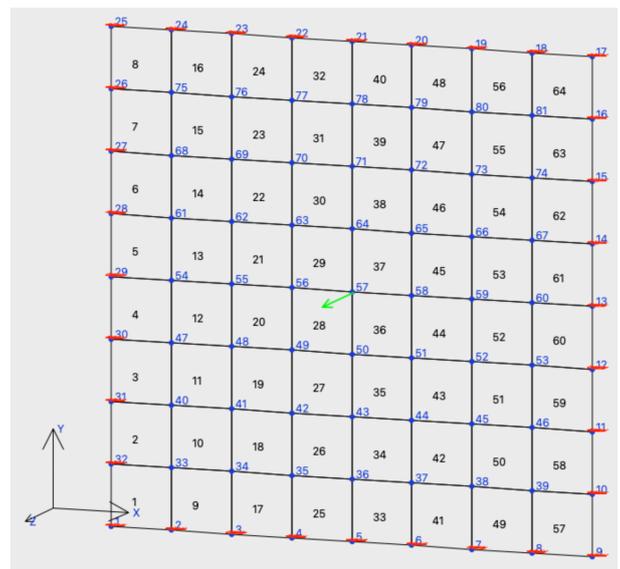
Ne mettre que les points correspondants à un changement de direction, il n'est pas nécessaire d'indiquer les points pour chaque pas du maillage, Structurix ajoutera les points nécessaires pour respecter la taille de la maille.

La dernière ligne doit répéter les coordonnées du premier point, afin que Structurix sache que la description est terminée.

Les segments doivent être horizontaux ou verticaux, ils ne peuvent pas être obliques. La longueur des segments doivent être un multiple du pas de maillage.

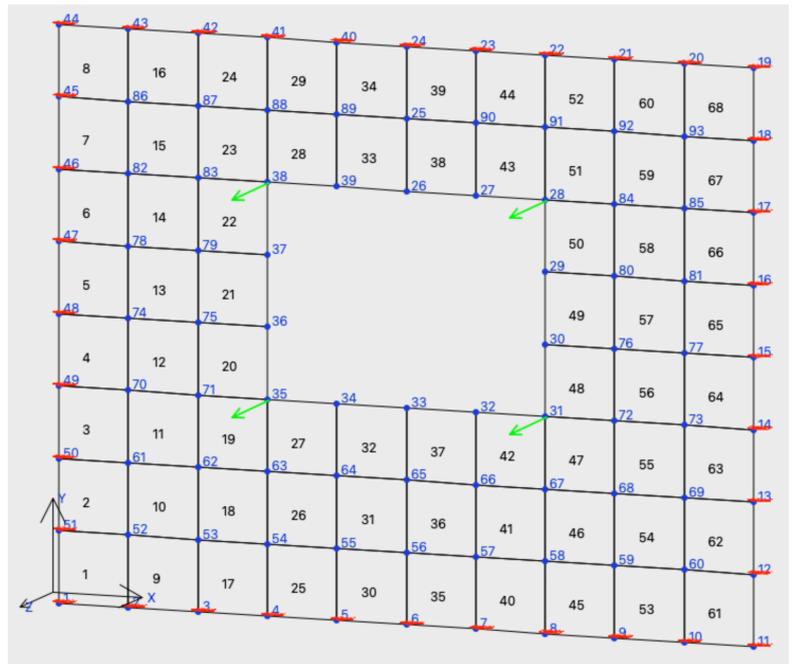
L'exemple, ci-dessous, montre comment décrire un rectangle, et le résultat obtenu.

Périmètre	x [mm]	y [mm]
1	0,000000	0,000000
2	80,000000	0,000000
3	80,000000	80,000000
4	0,000000	80,000000
5	0,000000	0,000000



Dans le cas d'une zone creuse, il faut atteindre la zone creuse et rejoindre le périmètre avec la même succession de points. Voir exemple de l'octogone creux:

Périmètre	x [mm]	y [mm]
1	0,000000	0,000000
2	100,000000	0,000000
3	100,000000	80,000000
4	50,000000	80,000000
5	50,000000	60,000000
6	70,000000	60,000000
7	70,000000	30,000000
8	30,000000	30,000000
9	30,000000	60,000000
10	50,000000	60,000000
11	50,000000	80,000000
12	0,000000	80,000000
13	0,000000	0,000000



Quand la description est terminée, il faut lancer la génération du maillage en cliquant sur le bouton « Maillage ».

Les différentes étapes dans Structurix sont:

- Calcul du périmètre en ajoutant les noeuds sur le périmètre, pour respecter la taille de la maille.
- Ajout de points sur tout le rectangle qui couvre le périmètre, en respectant la taille de la maille.
- Suppression des points qui sont à l'extérieur du périmètre.
- Création des éléments en utilisant les points disponibles.

A la fin de la génération du maillage. Les points sont copiés dans le tableau noeuds, les éléments sont copiés dans le tableau éléments.

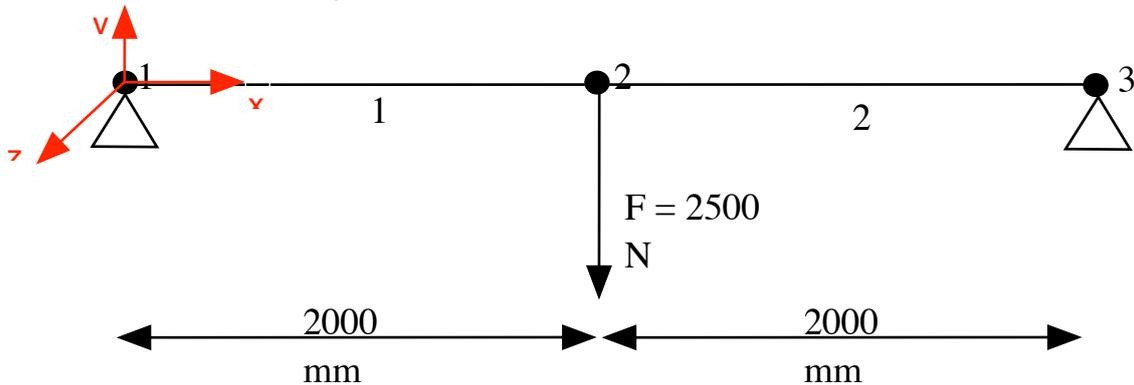
Il vous reste à définir les appuis et les forces appliquées aux noeuds.

#### 4 / Tutoriel sur un exemple simple :

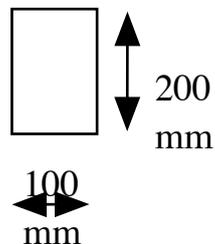
##### 4.1 / Description du problème :

Une poutre en bois de chêne de section 200 mm x 100 mm est posée sur deux appuis distants de 4 mètres. En son milieu, on applique une charge de 2500 Newton.

Représentation schématique :



Caractéristiques des deux poutres en bois de chêne :



$E = 10000 \text{ N/m}^2$

##### 4.2 / Saisie des nœuds :

Noeuds	x [mm]	y [mm]
1	0,000	0,000
2	2000,000	0,000
3	4000,000	0,000

Le nœud n° 1 a pour coordonnée (0,0).

Le nœud n° 2 a pour coordonnée (2000,0).

Le nœud n° 3 a pour coordonnée (4000,0).

#### 4.3 / Saisie des éléments :

Eléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm2]	Section [mm2]
1	1	2	10000	20000,000
2	2	3	10000	20000,000

Eléments	2]	Section [mm2]	Inertie w [mm4]	Fibre Ext/v [mm]	Densité
1	00	20000,000	66666666	100,000	7,800
2	00	20000,000	66666666	100,000	7,800

Le premier élément va du nœud 1 au nœud 2.

Il a pour module d'Young = E = 1000 N/mm<sup>2</sup>, car il est en bois de chêne.

Sa section est de 200 x 100 = 20000 mm<sup>2</sup>.

L'inertie suivant w se calcul facilement à l'aide de la formule  $bh^3 / 12 =$

$$100 * 250^3 / 12 = 66666666 \text{ mm}^4.$$

La position de la fibre externe par rapport à l'axe v est 200/2 = 100 mm.

#### 4.4 / Saisie des forces extérieures :

Forces Ext	Noeud	Fx [N]	Fy [N]	Mz [N.mm]
1	2	0,000	-2500,000	0

Une seule force est appliquée au nœud 2. Sa composante en x est nulle, sa composante en y vaut -2500 N. Elle est négative car dirigée vers le bas.

Comme il n'y a pas de couple appliqué, Mz vaut zéro.

#### 4.5 / Saisie des réactions aux appuis :

Réact.	Noeud	Rx	Ry	RMz
1	1	1	1	0
2	3	0	1	0

Il y a deux réactions, l'une appliquée au nœud 1 et l'autre au nœud 3.

Pour définir un appui, il faut préciser par 0 ou 1 le type de comportement de l'appui dans la direction indiquée.

Dans notre cas, on a seulement une réaction dans sens Y. Il faut donc saisir 1 dans Ry pour chaque réaction.

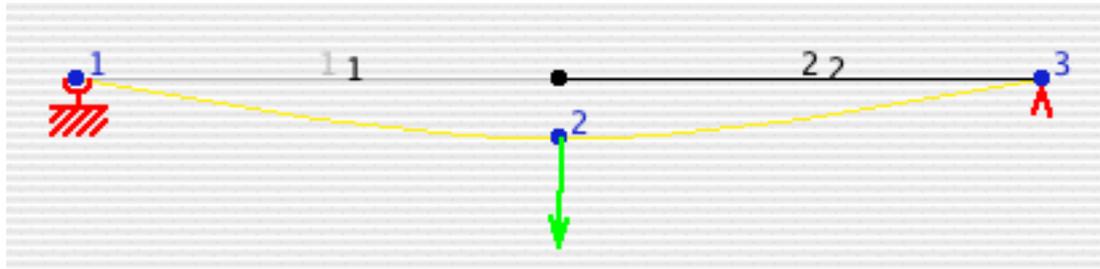
Notre système est maintenant posé sur deux appuis mais n'est pas bloqué en X.

Si vous lancez le calcul, un message d'erreur apparaîtra, vous signalant qu'il manque un blocage en X.

Un raisonnement logique nous permet de savoir que les efforts en X sont nuls, mais, le programme ne peut pas savoir à l'avance que les composantes en X ne sont pas à considérer. C'est pour cela qu'il faut bloquer en X la structure sur l'un des deux appuis.

#### 4.6 / Calcul et résultats :

Déplts	dx [mm]	dy [mm]	dMz
1	0,000	0,000	-0,004
2	0,000	-5,000	0,000
3	0,000	0,000	0,004



## 5 / Caractéristiques de quelques matériaux :

E [N/mm<sup>2</sup> ou MPa] : module d'élasticité ou de Young.

G [N/mm<sup>2</sup> ou MPa] : module d'élasticité transversale.

$\nu$  : nombre de Poisson.

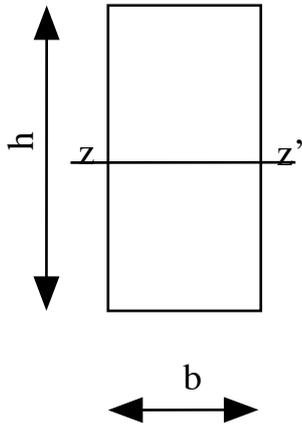
S1 [N/mm<sup>2</sup> ou MPa]: limite élastique en traction.

$\rho \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup> : masse volumique.

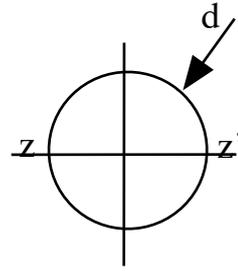
Matériau	E	G	$\nu$	s1	r
Fer	200000	80000	0,24	200	7,80
Acier XC10	216000	86400	0,29		7,80
Acier C32	200000	80000	0,24	370	7,80
Acier C45	200000	80000	0,24	400	7,80
Acier 35NCD4	200000	80000	0,24	900	7,80
Acier 45SCD6	220000	88000	0,29	1450	7,80
Acier inox. 18.10	203000	81200	0,29	200	7,90
Fonte grise courante	90000	36000	0,29	190	7,20
Titane TA6V	105500	42200	0,34	300	4,50
Alliage titane Ti 4 Al 4 Mn	115000	46000	0,34	900	4,42
Aluminium	70500	28200	0,34	150	2,70
Alliage AU 4 G	72000	28800	0,32	200	2,80
Alliage AU 2 GN	75000	30000	0,34	370	2,80
Zicral AZ 8 GU	72000	28800	0,34	550	2,80
Cuivre	100000	40000	0,33	180	8,90
Laiton Cu Zn 5	125000	50000	0,38	200	8,30
Laiton Cu Zn 40	105000	42000	0,34	220	8,30
Bronze ordinaire	106000	42400	0,31	240	8,40
Bronze au beryllium	130000	52000	0,34	800	8,25
Beryllium	300000	120000	0,05	300	1,85
Magnésium	46000	18400	0,34	180	1,74
Zinc	130000	52000	0,21	120	7,15
Nickel	205000	82000	0,31	300	8,30
Béton	27000		0,20	1,2tract/8 comp	2,20
Granit	60000		0,27	65-150	2,70
Bois Chêne	10000	500		12	0,80
Bois pin Sylvestre	17000	1000	0,45	11	0,60
Plexiglas	2900	1160	0,40	80	1,80
Verre	60000	24000	0,20	60	2,50
Araldite	3000	1200	0,40	70	1,15
Caoutchouc	2	1	0,50		0,98

Le fichier material.csv contient les caractéristiques des différents matériaux qui sont présentés dans les fenêtres des caractéristiques des éléments. Ce fichier doit être dans le dossier contenant l'application. S'il est absent, une liste réduite vous sera alors proposée.

6 / Moment quadratique :

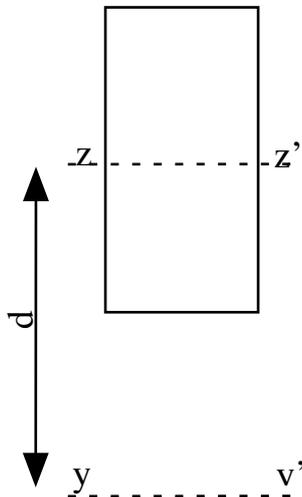


$$I_{zz'} = \frac{bh^3}{12}$$



$$I_{zz'} = \frac{\pi d^4}{64}$$

Théorème de Huygens :



$$I_{yy'} = I_{zz'} + S d^2$$

avec S : surface

7 / L'auteur :

Programme écrit par Yannick CALLAUD avec Xojo.

yannick.callaud@laposte.net

<http://y.callaud.free.fr>

Un grand Merci à Fabrice JAUME - AMBARES (33), qui m'a incité à créer une version Wintel.  
Il m'a également suggéré de nombreuses améliorations qui profitent à tous.

## 8 / Les évolutions du programme :

- version 3.7.1 du 18/12/24: Compilation avec nouvelle version de Xojo qui permet le MultiCore. Ce qui permet des calculs 20 fois plus vite.  
Mise à jour de quelques routines pour garantir la compatibilité avec les futures versions de Xojo.
- version 3.7.0 du 17/7/24: Sauvegarde les résultats pour éviter un re-calcul parfois long pour afficher les résultats.  
Mise à jour de nombreuses routines pour garantir la compatibilité avec les futures versions de Xojo.
- version 3.6.0 du 9/2/24: Affiche l'aide contextuelle du champ d'édition de la contrainte maximum pour définir l'échelle des couleurs.  
Ajout possibilité de copier dans le presse papier, l'un des tableaux de résultat: déformation, contraintes, réactions. Par exemple : afin de transférer les résultats dans un tableur.  
Corrige un problème d'arrondi dans les coordonnées des points générés lors du maillage automatique d'éléments rectangulaires.  
Corrige un défaut d'affichage graphique des réactions pour les problèmes de plaques rectangulaires. Ce problème apparaissant pour les cas de petites dimensions.  
Correction d'un problème qui montrait des déformations en x et y sur les flexions des plaques, alors que seule la déformations en z est calculée.  
Ajout barre de progression indéterminée dans la fenêtre d'information, lors de la création des éléments et lors du calcul.  
Amélioration de l'affichage des numéros des éléments rectangulaires et triangulaires, sur le graphique des données.
- version 3.5.3 du 20/07/23: Correction pour afficher la liste des matériaux dans la bonne langue: Français pour France, Anglais pour UK et autres.
- version 3.5.2 du 31/05/23: Correction bugs, signalés par Lionel Angélidès:
  - la section des barres peut être éditée dans la fenêtre caractéristiques.
  - les caractéristiques des poutres peuvent être éditée dans la fenêtre caractéristiques
- version 3.5.1 du 7/11/22:  
Le langage par défaut est maintenant Anglais en lieu et place du Français.
- version 3.5.0 du 18/10/22:  
Correction bugs :
  - Affichage du repère 3D sur la fenêtre principale.
  - Suppression bip lors de la saisie des caractéristiques d'un élément quand un champ est vide.
  - Allure de la déformée des poutres 2D.Ajout élément « Tube rectangulaire » pour le calcul des caractéristiques d'un élément.
- version 3.4.1 du 14/10/22: Correction bug d'affichage :
  - des logos dans les boutons pour l'animation des graphiques.
  - des images dans certaines fenêtres.
- version 3.4.0 du 1/04/22: Ajout curseur sablier lors du maillage.
  - Amélioration de l'option pour caler l'échelle des couleurs en fonction de la contrainte maxi.
  - Re-positionnement fenêtre pour qu'elle soit visible si elle s'affiche en dehors de l'écran.
  - Accélération de l'affichage sous forme graphique.

- Ajout affichage du niveau de contrainte dans l'élément.
- Ajout messages précisant l'avancement du maillage.
- Amélioration du maillage, notamment sur la forme des éléments triangulaires. Et ajout routine d'optimisation de la forme des triangles.
- Ajout affichage du temps passé au maillage.
- Les fichiers documents peuvent être ouverts avec un double-click.
- Correction bug d'affichage sur Poutres 2D en position déformée si la pesanteur a été prise en compte.
- version 3.3.2 du 6/03/22: Correction bug dans le maillage triangulaire automatique, qui ne fonctionnait plus. Ajout « Beep » à la fin du maillage automatique. La contrainte maximale ne s'affichait pas correctement dans la visualisation graphique des résultats.
- version 3.3.1 du 6/06/21: Meilleure mise à jour de la contrainte max dans fenêtre résultat.  
Message erreur plus explicite quand la structure n'est pas bloquée suffisamment.
- version 3.3.0 du 3/03/21:  
Flexion des plaques: Suppression de la colonne contenant les coordonnées en z des noeuds. Et, ajout fonction de maillage par rectangle pour la flexion des plaques. Ajout option pour définir automatiquement l'échelle des couleurs.
- version 3.2.2 du 16/02/21: Correction d'une erreur de calcul pour les plaques soumises à la flexion, quand la pesanteur était pris en compte.
- version 3.2.1 du 13/02/21: Le calcul des plaques, ne prenait pas en compte la pesanteur. Bug signalé par Vaidas Baranauskas.  
Structurix donne la main au système lors du calcul, elle ne paraît plus bloquée. Le temps du calcul est mis à zéro au lancement d'un nouveau calcul. Les déplacements par noeuds sont affichés à la fin du calcul.  
Ajout affichage des numéros des noeuds au graphique résultat des plaques.
- version 3.2.0 du 4/12/20: Evolution de la fenêtre pour la définition de la couleur des éléments en fonction de sa contrainte.
- version 3.1.4 du 1/05/19: Ajout rafraichissement du tableau des éléments après la modification des caractéristiques.
- version 3.1.3 du 31/05/17 : Modification de l'aide sur la prise en compte de la pesanteur. L'axe Y est l'axe de la verticalité sauf pour les plaques dont la verticale suit l'axe Z. Erreur signalée par Lionel Byledbal.
- version 3.1.2 du 24/02/17 : Correction bug, problème d'affichage des forces réparties sur les éléments poutre 3D. L'affichage des sections des poutres 3D ne sont plus supprimées si le n° des éléments ne sont plus demandés.
- version 3.1.1 du 12/01/16 : Correction bug qui se produisait lors de la sauvegarde de Barres 2D, Barres 3D, Poutres 2D, Poutres 3D, flexion des plaques.
- version 3.1.0 du 13/07/15 : Ajout maillage automatique pour les problèmes Déformations planes, Contraintes planes et Solide de révolution. Les Eléments triangulaires sont maintenant grisés lors de la représentation graphique des données, afin de bien visualiser les trous ou manques.  
Si ajout d'une ligne, le tableau scroll automatiquement et la cellule de la première colonne est sélectionnée pour une saisie immédiate.  
Le copier coller fonctionne maintenant avec Number.  
Correction erreur qui empêchait le calcul des contraintes en déformations planes.

- Version 3.0.7 du 20/12/14 : Meilleure proportion pour l'affichage graphique 2D. Re-calculation de l'affichage si la fenêtre graphique est re-dimensionnée.
- Version 3.0.6 du 27/11/14 : Centre l'affichage graphique des données et des résultats.
- Corrige bug pour la sauvegarde du module d'Young pour les éléments Contraintes planes et Déformations planes.
- version 3.0.5 du 10/11/14 : Ajoute l'extension « .dat », lors de l'enregistrement du fichier. Suite remarque de Lance Richard.
- version 3.0.4 du 22/09/14 : Correction erreur d'affichage des contraintes axiales pour les poutres 2D et 3D. Erreur dans les cas d'utilisation des forces réparties ou en tenant compte de la pesanteur. Bug découvert et signalé par Xavier Dumont.
- version 3.0.3 du 9/08/14 : Ajout affichage de la durée du temps de calcul.
- version 3.0.2 du 10/03/13 : Correction erreur de calcul sur la contrainte vonMises des éléments plaques rectangulaires. Erreur découverte et signalée par Gérard Lachenal.
- version 3.0.1 du 6/01/13 : Correction bug, le bouton de validation de saisie n'était pas actif. Bug découvert et signalé par Michel GAUBERT.
- version 3.0.0 du 21/10/12 : Correction bug lors du copié/collé de liste. Les matières s'affichent dans la bonne langue. Ajout élément «Solide de révolution».
- version 2.9.5 du 23/09/12 : Correction bug sur la représentation des forces en 2D. Merci à Xavier Dumont de me l'avoir fait découvrir.
- version 2.9.4 du 23/10/11 : Correction bug pour permettre de copier et coller des valeurs à partir d'un tableur. Cela facilite la construction de la structure. N'affiche plus la fenêtre inopportune sur le détail de l'élément dans le cas des flexions des plaques.
- version 2.9.3 du 03/09/11 : Correction bug de représentation graphique des forces. Le copier/coller est utilisable pour éditer les noeuds et les éléments.
- version 2.9.2 du 17/07/11 : Corrections bugs.
- version 2.9.1 du 14/07/11 : Dans la fenêtre d'édition des caractéristiques des éléments, le calcul des sections et inerties se fait automatiquement.
- version 2.9.0 du 19/06/11 : La largeur des colonnes est fonction du format défini dans les préférences. Amélioration de la représentation des forces réparties dans les graphiques. Ajout d'une fenêtre d'édition des éléments pour faciliter le calcul des inerties, section, et distance des fibres externes par rapport à la fibre neutre. Le fichier material.csv contient les caractéristiques des matériaux proposés dans les fenêtres d'édition des caractéristiques des éléments.
- version 2.8.1 du 13/06/11 : La cellule d'édition des valeurs numériques s'écrit au format numérique défini dans les préférences. Amélioration de la représentation des forces et des réactions dans les graphiques. Ajout d'un repère X, Y, Z, dans les représentations graphiques.
- version 2.8.0 : Ajout de la possibilité de copier et coller des parties de tableau de données. Cela permet de coller des données provenant d'un tableur.
- version 2.7.1 : Correction bug de représentation des forces extérieures lors de la visualisation 3D. Merci à Martin Ruiz de l'avoir signalé. Correction bug de représentation de la section en I en visualisation 3D.

Les rotations en vue 3D sont contrôlées par un click-glissé et non plus par option-scroll.

- version 2.7.0 : Ajout dans les préférences, la possibilité de fixer le nombre de décimale. Correction d'un bug de calcul dans les rotations des matrices de rigidité élémentaires pour la constitution de la matrice de rigidité globale. Merci à Martin RUIZ de l'avoir identifié.

Dans l'affichage graphique. Des boutons permettent, le zoom, la rotation et le déplacement du graphique, l'affichage ou non, des numéros des noeuds, des éléments, des forces et des réactions.

Meilleure représentation des forces dans les structures 3D.

Le scroll horizontal a été ajouté dans la fenêtre principale.

- version 2.6.4 : Correction bug qui empêchait l'affichage du résultat graphique des barres 3D. Merci à François Rimbart.
- version 2.6.3 : Lors de l'impression, il est possible de délimiter les pages à imprimer.
- version 2.6.2 : Correction bug lors de l'impression des résultats si le nombre de Forces extérieures ponctuelles est nul. Merci à Christophe d'avoir signalé le bug.
- version 2.6.1 : Correction bug lors de l'impression si le nbre de Forces extérieures ponctuelles est nul.
- version 2.6.0 : Ajout élément plaque en flexion.

En déformations et contraintes planes, sont donnés le niveau de contraintes maxi des noeuds, et non plus le niveau de contrainte du premier noeud.

La roulette de la souris est maintenant gérée.

- version 2.5.5 : Correction bug de gestion du séparateur décimal.
- version 2.5.4 : Correction bug du calcul des contraintes dans le tableau récapitulatif.
- version 2.5.3 : Suppression du message d'erreur si on souhaitait aucune force ponctuelle.

Modification du calcul des forces réparties pour éviter des incohérences dans les résultats.

Correction bug dans le calcul des déplacements et des efforts des éléments Poutre 3D avec charges réparties.

- version 2.5.2 : Correction défaut qui se produisait quand on voulait supprimer une réaction.
- version 2.5.1 : Correction Densité par SpecG dans la version Anglaise. Merci à Gabriel Fuentes.
- version 2.5.0 : Suppression colonne InertieX, non nécessaire car calculée à partir de InertieY et InertieZ.

Ajout repère 3D dans la fenêtre principale.

Mise en place notion de repères local (u,v,w) et global (x,y,z).

- version 2.4.1 : Ajout dessin de la section des poutres 3D en forme de IPN pour indiquer l'orientation de la poutre dans le repère général.

Ajout du tableau des charges réparties lors de l'impression.

Correction d'une erreur dans le calcul des réactions quand des forces extérieures étaient appliquées aux points d'appuis.

Correction d'un problème d'affichage graphique sur les éléments poutre 2D avec charge répartie.

Correction calcul contraintes sur élément 3D.

- version 2.4.0 : Ajout des tracés de la déformée et de la contrainte de von Mises dans la fenêtre “détails”. Correction de quelques bugs.
- version 2.3.0 : Ajout d’une fenêtre “détails” pour visualisation des déformations et des efforts par élément dans son repère local.
- version 2.2.0 : Modification de la représentation des appuis afin d’être mieux conforme à l’usage.  
Dans la version PC, l’extension du fichier est maintenant ajoutée automatiquement lors de la sauvegarde.
- version 2.1.0 : Ajout des bulles d’aide. Une vérification des valeurs définissant les couleurs des éléments est réalisée lors de la validation.
- version 2.0.1 : Ajout dessin des charges réparties lors des visualisations graphiques. Le coefficient amplificateur est maintenant sélectionné dans la fenêtre préférences. Correction bugs: erreur lors du dessin des poutres déformées, impossibilité d’ajouter des charges réparties après lecture d’un document.
- version 2.0.0 : Ajout de la possibilité de tenir compte de l’effet de la pesanteur. Ajout de la possibilité d’appliquer des charges réparties sur les éléments poutres. Correction d’une erreur de calcul lors de la création de la matrice index liée aux réactions.  
Amélioration de la vérification de la structure avant calcul.  
Ajout vérification de la structure avant de l’afficher graphiquement.  
Ajout dialogue info lors du calcul.  
Ajout vérification du sens de numérotation pour les éléments triangulaires.
- version 1.4.0 : Sélection possible de plusieurs cellules afin de permettre la recopie vers le bas des valeurs sans les saisir une à une.  
Correction d’un bug dans l’affichage des résultats poutres 2D.(mauvaise déformée)  
Ajout Icône en forme de clé à fourche avec maillage.
- version 1.3.0 : Réécriture de l’impression grâce aux conseils de Fabrice JAUME. Tous les tableaux de données s’imprime les uns derrière les autres.
- version 1.2.0 : Ajout des unités pour éviter les confusions.  
Orientation des appuis afin d’être plus logique.  
Réécriture de la gestion des langues (Français, Anglais). Pour simplifier le travail du programmeur lors de l’évolution de chaque version. C’est complètement transparent pour l’utilisateur.  
Ajout message spécifique si la structure n’est pas bloquée dans toutes les directions.
- version 1.1.1 : Les points et leurs numéros sont affichés en bleu.
- version 1.1.0 : Ouverture automatique d’un document par un double-clic.
- version 1.0.0 : Première version mise à disposition du public.  
Structurix a été réécrit en Basic à l’aide des sources C++ de ElemFin.  
Ajout par rapport à ElemFin:
  - La fenêtre graphique peut être redimensionnée.
  - Il mémorise dans ses préférences la dimension et la position des fenêtres.