



Matériaux et structures composites

Modélisation des composites stratifiés – TP1

Guillaume Couégnat
couegnat@lcts.u-bordeaux.fr

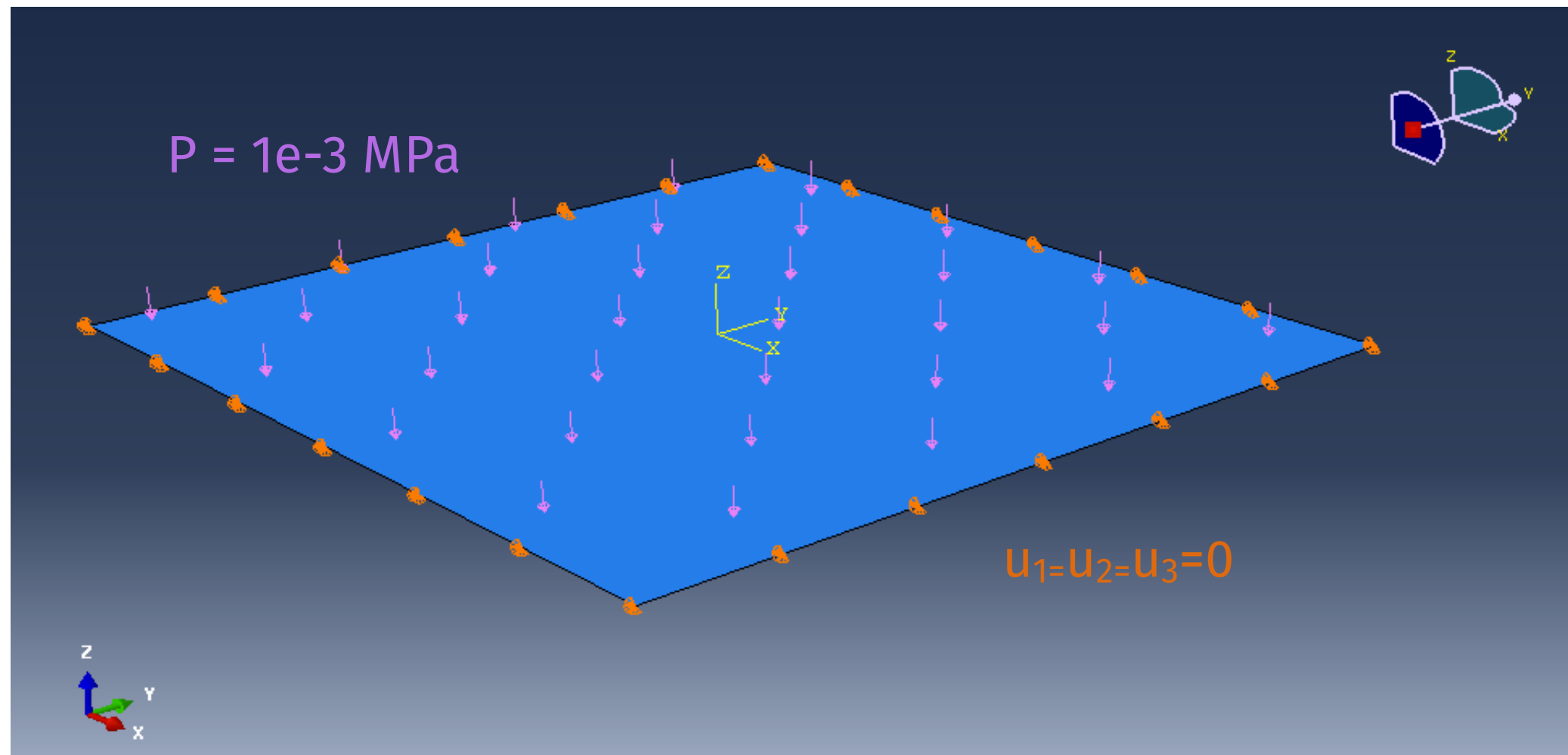
Exercice 1

Stratifié quasi-iso soumis à une pression uniforme

L'objectif est de comparer les différentes modélisations coques disponibles dans Abaqus (homogeneous, general shell stiffness, et composite) dans le cas d'un stratifié quasi-iso (symétrique et équilibré).

Géométrie et conditions limites

- Dimensions plaque : 2000 x 2000 mm
- Déplacements bloqués sur le contour, rotations libres
- Pression uniforme 1 kPa sur la surface supérieure

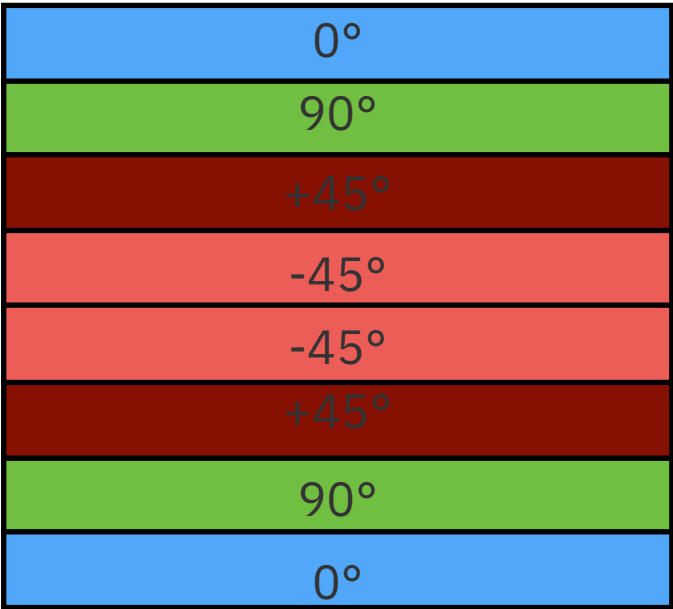


Propriétés matériaux

- Matériau du pli AS4D/9310 (fibres carbone, matrice epoxy)

E_1	$E_2=E_3$	$\nu_{12}=\nu_{13}$	ν_{23}	$G_{12}=G_{13}$	G_{23}
133860 MPa	7706 MPa	0,301	0,396	4306 MPa	2760 MPa

- Stratifié quasi-iso $[0/90/+45/-45]_s$
- 1mm par pli (8mm total)



Questions

- Déterminer le déplacement vertical au centre de la plaque pour les modélisations suivantes :
 - coque “homogène” (*homogenous shell*)
 - coque “généralisée” (*general shell stiffness*)
 - coque “composite” (*composite shell*)
- Quelles modèles vous semblent appropriés pour cet exemple ? Pourquoi ?

Pour *general shell stiffness*, il faut au préalable calculer la matrice $[ABBD]$ du stratifié à partir des propriétés du pli élémentaire et de la stratification

Pour la *homogeneous shell*, il faut d’abord définir le matériau orthotrope équivalent en membrane ou en flexion à partir de la matrice $[ABBD]$

Vous pouvez vous aider du script python **helper.py** fourni sur le site du cours

Des indications pour la construction des modèles sont données dans les slides suivantes. Si vous êtes complètement bloqués, se référer aux tutoriels disponibles sur le site du cours.

Création des modèles

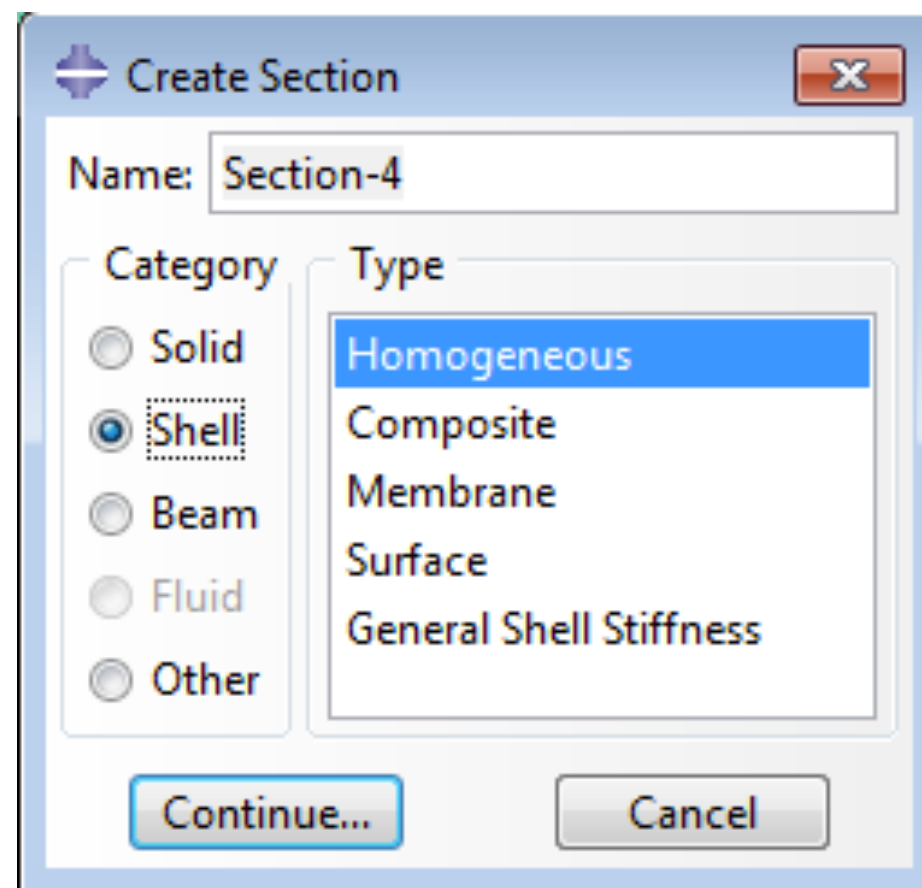
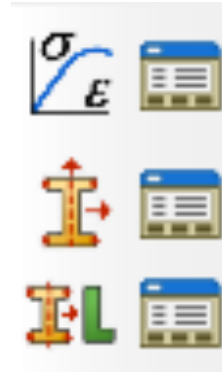
Module “Property”

Définition du ou des matériaux

Définition d’une section (*shell*)

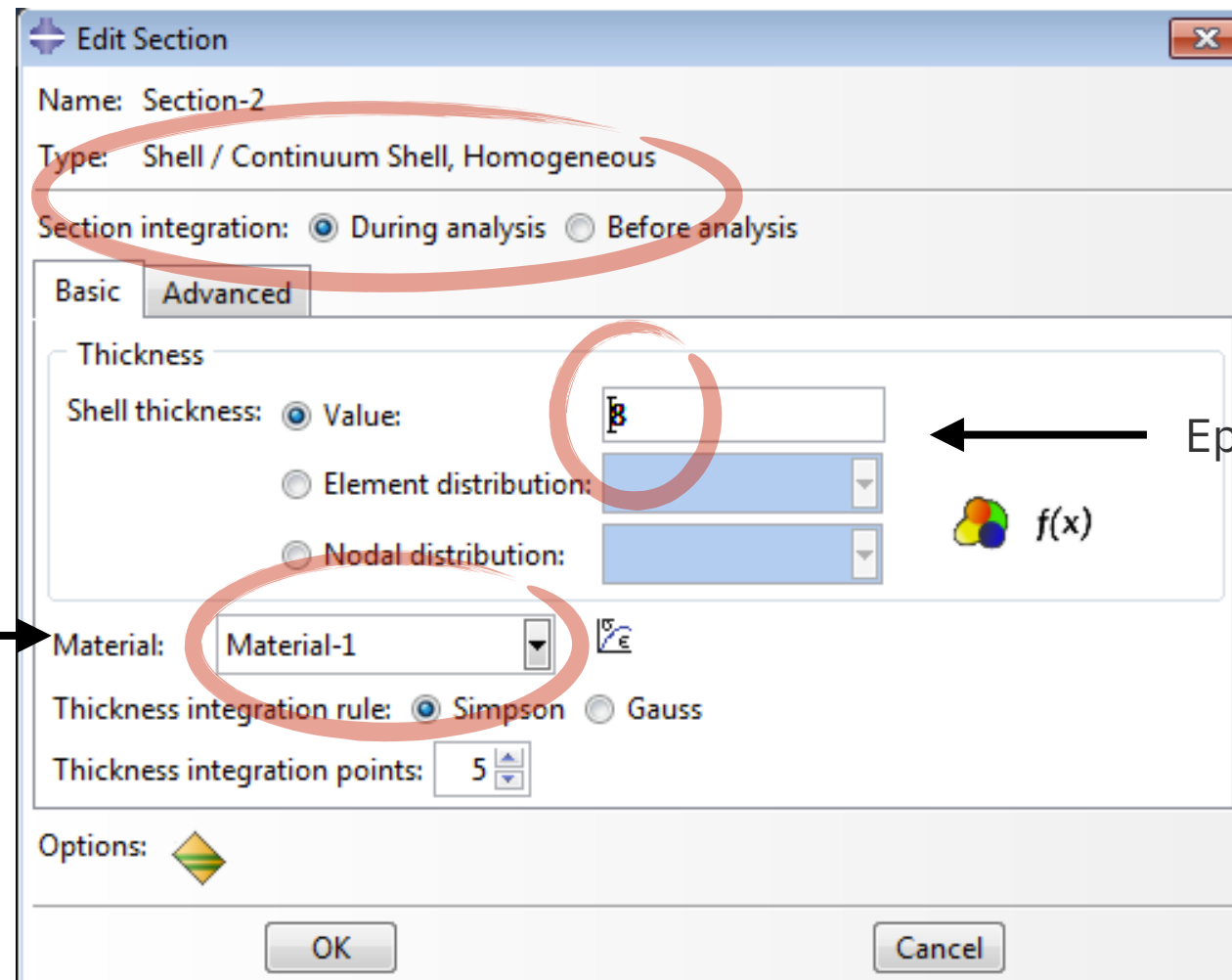
Attribution d’une section à la géométrie

Module: Property



Homogeneous shell

Matériau homogène équivalent
en membrane ou en flexion.



Epaisseur de la coque

Comme les calculs sont en contraintes planes, vous pouvez utiliser le type **Lamina** pour définir les propriétés élastiques des matériaux équivalents.

Abaqus demande néanmoins de renseigner des valeurs de G_{13} et G_{23} (nécessaire pour les plaques épaisses ou *continuum shell*). Leurs valeurs n'influent pas sur les résultats ici (plaque mince), mais attention à ne pas mettre de valeur nulle. Par défaut, entrer la même valeur que G_{12} .

General shell stiffness

Pour les coques “générales”, on renseigne directement la matrice de rigidité généralisée. Cette matrice correspond à la matrice $ABBD$ issue de la théorie des stratifiés

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de définir explicitement un matériau, ni de renseigner une épaisseur. Les propriétés et l'épaisseur sont implicitement contenues dans la matrice $ABBD$.

Edit General Stiffness Section

Name: Section-1

Type: General Shell Stiffness

Stiffness Dependencies Advanced

Stiffness Matrix

	1	2	3	4	5	6
1						
2		A			B	
3						
4		B				
5					D	
6						

OK Cancel

Composite shell

Pour les coques “composites”, il faut définir les propriétés des plis et l’empilement du stratifié.

Edit Section

Name: Section-3

Type: Shell / Continuum Shell, Composite

Section integration: ☒ During analysis ☐ Before analysis

Layup name:

Basic Advanced

Thickness integration rule: ☒ Simpson ☐ Gauss

☒ Symmetric layers

Material	Thickness	Orientation Angle	Integration Points	Ply Name
Lamina	1	0	3	pli0
Lamina	1	90	3	pli90
Lamina	1	45	3	pli45
Lamina	1	-45	3	pli45m

Options:

OK Cancel

Matériau du pli élémentaire

0°

90°

+45°

-45°

-45°

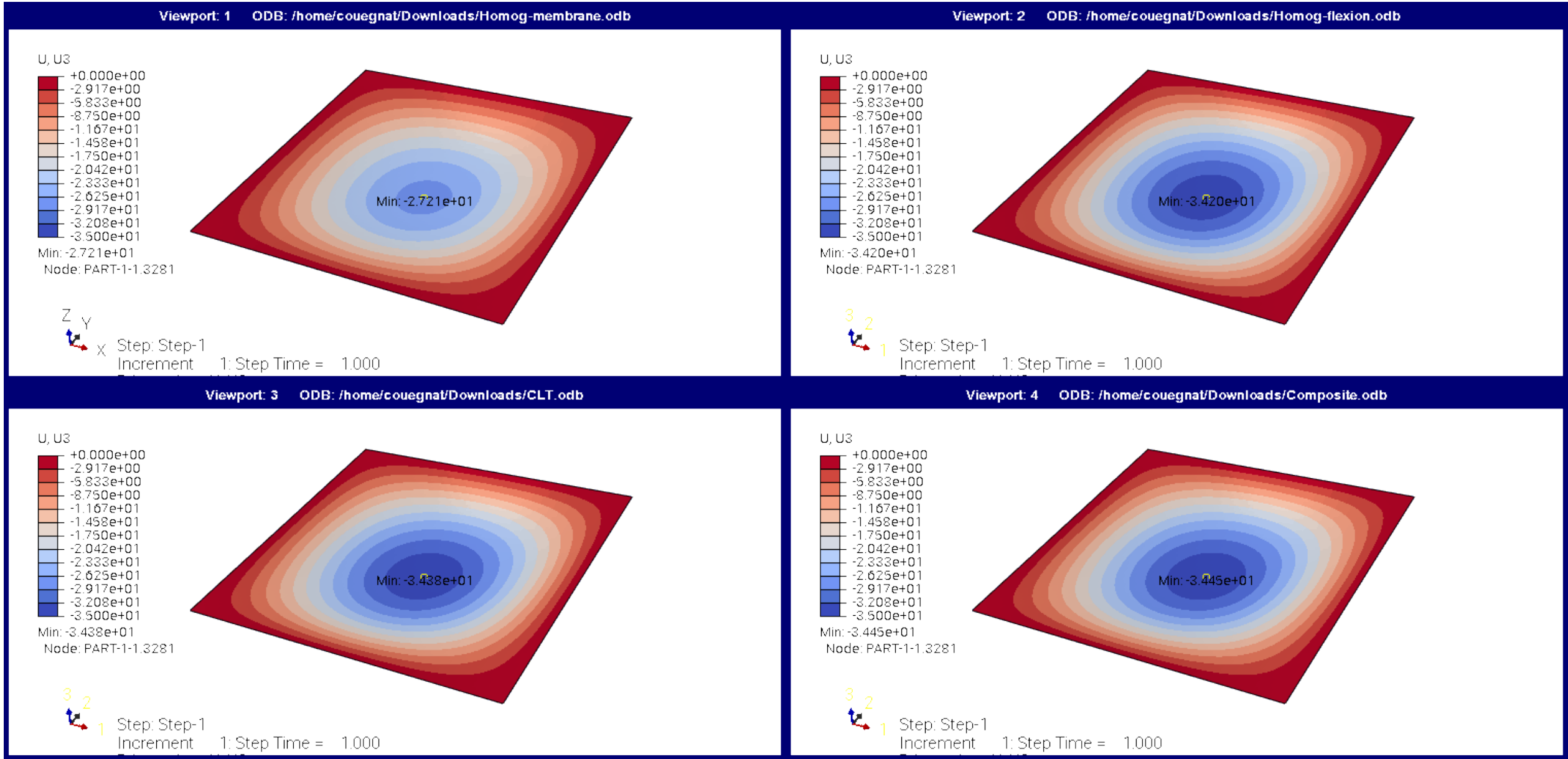
+45°

90°

0°

Permet de rendre l’empilement symétrique. Dans ce cas, on ne rentre que la partie supérieure de l’empilement.

Résultats attendus



<i>Homogeneous shell (membrane)</i>	<i>Homogeneous shell (flexion)</i>	<i>General shell</i>	<i>Composite shell</i>
27,21 mm	34,20 mm	34,38 mm	34,45 mm

Ce qu'il faut retenir

- Les modélisations *composite shell* et *general shell stiffness* sont identiques si la matrice $ABBD$ correspond bien à celle du stratifié considéré.
- Intérêts de la modélisation *composite shell* : facilité de mise en données, et accès aux contraintes dans les plis (cf. TP2)
- Empilement symétrique et équilibré : $B=0$, pas de couplage membrane/flexion
- On peut donc définir un matériau équivalent pour la partie membrane, et un matériau pour la partie flexion
- La plaque étant sollicitée en flexion (presque pure), la coque homogène avec le matériau en flexion donne une bonne approximation de la réponse

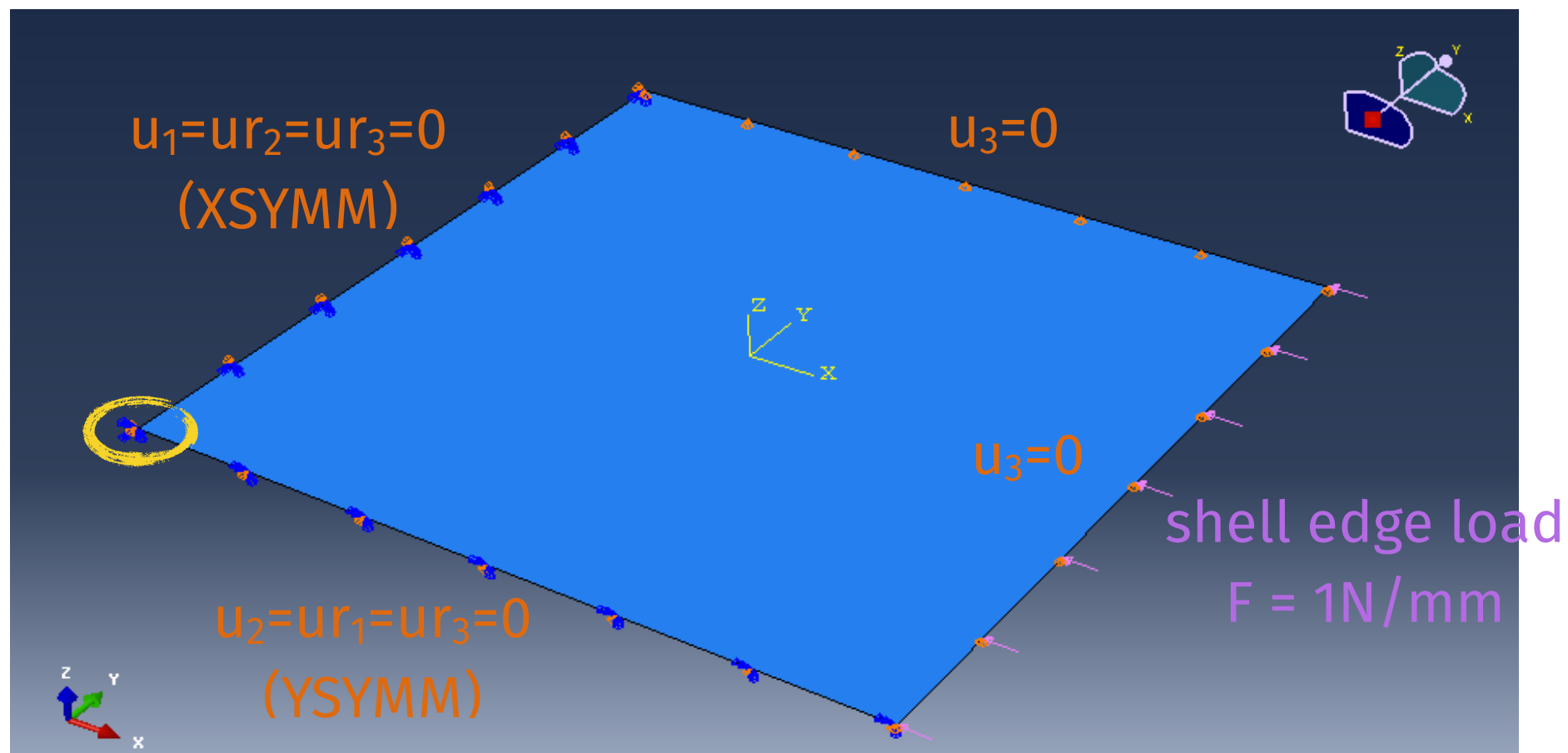
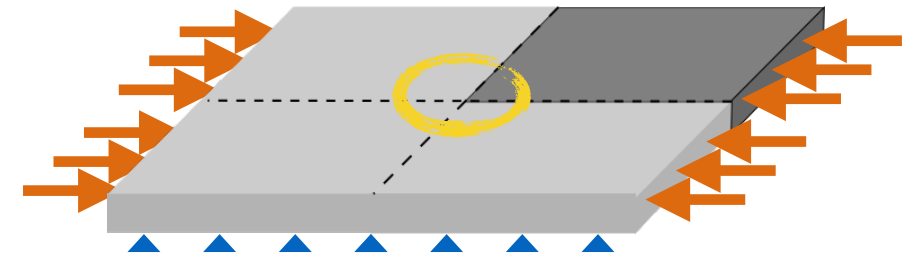
Exercice 2

Couplage membrane-flexion

L'objectif est de comparer l'effet du couplage membrane-flexion, pour plusieurs stratifications, et sa prise en compte (ou non) par les différentes modélisations coques.

Géométrie et conditions limites

- Dimensions plaque : 2000 x 2000 mm
- Symétrie : on ne modélise que $\frac{1}{4}$ de la plaque
- Conditions de symétrie en X et Y (en $xmin$ et $ymin$)
- Déplacement vertical bloqué sur les deux autres arêtes ($xmax$, $ymax$)
- Force linéique de compression, 1N/mm, en $xmax$.

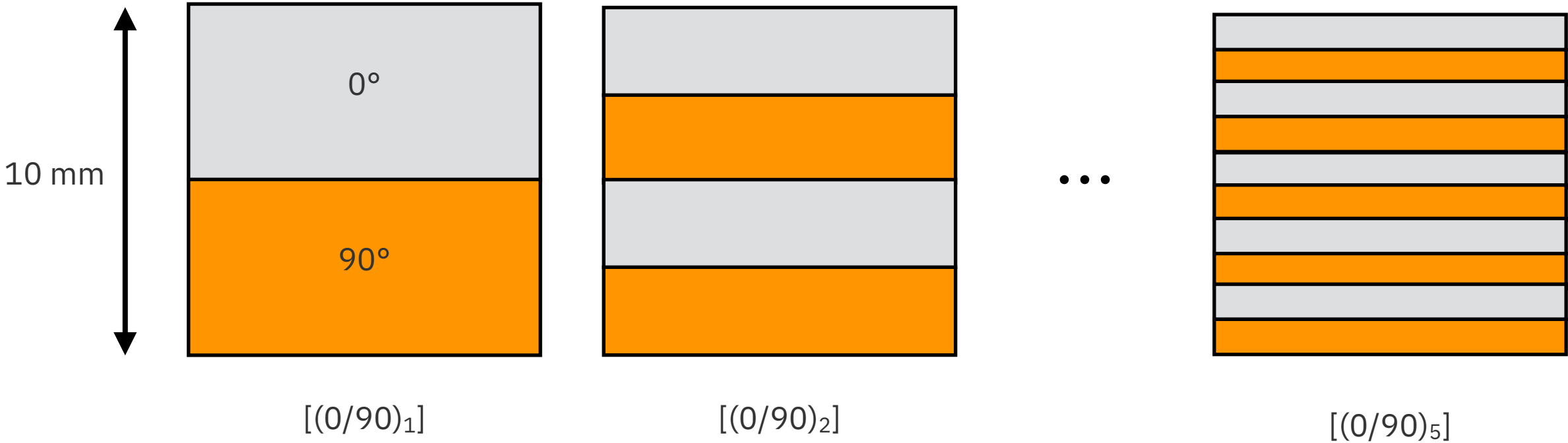


Propriétés matériaux

- Matériau pli AS4D/9310 (identique exercice 1)

E_1	$E_2=E_3$	$\nu_{12}=\nu_{13}$	ν_{23}	$G_{12}=G_{13}$	G_{23}
133860 MPa	7706 MPa	0,301	0,396	4306 MPa	2760 MPa

- Empilement $[(0/90)_n]$; épaisseur totale 10 mm



⚠ La stratification n'est pas symétrique.

Questions

- Déterminer le déplacement vertical au centre de la plaque (c'est-à-dire au point (x_{min}, y_{min}) du modèle) :
 - pour les trois modélisations coques *homogeneous*, *general stiffness* et *composite*
 - en faisant varier l'empilement $[(0/90)_n]$ avec $n=1, 2, 5, 10$.

En pratique, il n'est pas nécessaire de réaliser tous les calculs... Servez-vous des indications suivantes pour ne faire que les simulations nécessaires.

- Notez que l'empilement est équilibré, mais pas symétrique. On s'attend donc à avoir du couplage membrane/flexion.
- Calculer la matrice $ABBD$ pour les différentes valeurs de n . Comment évoluent les rigidités en membrane A et en flexion D en fonction de l'empilement ? Idem avec l'intensité du couplage B ? Quelles conséquences cela va avoir sur la réponse de la plaque ?
- Observer les propriétés des matériaux orthotropes équivalents en membrane et en flexion ? Que remarquez-vous ?
- En se rappelant qu'il n'y a pas de couplage membrane/flexion pour une coque homogène, à quel déplacement hors-plan peut-on s'attendre pour cette modélisation ?

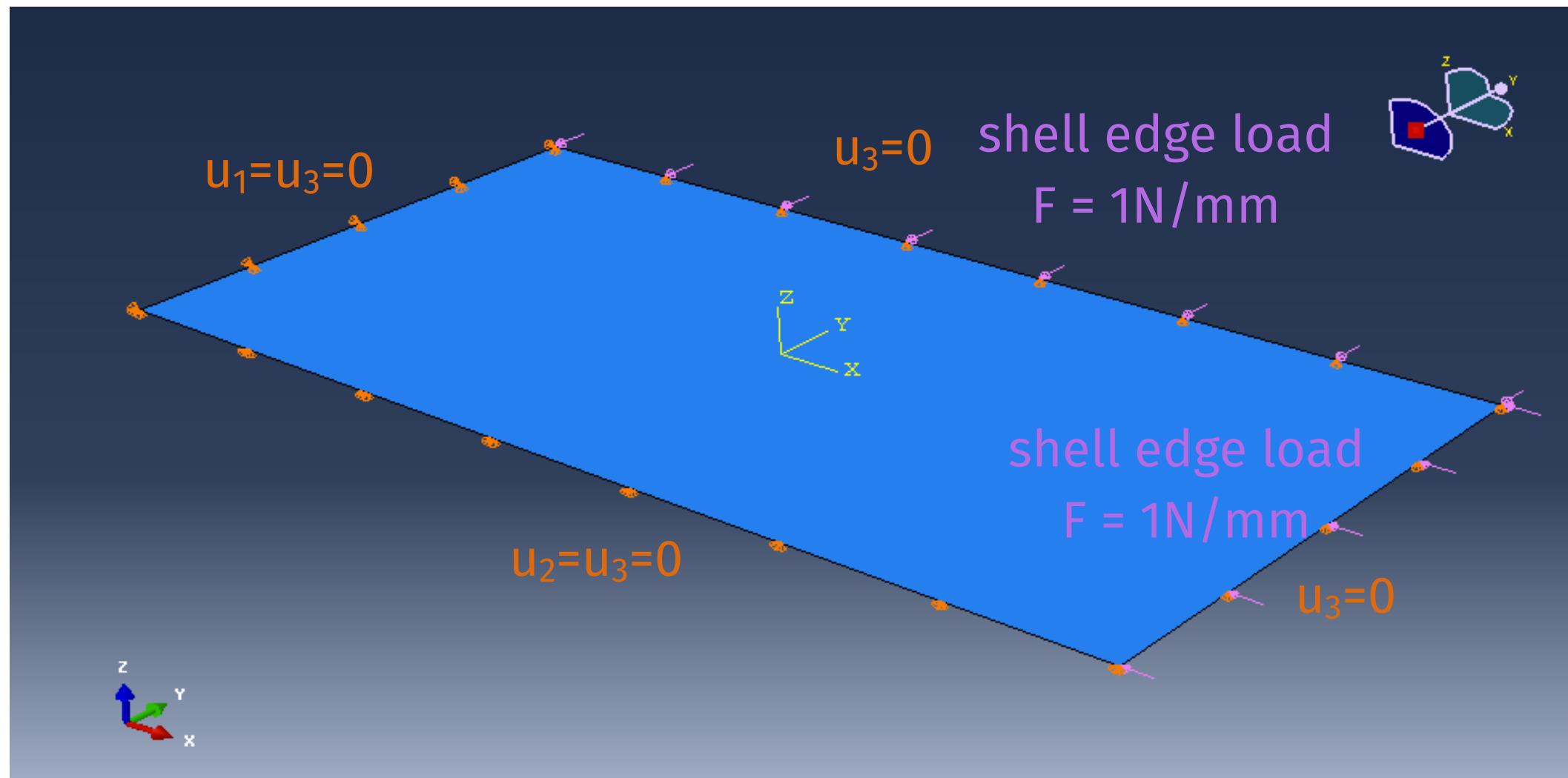
Exercice 3

Bonus : charges critiques de flambement

L'objectif est de déterminer les charges critiques de flambement d'un composite stratifié symétrique et équilibré.

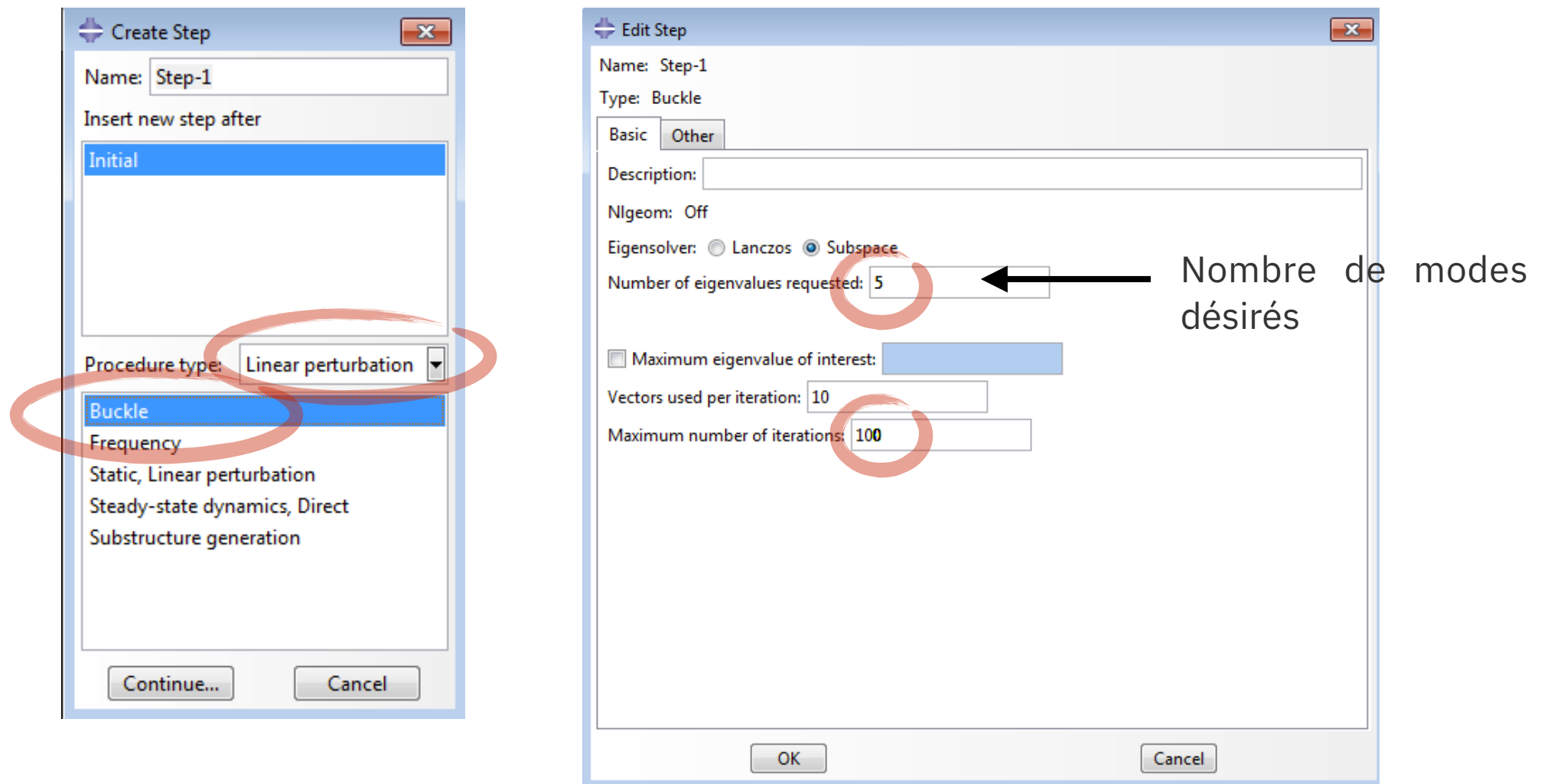
Données d'entrée

- Dimension : 1000 x 500 mm
- Matériau AS4D/9310 (idem précédent)
- Empilement $[(0/90)_3]_s$; épaisseur totale du stratifié : 10.2mm



Question

Déterminer les 5 premières charges critiques de flambement en utilisant la ou les modélisations coques qui vous semblent adaptées à ce cas.



Pour un calcul de flambement, la mise en donnée est identique que pour un calcul statique. Au lieu d'un step *General, Static*, il faut créer un step *Linear Perturbation/Buckle*.

On peut raisonnablement approcher les charges critiques en multipliant la charge imposée (ici $F=1$ N/mm) par le facteur de charge des modes (*eigenvalues*).