

Laboratoire commun ANR- PME

INSA Lyon – LaMCoS UMRS CNRS 5259 et DrillScan

Intégrité des trains de tiges de forage

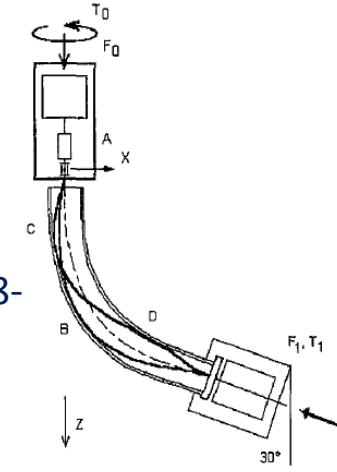
Lionel Manin, Régis Dufour

AFM- Commission Machines Tournantes

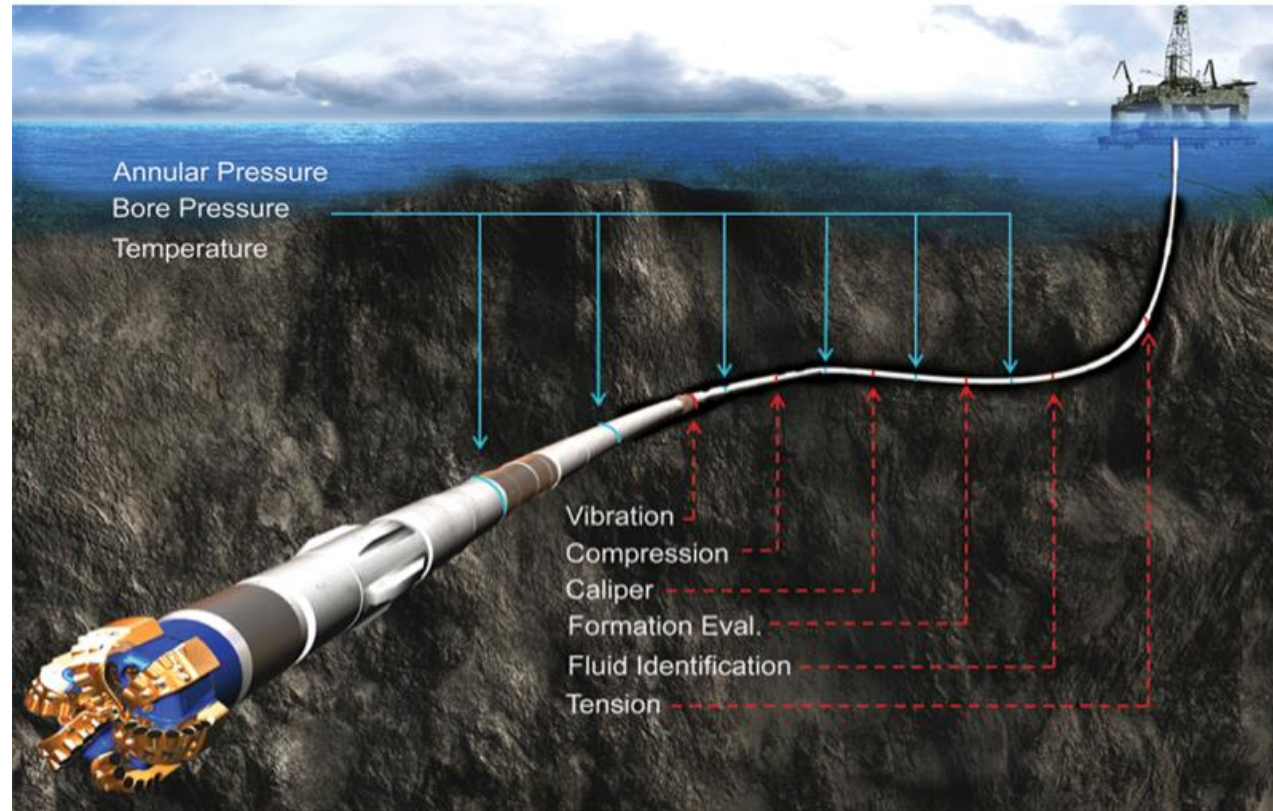
Vibratec, 5 juin 2018

Contexte et genèse

- **Sujet:** Simulation du comportement dynamique non linéaire de train de tiges de forage pour l'extraction pétrolière ou géothermique
- **Partenaires:**
 - **LaMCoS**
 - ✓ Dynamique des rotors (Activité historique depuis 1978),
 - ✓ Dynamique du forage (Dynafor 1989-1996, Elf-Total).
 - ✓ Dynamique NL des systèmes câble-gaine (Commande de BV, Renault 2008-2012).
 - ✓ Touches rotor-stator:
(CIFRE EDF Peletan-2012, CIFRE Turbomeca Duran-2014, CEA Xie-2016))
 - **DrillScan**
 - ✓ PME, éditeur indépendant de suite logiciels de simulation du forage.
 - ✓ Forte culture R&D pilotée par des docteurs
 - ✓ Compréhension complète des interactions entre les éléments du triptyque
« Roche – Outil de forage – Garniture de forage »

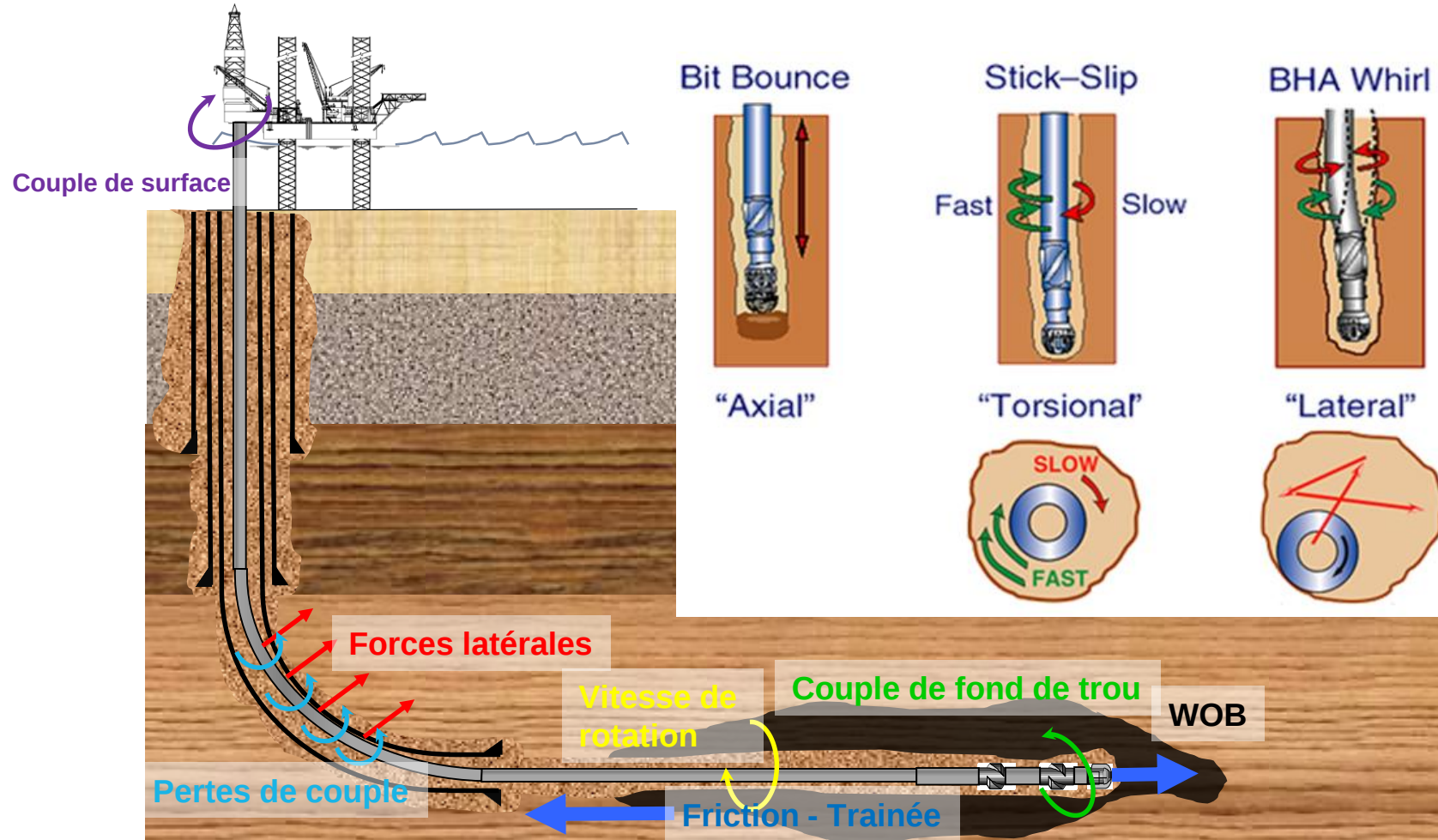


Le forage...



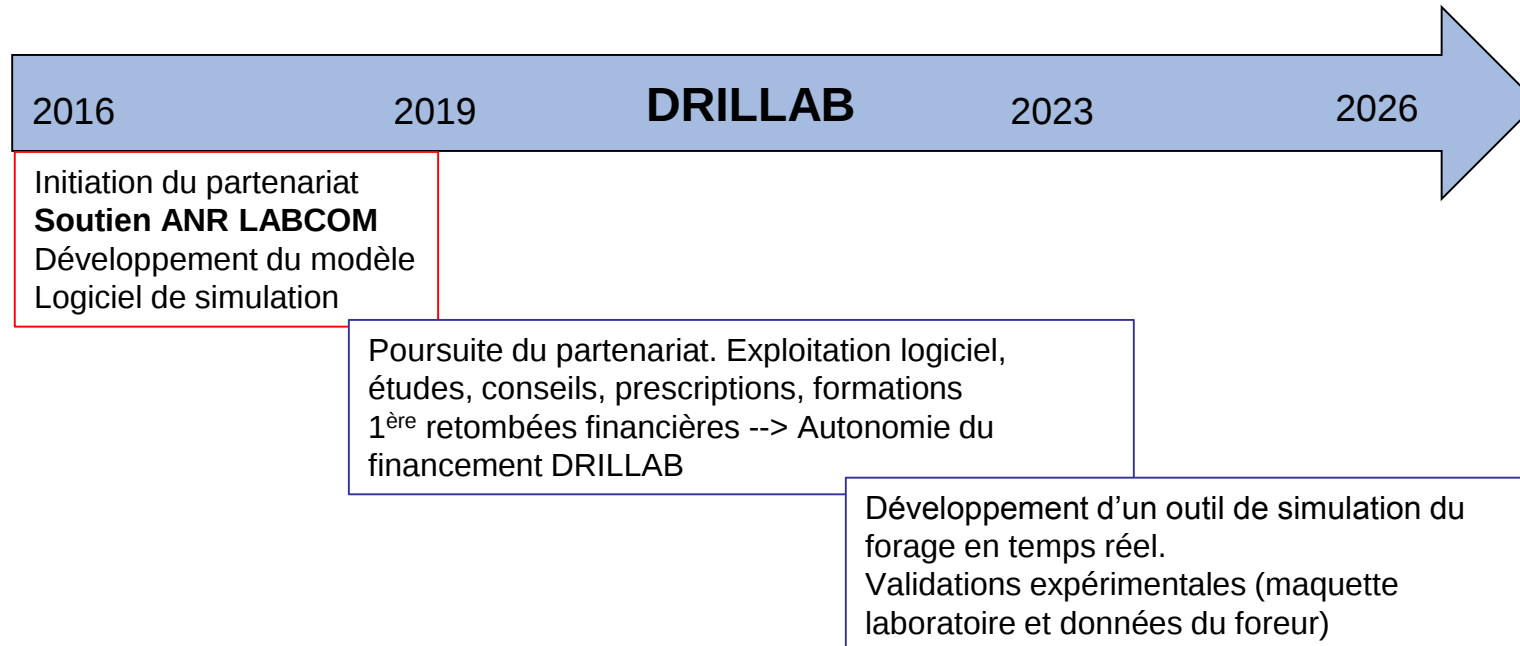
Contexte

Interactions Roche – Outil – Boue - Garniture



Objectifs

- **Enjeux** liés à l'intégrité des puits → améliorer la fiabilité, le MTBF
- Compréhension des phénomènes vibratoires
- Développement de modèles non linéaires pour simuler le comportement dynamique de train de tiges de forage en 'temps réel'
- Maîtrise du comportement par des paramètres de contrôles : tension, vitesse de rotation



Feuille de route

■ Développements scientifiques (1 Thèse et 1 post-doc)



Modèle de calcul avec prise en compte:

- la géométrie 3D du puits, la gravité, la poussée d'Archimède de la boue...
- les frottements et impacts des tiges contre la garniture du puits et contre la roche, les précontraintes variables dues aux tensions et aux compressions,
- les balourds, les couples (TOB) et forces axiaux (WOB) de l'outil, le couple moteur.

Modélisation par la méthode des éléments finis:

- position d'équilibre statique du train de tiges dans le puits avec interactions tige/puits. Formulation co-rotationnelle
- analyse modale linéaire pour plusieurs vitesses de rotation: diagramme de Campbell, stabilité des modes en précessions directe et inverse
- cartes d'instabilité du train de tige soumis aux seules excitations axiales de l'outil
- régime transitoire avec des interactions non linéaires tige-puits évolutives
- régime stationnaire

Moyens

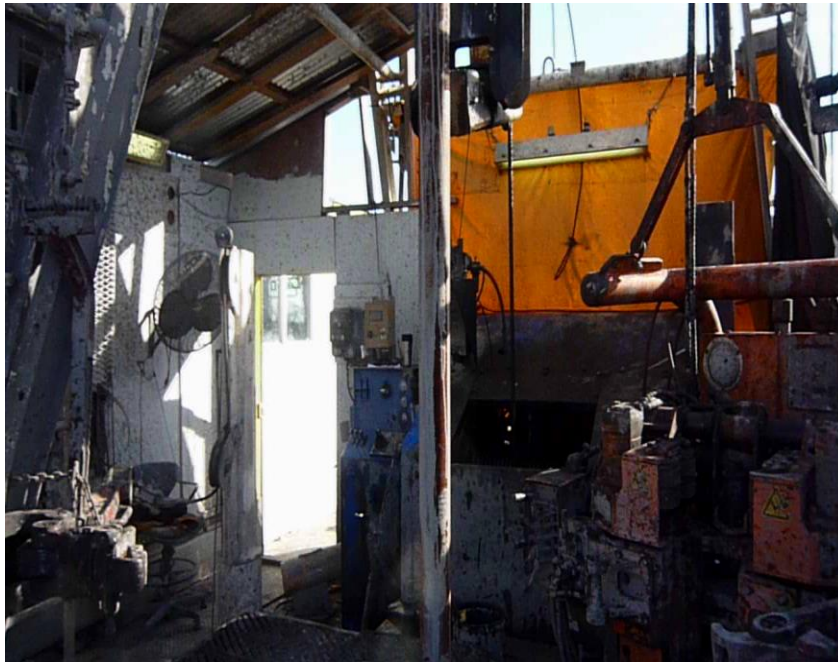
■ Moyens humains

Dr. Lionel Manin, MCF, Responsable de DrillLab	LaMCoS
Dr. Stéphane Menand, Pt DrillScan	DrillScan
Quang Thinh Tran, Doctorant	DrillLab
Dr. Khac Long Nguyen, Post-doctorant (2 ans)	DrillLab
Dr. Marie Ange Andrianoely, IR CNRS	LaMCoS
Pr. Régis Dufour	LaMCoS
Dr. Sébastien Baguet , MCF	LaMCoS
Dr Ngoc-Ha.Dao	DrillScan
Benjamin Nobbs, Ingénieur	DrillScan
Zahia Achoui, support administratif	LaMCoS

- Moyens de calcul → Clusters de calcul LaMCoS & DrillScan
- Gouvernance → Copil, Comité consultatif (experts), Bureau exécutif

Illustrations de phénomènes critiques...

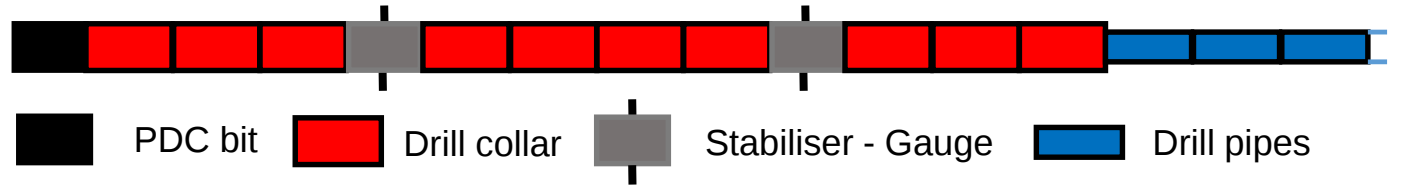
Stick-Slip



Vibrations latérales, précessions

Rolling Shock

Modèle éléments finis de tiges de forage



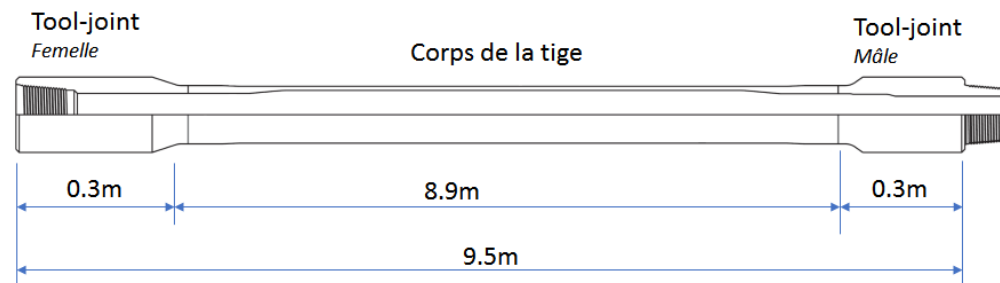
Type	Length (m)	OD (m)	ID (m)	Gauge (m)
PDC bit	0.5	-	-	0.2159
Drill collar	10	0.159	0.071	-
Stabiliser	5	0.159	0.071	0.2159
Drill pipes	9.5	0.127	0.108	-
Total	1800			

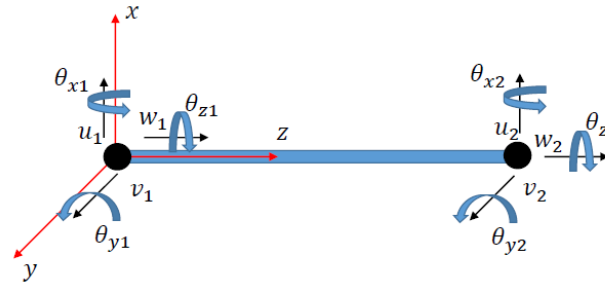
Material

ρ (kg/m ³)	E (Pa)	ν
7900	2.1×10^{11}	0.3

Tool joint

Length (m)	OD (m)	ID (m)
0.3	0.162	0.095





$$\mathbf{M}\ddot{\boldsymbol{\delta}} + \mathbf{C}(\Omega)\dot{\boldsymbol{\delta}} + \mathbf{K}(\Omega)\boldsymbol{\delta} = \mathbf{F}(t, \boldsymbol{\delta}, \dot{\boldsymbol{\delta}})$$

Drillstring
Interior fluid
Exterior fluid

Structural damping (Rayleigh)
Coriolis of drillstring
Fluid Axisa : inertia, friction of outer fluid
Fluid QTT : interior, exterior fluids

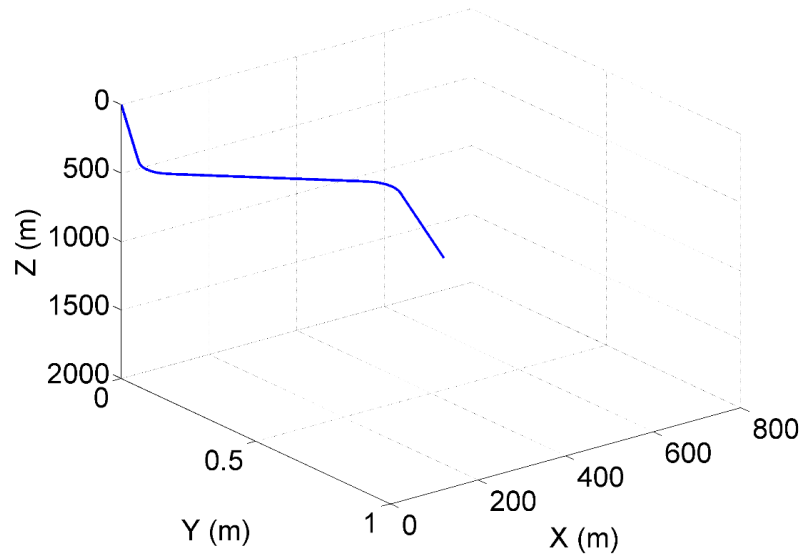
Drillstring stiffness
Pre-stresses due to the static position
Fluid Axisa: inertia, friction of outer fluid
Fluid QTT : velocity, hydrostatic
pression of fluids

Gravity
Static exterior forces
Harmonic, transient forces
Contact forces
Fluid Axisa : Archimède force
Fluid QTT : static forces due to the fluid
velocity, hydrostatic pression

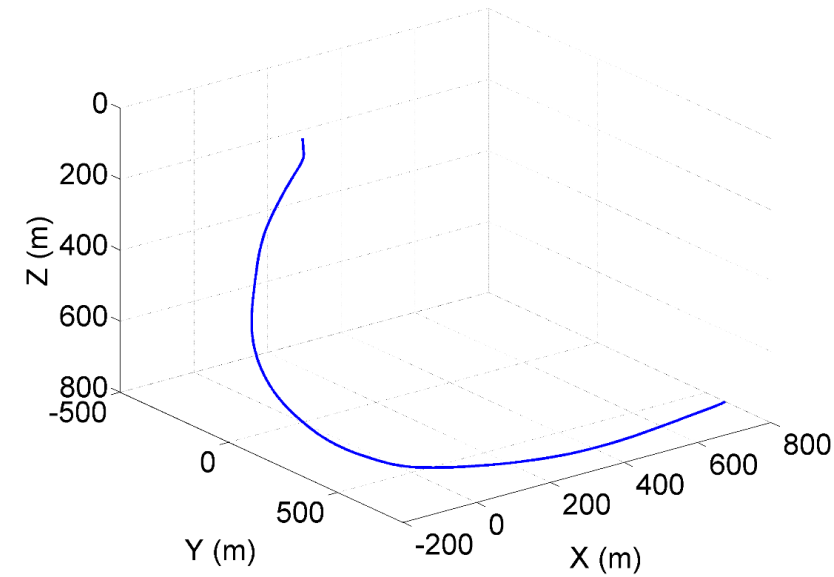
Initial condition : $\boldsymbol{\delta}(t_0) = \boldsymbol{\delta}_0, \dot{\boldsymbol{\delta}}(t_0) = \dot{\boldsymbol{\delta}}_0$ + Boundary condition + Rotating speed imposed at some nodes (optional)

Part A – Static equilibrium in the well

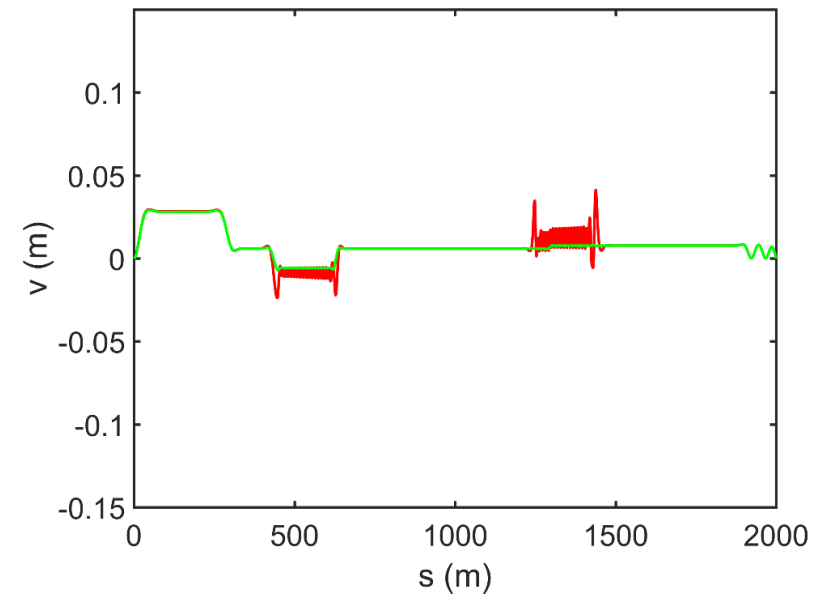
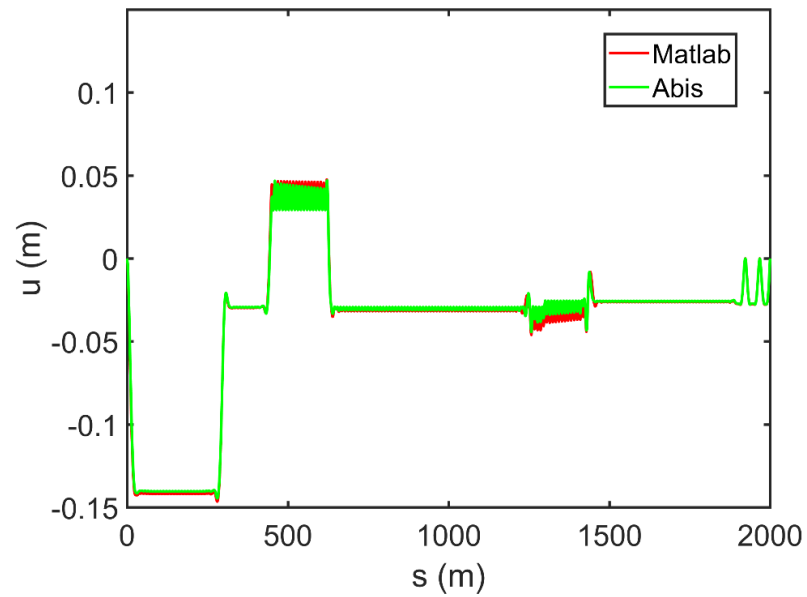
2D-S well geometry



3D well geometry

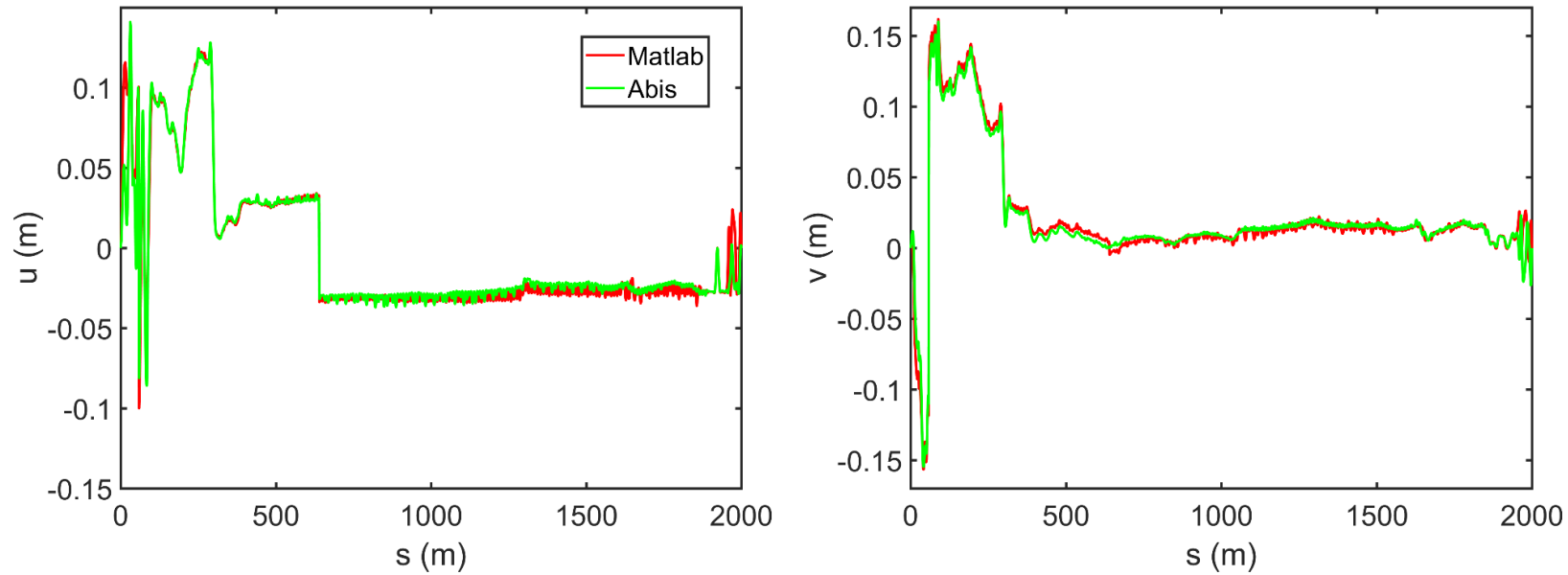


2D-S geometry

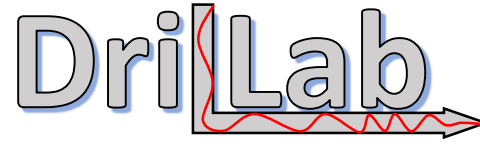


Lateral displacements u and v in local frame

3D geometry



Lateral displacements u and v in local frame

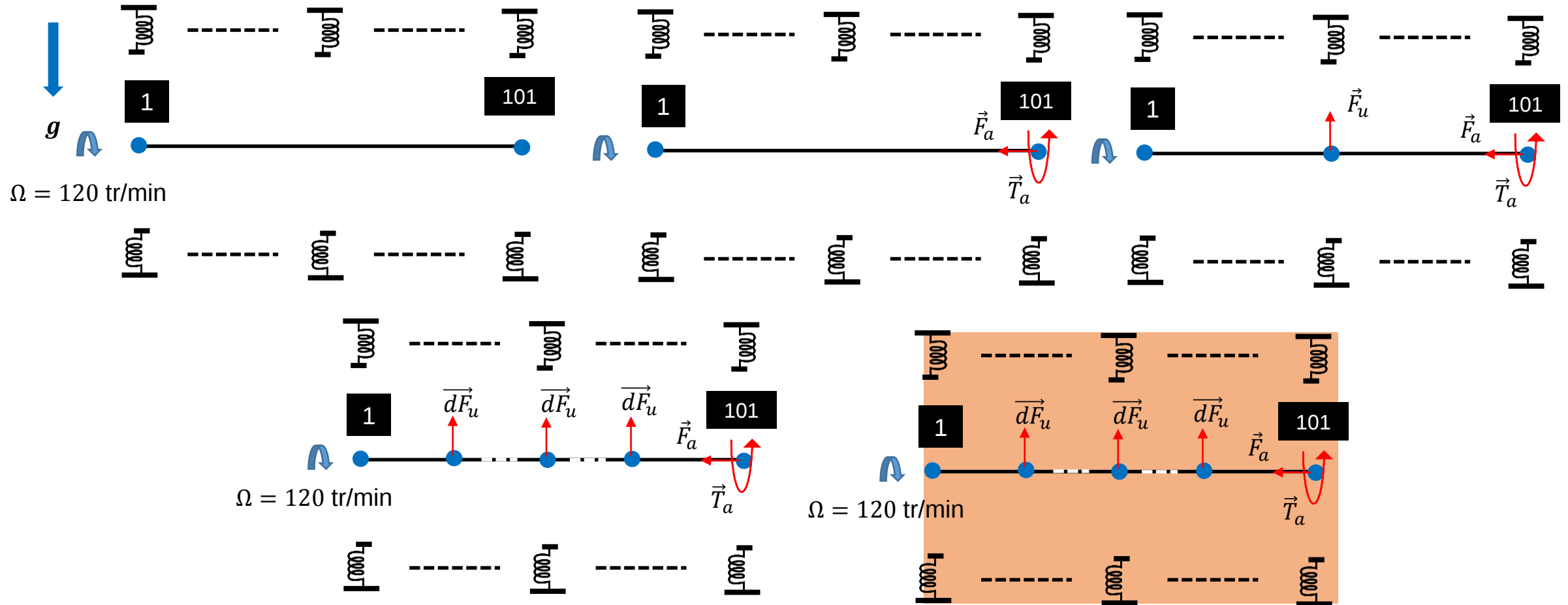


Partie B – Nonlinear dynamics

Craig & Bampton reduction

Test cases

Horizontal string



- 1 3 displacements blocked
- 101 Lateral displacements blocked

Fluid

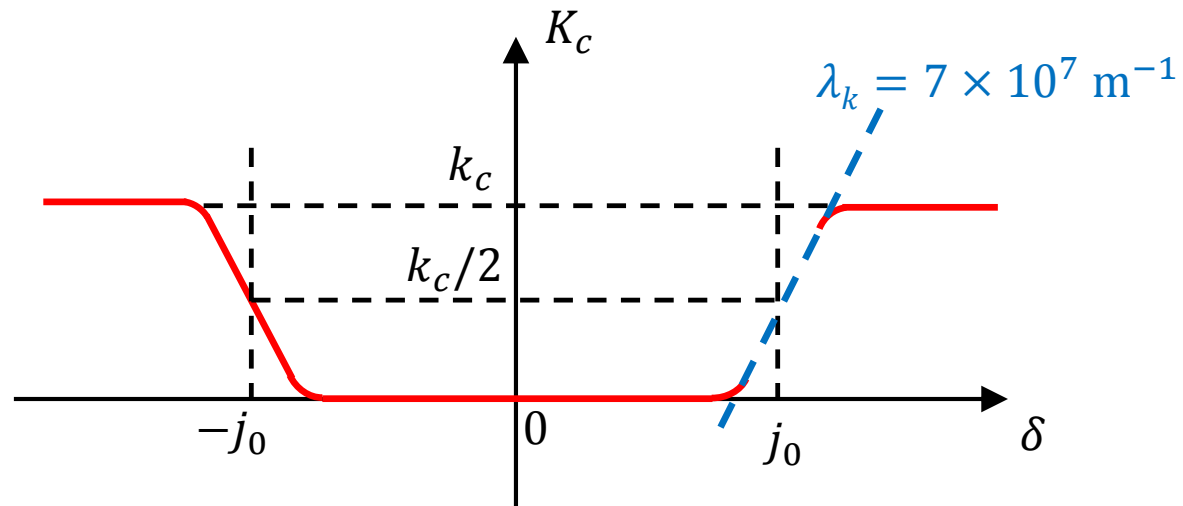
Beam

ρ (kg.m ⁻³)	E (Pa)	ν	L (m)	R_e (m)	R_i (m)	c_M (S ⁻¹)	c_K (s)
7900	$2.03 \cdot 10^{11}$	0.3	100	0.06	0.04	0.03	0

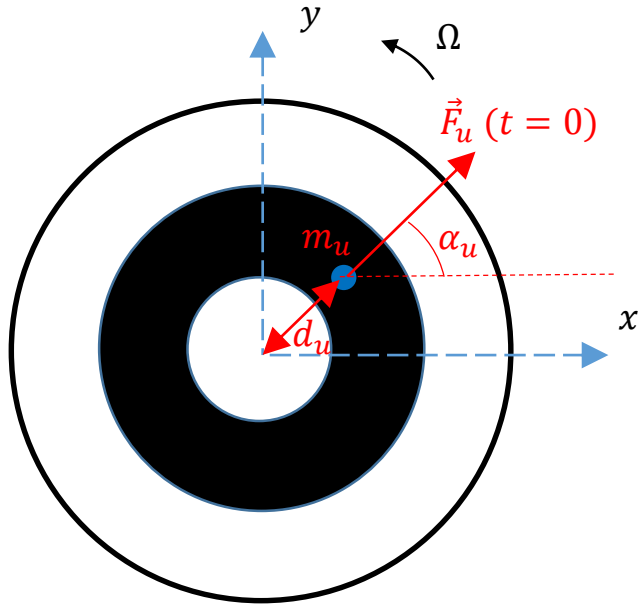
- Ω constant = 120 rpm

Elastic stop

k_c (N/m)	j_0 (m)	λ_k (m ⁻¹)	c_c (N/(m/s))	λ_c (m ⁻¹)	μ_d	μ_s	v_{ref}
10^7	0.01	$7 \cdot 10^7$	10^4	$7 \cdot 10^4$	0.1	0.2	0.033



$$K_c(\delta) = \frac{k_c}{2} \left[\frac{2}{\pi} \arctan(\pi \lambda (|\delta| - j_0)) + 1 \right]$$



Mass unbalance force

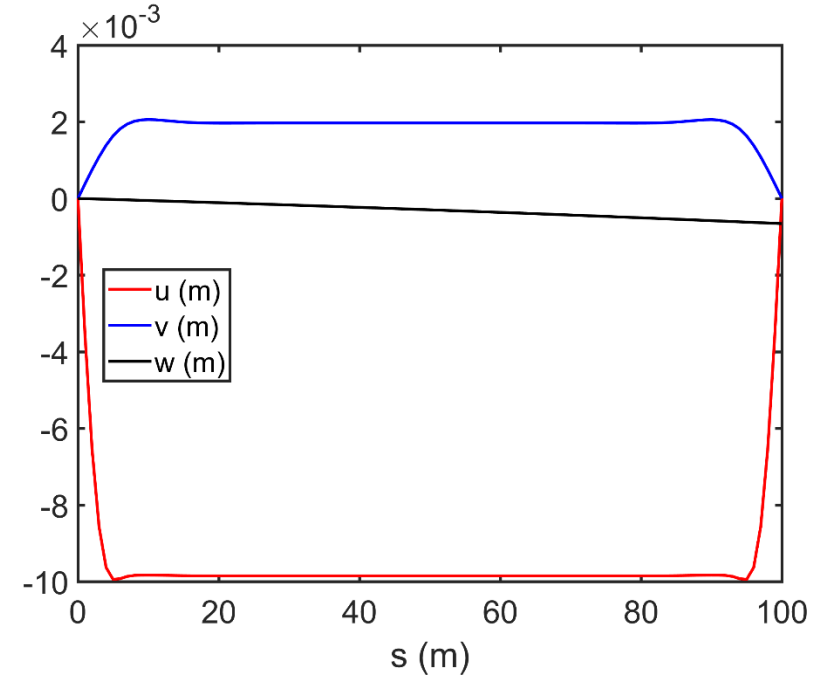
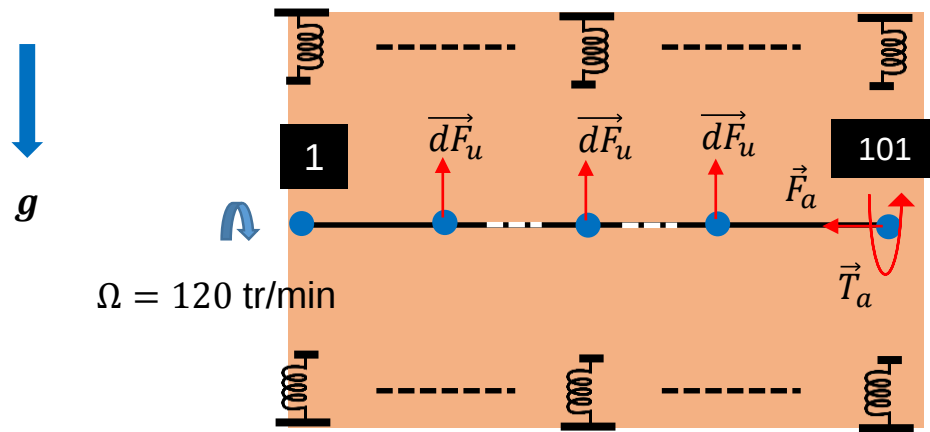
$$\vec{F}_u(t) = \begin{bmatrix} m_u d_u \Omega^2 \cos(\Omega t + \alpha_u) \\ m_u d_u \Omega^2 \sin(\Omega t + \alpha_u) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Mass unbalance localized at node 51

m_u (kg)	d_u (m)	α_u (°)
10	0.055	0

Mass unbalances distributed at 9 nodes 11,21,...,91

dm_u (kg)	d_u (m)	α_u (°)
1.11	0.055	0

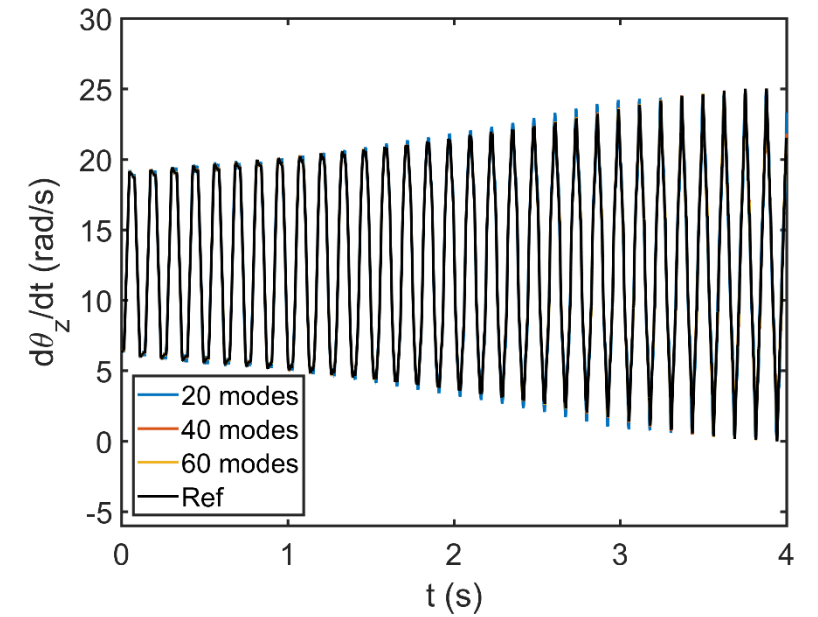
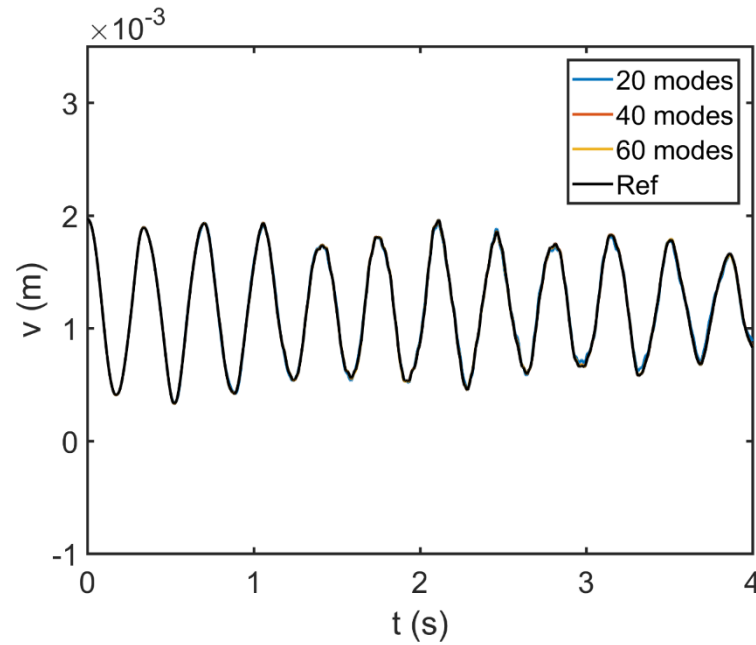
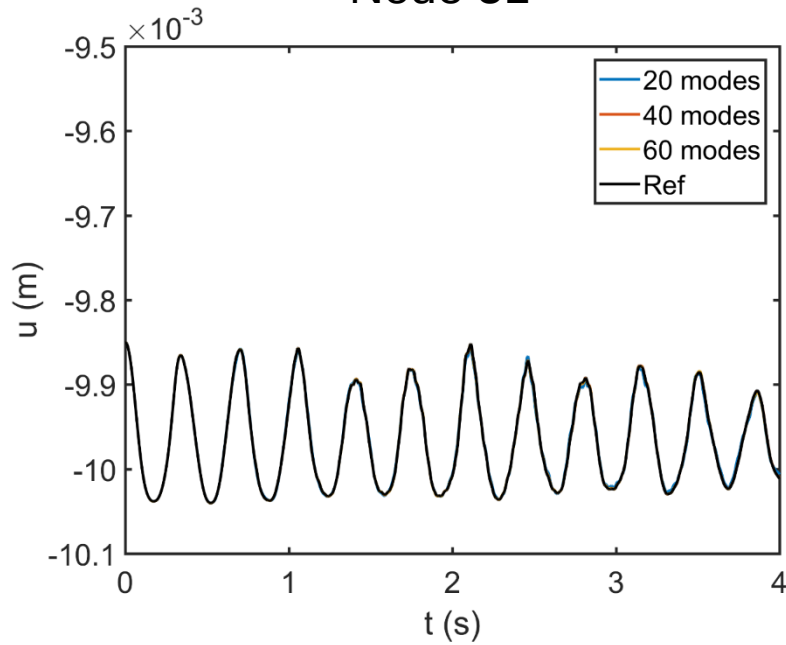


Static position: 91 contact nodes
 Axial displacements due to $\vec{F}_a$

1 3 displacements blocked

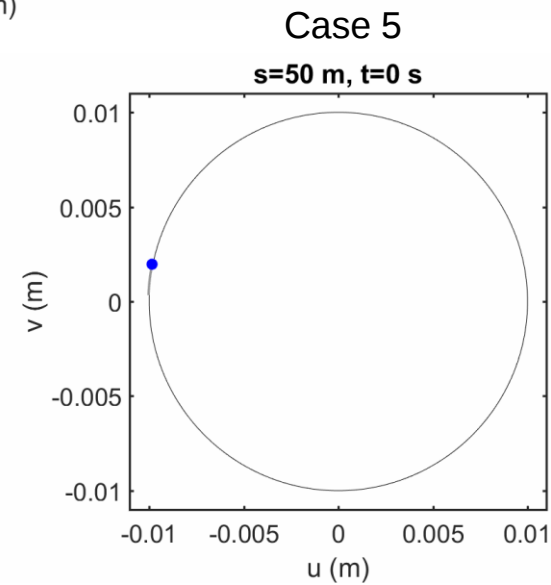
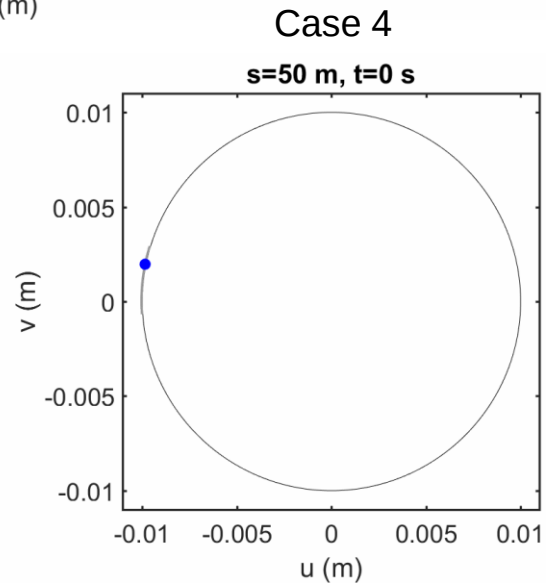
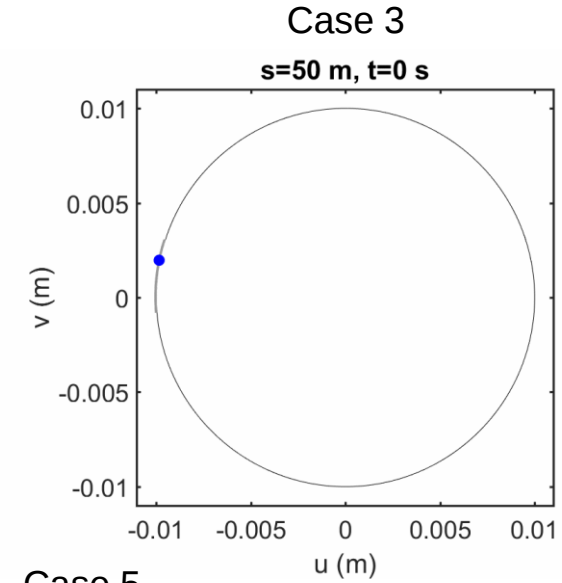
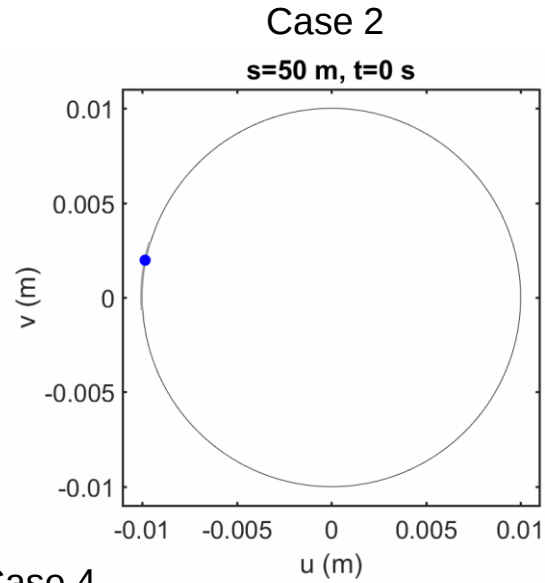
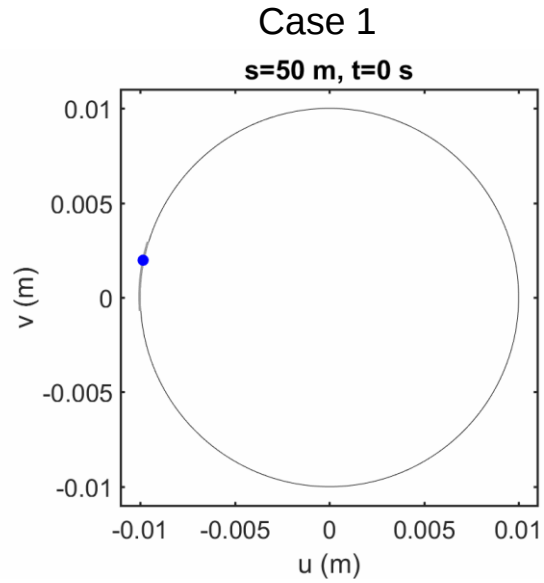
101 Lateral displacements blocked

Node 51



Ref.	20 modes	40 modes	60 modes
311.24 s	32.88 s	43.95 s	51.07 s

Node 51
60 modes



Node 51
60 modes

