

# Structurix

## 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 :

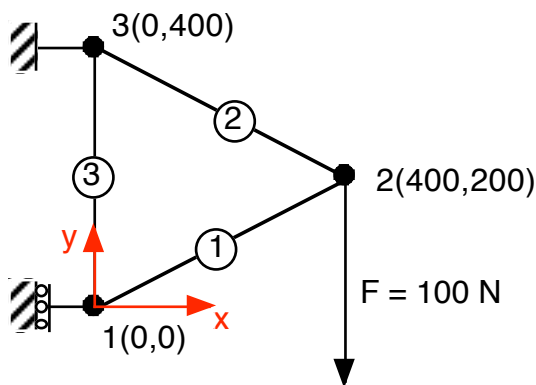
- barres.
- poutres.
- Éléments rectangulaire pour le calcul des plaques en flexion.

Structurix permet le calcul des :

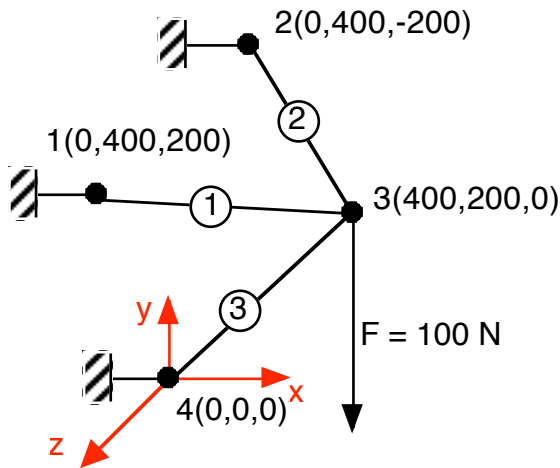
- déplacements de chaque nœuds.
- réactions aux appuis.
- contraintes dans chaque élément.

## 2/ Quelques exemples fournis :

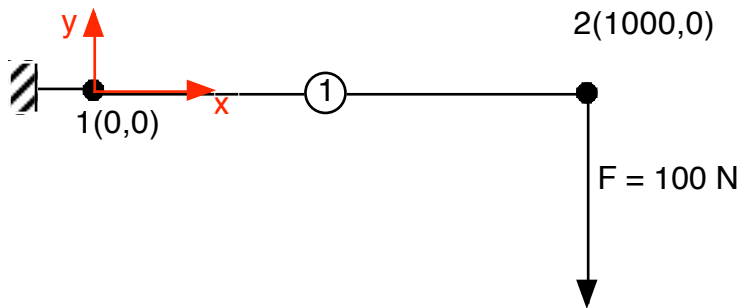
### a / Barres 2D :



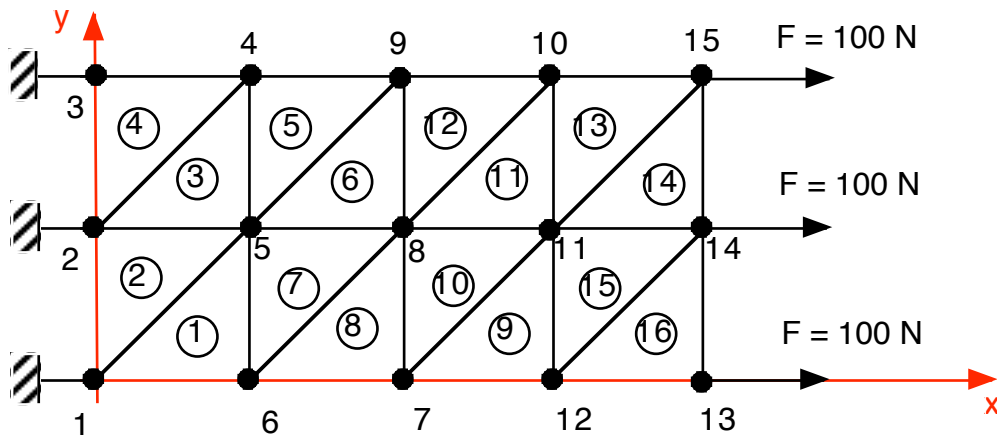
b / Barres 3D :



c / Poutres 2D :



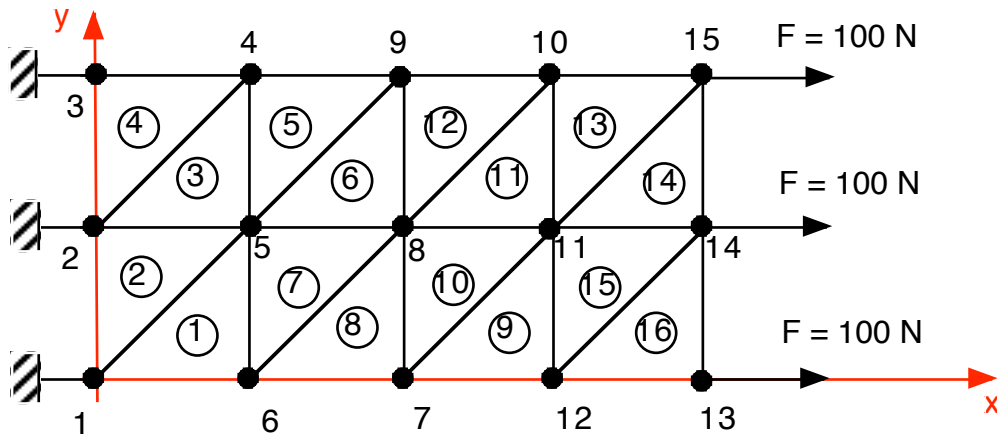
d / Contraintes planes :



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).

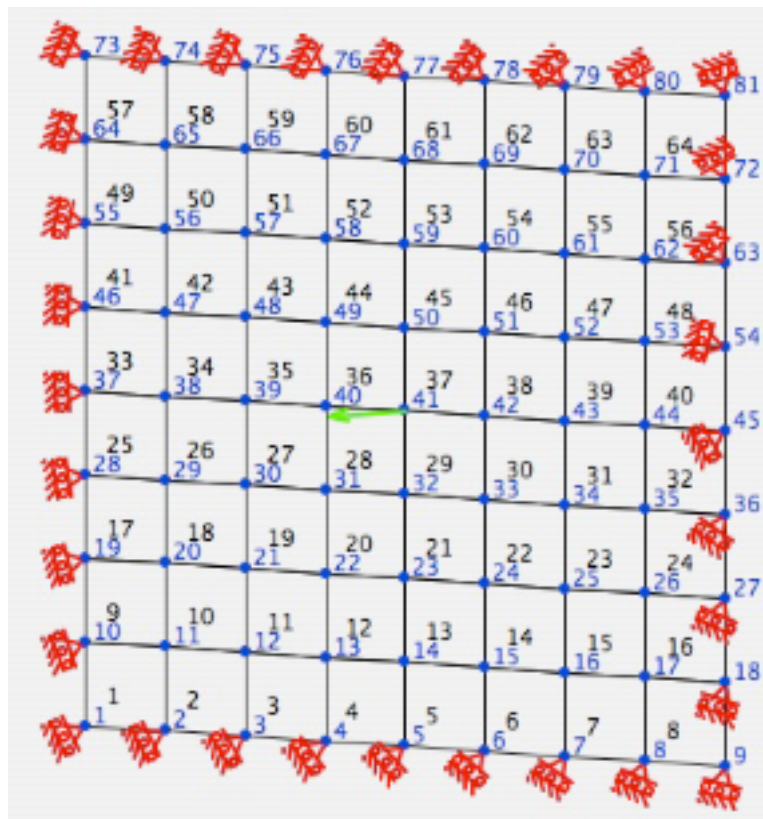
## e / Déformations planes :



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).

## f / 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

### 3/ Les écrans :

#### a / L'Écran principal :

Type de problème traité

Edition des données

Vérification des données

Lancement du calcul

Sans titre

Barres 2D

Tenir compte de la pesanteur

Nbres noeuds: 3

Nbres éléments: 3

Nbres forces ponct.: 1

Nbres réactions: 2

Visualisation graphique :

0

Validation

Y

X

Z

u

v

w

Détails

Affichage des résultats

Champ pour édition d'une cellule

Validation lors de l'édition

Tableau pour :  
- l'édition des données  
- l'affichage des résultats

Noeuds	x [mm]	y [mm]
1	0,000	0,000
2	400,000	200,000
3	0,000	400,000

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

Barres 2D
Vérif.
Calcul

Tenir compte de la pesanteur

Nbre noeuds

Edition
Déplacements

Nbre éléments

Edition
Contraintes
Détails

Nbre forces punct.

Affiche la liste des éléments avec leurs caractéristiques dans le champ Tableau, et permet leur édition.

Nbre réactions

Edition
Réactions

---

Visualisation graphique :
Données
Résultats

---

Validation

Eléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm2]	Section [mm2]	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.

## c / Caractéristiques des Poutres 2D :

Sans titre

Vérif.
Calcul

Tenir compte de la pesanteur

Nbre noeuds

Nbre éléments

Nbre forces ponct.

Nbre Charges répart.

Nbre réactions

Edition Déplacements

Edition Contraintes Détails

Edition

Edition

Edition Réactions

---

Visualisation graphique :
Données Résultats

---

Validation

Eléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm2]	Section [mm2]	Inertie w
1	1	2	200000	400,000	

Eléments	Section [mm2]	Inertie w [mm4]	Fibre Ext/v [mm]	Densité
1	400,000	13333	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  $I_w = \sum D_s \cdot v^2$ .

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.

## d / Caractéristiques des Poutres3D :

Sans titre

Poutres 3D

Tenir compte de la pesanteur

Nbre noeuds

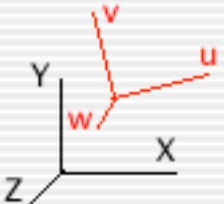
Nbre éléments

Nbre forces ponct.

Nbre Charges répart.

Nbre réactions

Visualisation graphique :



Éléments	Noeud 1	Noeud 2	Young [N/mm <sup>2</sup> ]	Trans [N/mm <sup>2</sup> ]	Section
1	1	2	200000	80000	

Éléments	Section [mm <sup>2</sup> ]	Inertie v [mm <sup>4</sup> ]	Inertie w [mm <sup>4</sup> ]	Fibre Ext/u [mm]
1	400,000	13333	13333	14,000

Éléments	Fibre Ext/u [mm]	Fibre Ext/v [mm]	Fibre Ext/w [mm]	Densité
1	14,000	10,000	10,000	7,800

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  $I_v = \sum D_s \cdot w^2$ .

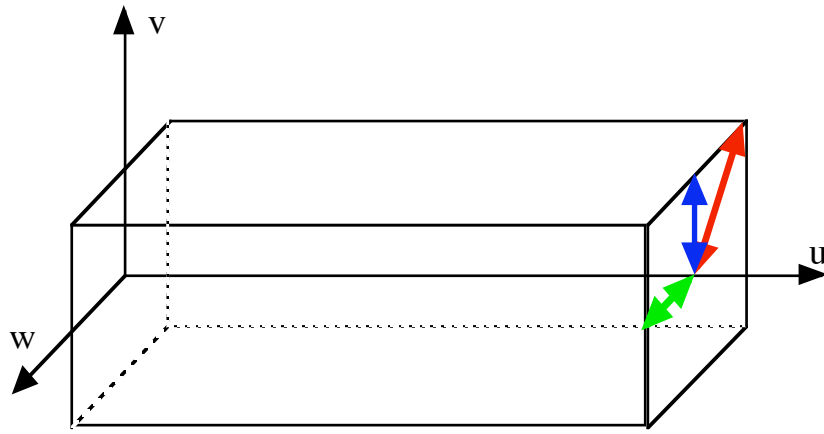
Inertie suivant w : ou Moment quadratique  $I_w = \sum D_s \cdot v^2$ .

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.

### e / Caractéristiques des Plaques :

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

Elasticite plane		
Module d'Young	<input type="text" value="200000"/>	Kg/mm <sup>2</sup>
Coef. poisson	<input type="text" value="0.2"/>	
Epaisseur	<input type="text" value="1"/>	mm
Densité	<input type="text" value="7.8"/>	
<input type="button" value="Annuler"/> <input type="button" value="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  $\epsilon_y = -\nu \cdot \epsilon_x$ .

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.



## f / 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

## g / 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

## h / Les préférences :

**Préférences**

Vérification des données avant calcul

---

Visualisation graphique :

Affichage des numéros des nœuds

Affichage des numéros des éléments

Affichage des forces extérieures

Affichage des appuis

Affichage structure initiale

Coefficient multiplicateur

---

Unité de longueur

Unité de force

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 gris 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.

i / Les codes couleurs :

The dialog box is titled "Code des couleurs" and contains the following text: "Définition des couleurs des éléments en fonction du niveau de contraintes (critère de vonMises):". Below this, there is a table with five rows. Each row has a color name, a description of the stress range, a numerical value in a text box, and a unit "N/mm<sup>2</sup>". The values in the text boxes are 4, 3, 2, and 1 respectively. The "Violet" row is described as "de 0 jusqu'au bleu". At the bottom of the dialog are two buttons: "Annuler" and "OK".

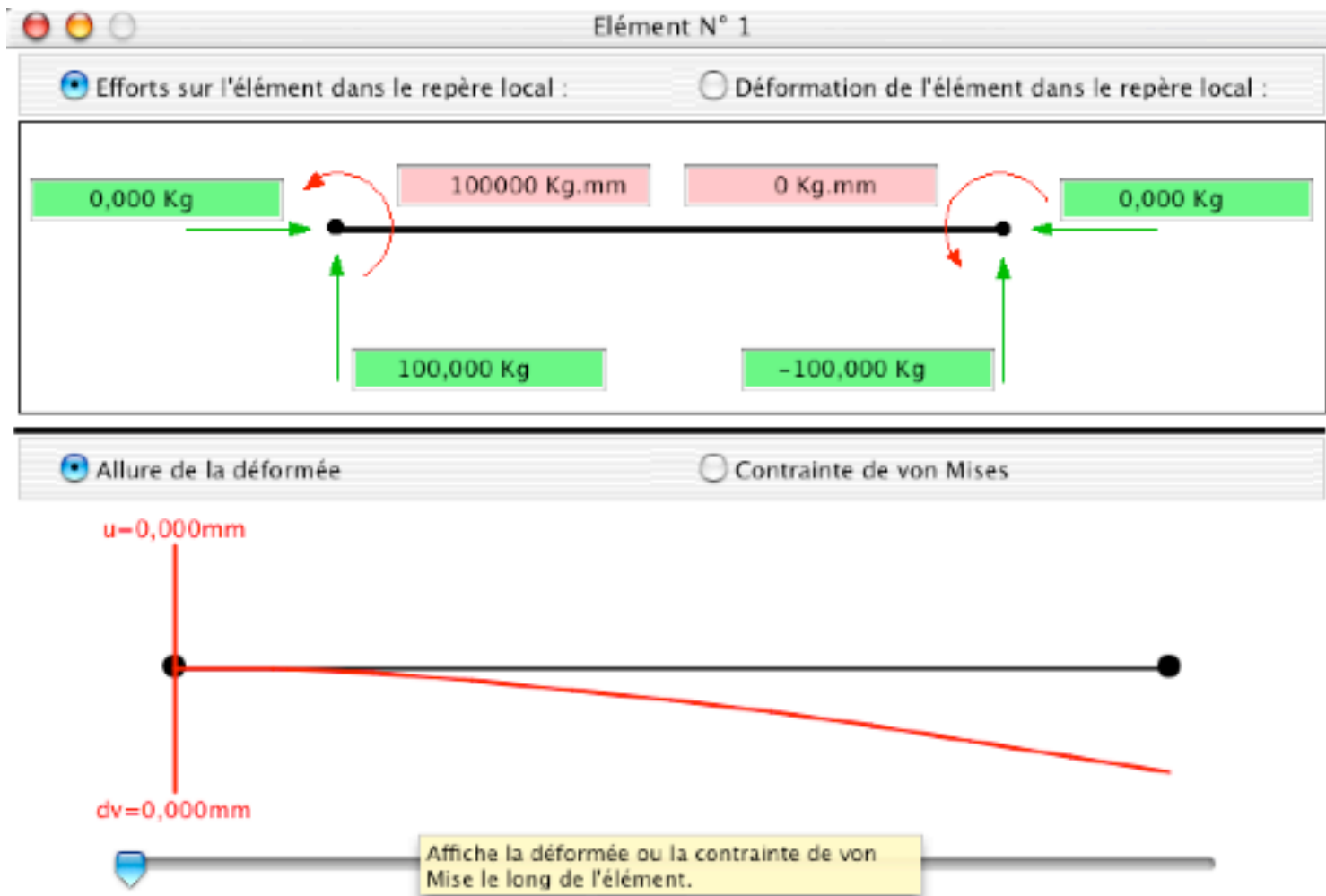
Couleur	Description	Valeur	Unité
Rouge	au dela de	4	N/mm <sup>2</sup>
Jaune	au dela de	3	N/mm <sup>2</sup>
Vert	au dela de	2	N/mm <sup>2</sup>
Bleu	au dela de	1	N/mm <sup>2</sup>
Violet	de 0 jusqu'au bleu		

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

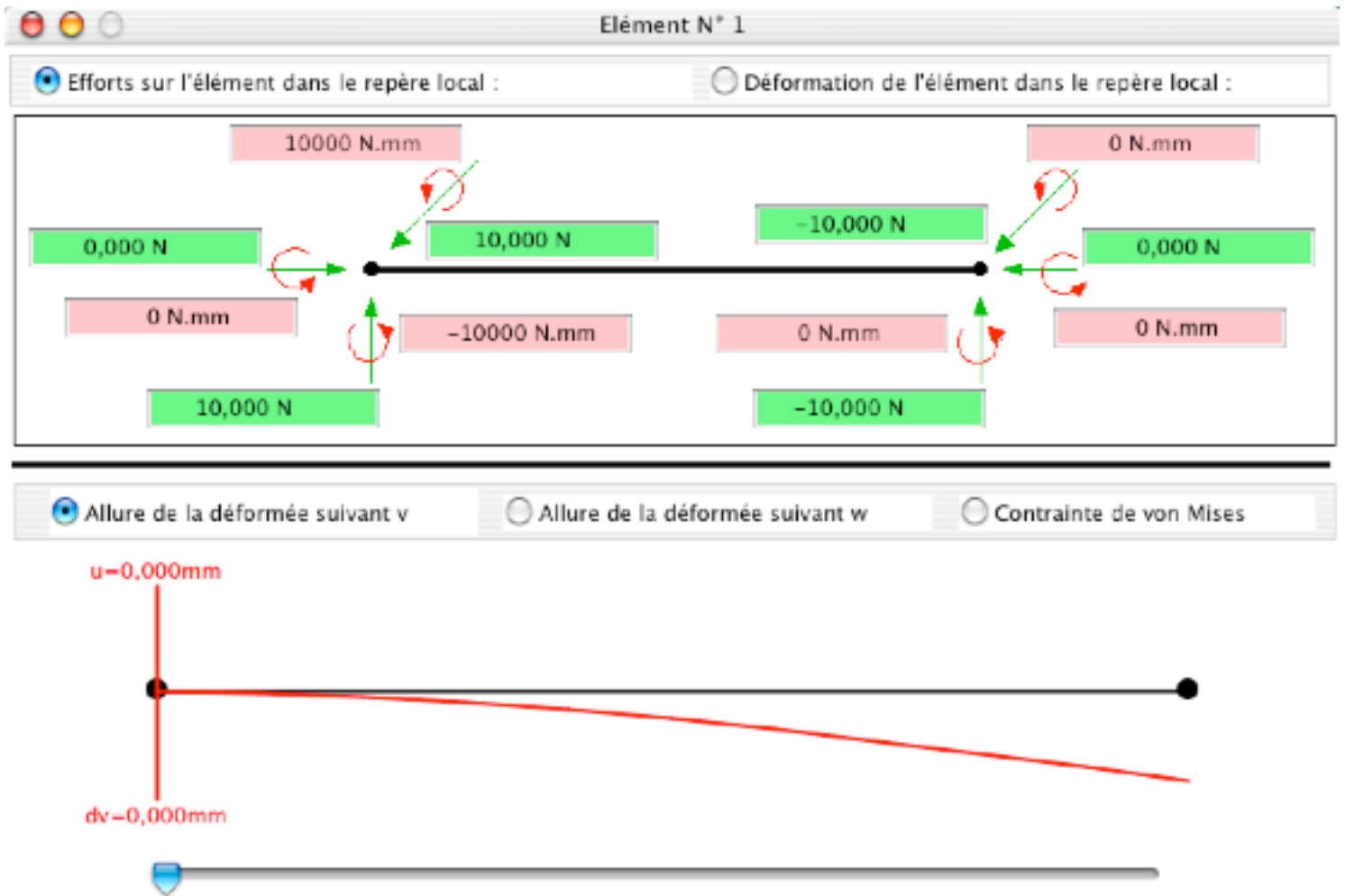
Le programme calcul la valeur absolue de la contrainte de vonMises et ensuite choisi la couleur adéquate. Dans cet exemple:

- les éléments violets ont une contrainte interne comprise entre 0 et 1.
- les éléments bleus ont une contrainte interne comprise entre 1.001 et 2.
- les éléments verts ont une contrainte interne comprise entre 2.001 et 3.
- les éléments jaunes ont une contrainte interne comprise entre 3.001 et 4.
- les éléments rouges ont une contrainte interne supérieure à 4.

j / Ecran détails éléments 2D :



k / Ecran détails éléments 3D :

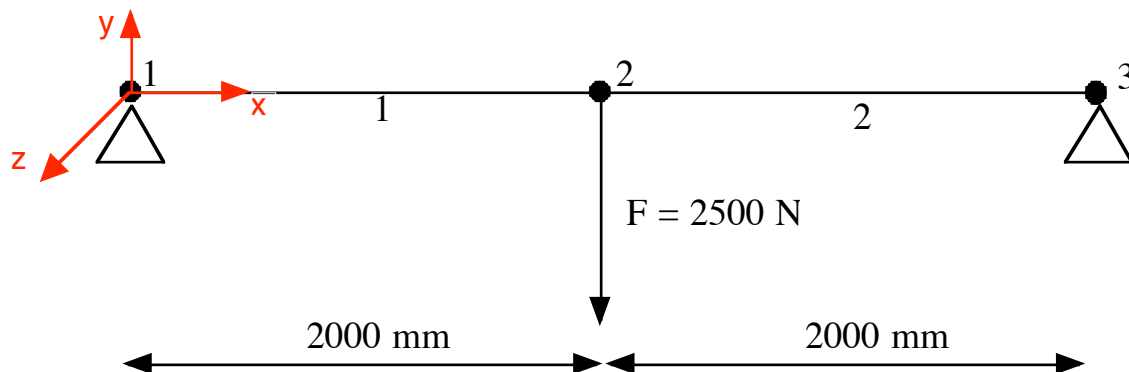


#### 4 / Tutoriel sur un exemple simple :

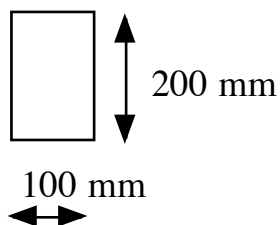
##### a / Description du problème :

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 :



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

##### b / 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).

c / 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 =  $E = 1000 \text{ N/mm}^2$ , car il est en bois de chêne. Sa section est de  $200 \times 100 = 20000 \text{ mm}^2$ .

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  $200/2 = 100 \text{ mm}$ .

d / 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  $-2500 \text{ N}$ . Elle est négative car dirigée vers le bas. Comme il n'y a pas de couple appliqué,  $M_z$  vaut zéro.

e / 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.

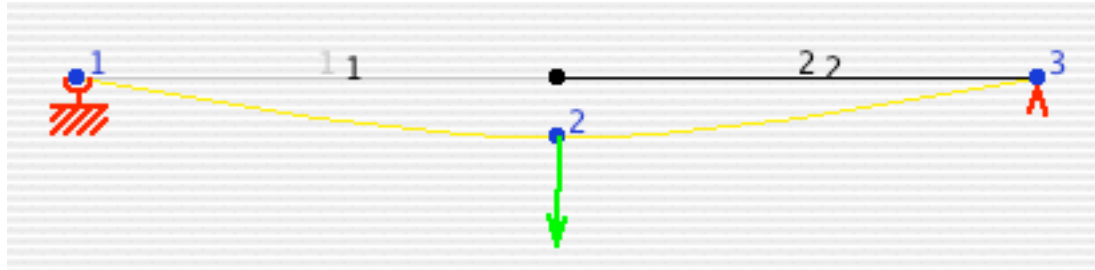
Dans notre cas, on a seulement une réaction dans sens Y. Il faut donc saisir 1 dans  $R_y$  pour chaque réaction.

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 seront nulles. C'est pour cela qu'il faut bloquer en X la structure sur l'un des deux appuis.

f / 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>] : module d'élasticité ou de Young.

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

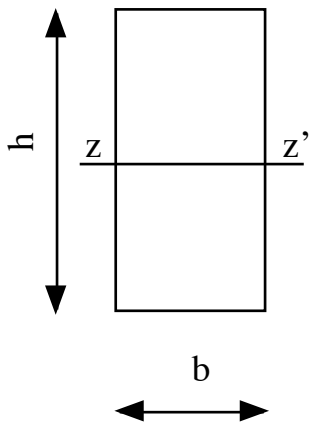
$\nu$  : nombre de Poisson.

$\sigma_1$  [N/mm<sup>2</sup>]: limite élastique en traction.

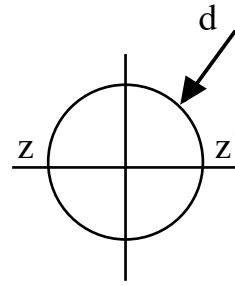
$\rho \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup> : masse volumique.

Matériau	E	G	$\nu$	$\sigma_1$	$\rho$
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	0,28	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	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	0,8	0,50		0,98

## 6 / Moment quadratique :

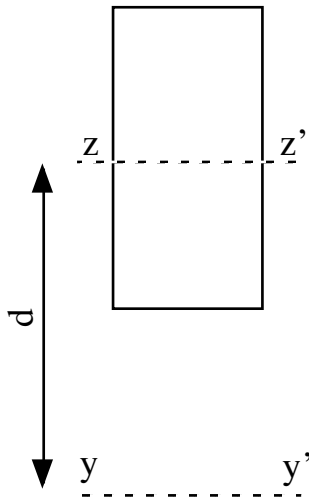


$$I_{zz'} = \frac{bh^3}{12}$$



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

Théorème de Huygens :



$$I_{yy'} = I_{zz'} + S.d^2 \quad \text{avec } S : \text{surface}$$

## 7 / L'auteur :

Programme écrit par Yannick CALLAUD avec RealBasic.

Email: [ycallaud@bigfoot.com](mailto:ycallaud@bigfoot.com)

<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 programmes :

- version 2.6.4 : Correction bug qui empêchait l'affichage du résultat graphique des barres 3D. Merci à François Rimbert.
- 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 nbre 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 triangulaire.
- 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.