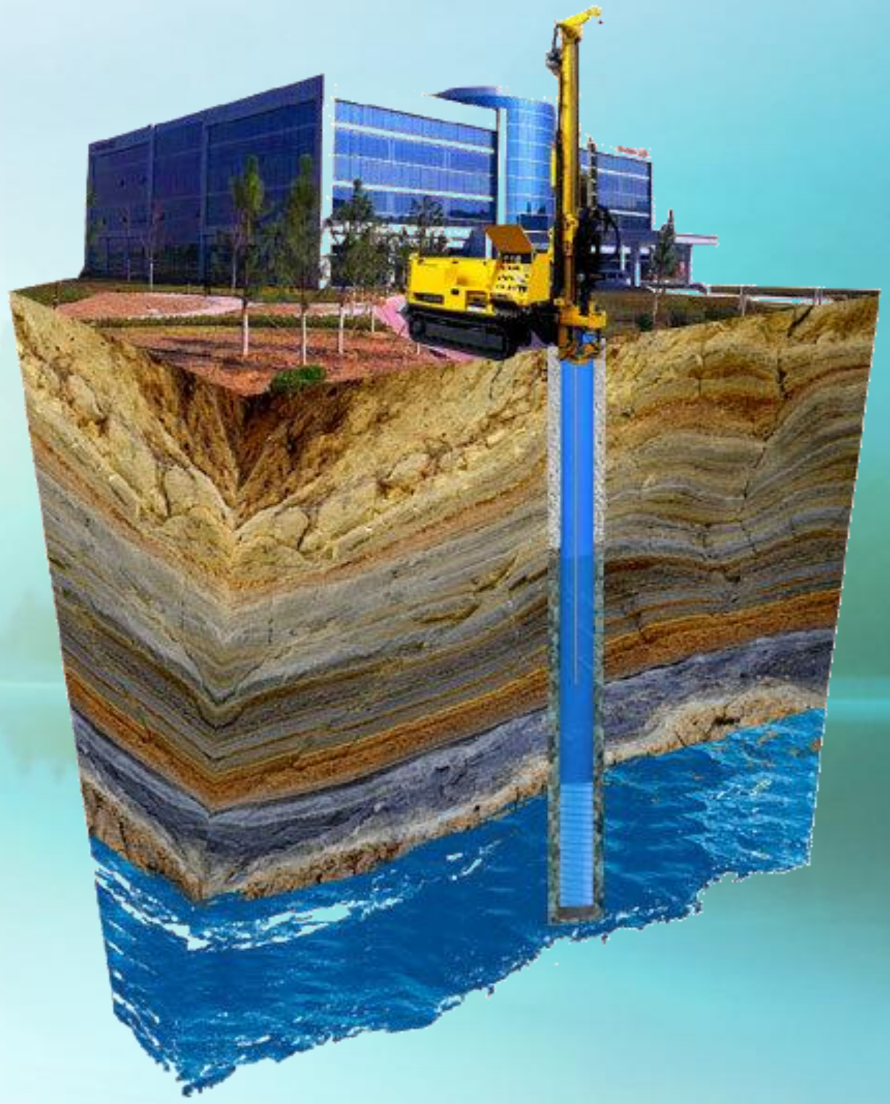
Étude des procédures et mécanismes employés en forage d’eau:

Objectif:

Modéliser la foreuse pour comprendre l’origine des vibrations néfastes.



TIPE 2017-2018 : *«Milieux : Interactions, Interfaces , Homogénéité, Ruptures»*

Plan:

I-Introduction générale à la technique de forage d'eau (composants , outils, étapes) .

II-Modélisation de la foreuse comme oscillateur harmonique forcée.

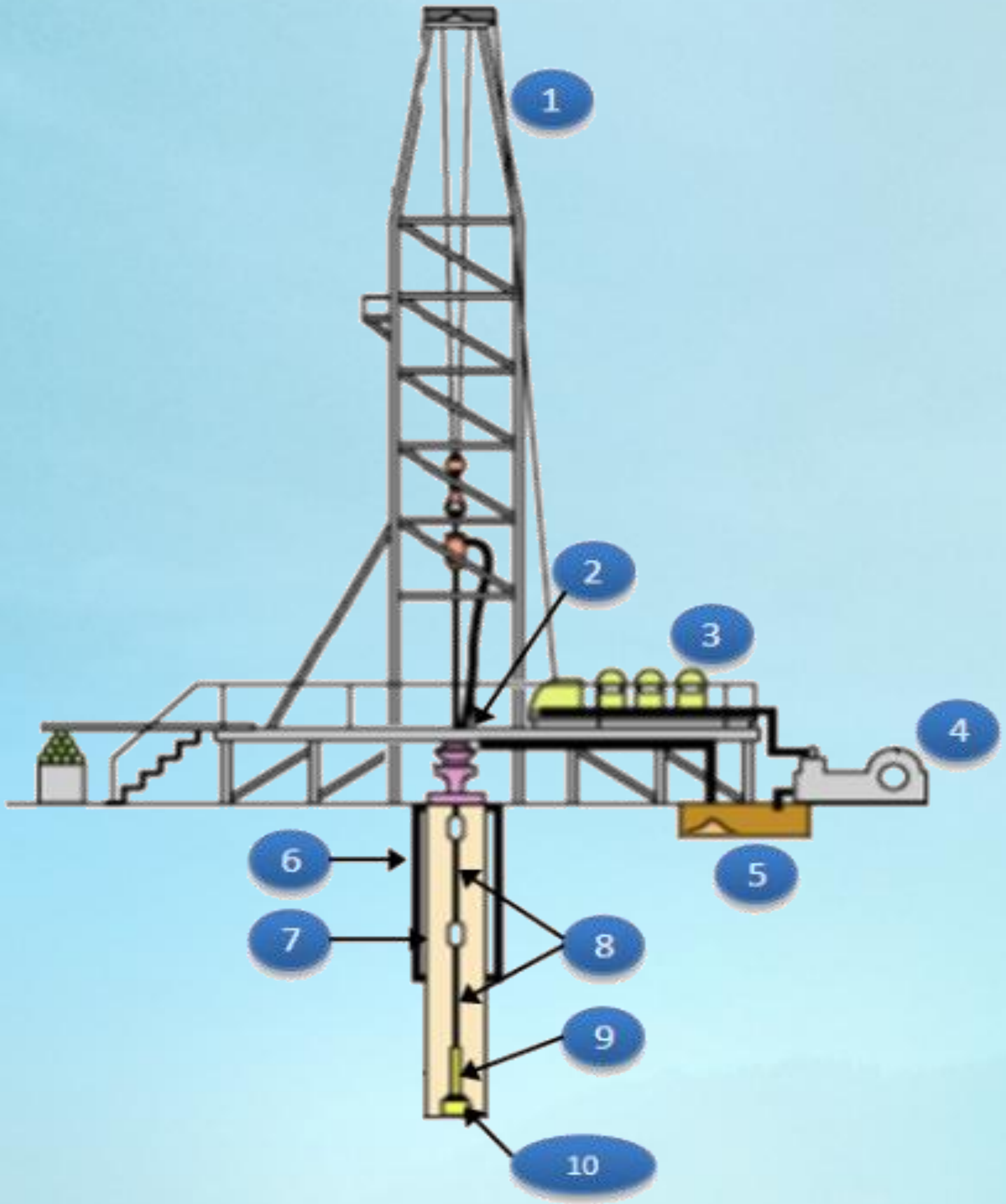
III-Etude dynamique de la foreuse suivant le modéle de la poutre élancée.

IV-Compte rendu des visites.

Contributions:

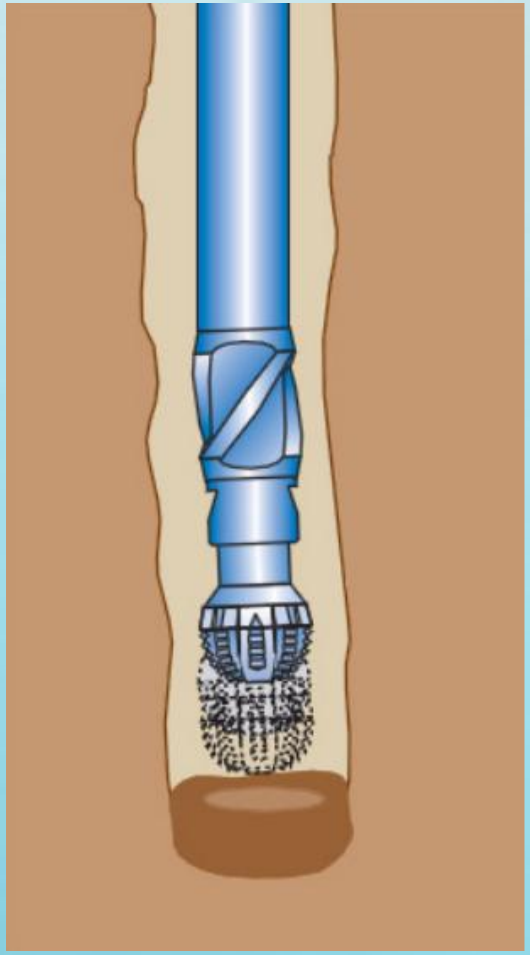
- Prise de contact avec des sociétés de forages en Tunisie et obtention d'accord de visite de la part de l'entreprise «Tunisie Sondages ».
- Visite de l'atelier de l'entreprise «Tunisie Sondages »
- Visite du chantier d'un forage de profondeur 500m à Kariouan
- Implémentation d'un code python de traçage d'une fonction dans le diagramme de Bode.
- Implémentation d'un code python pour la visualisation des modes propres.

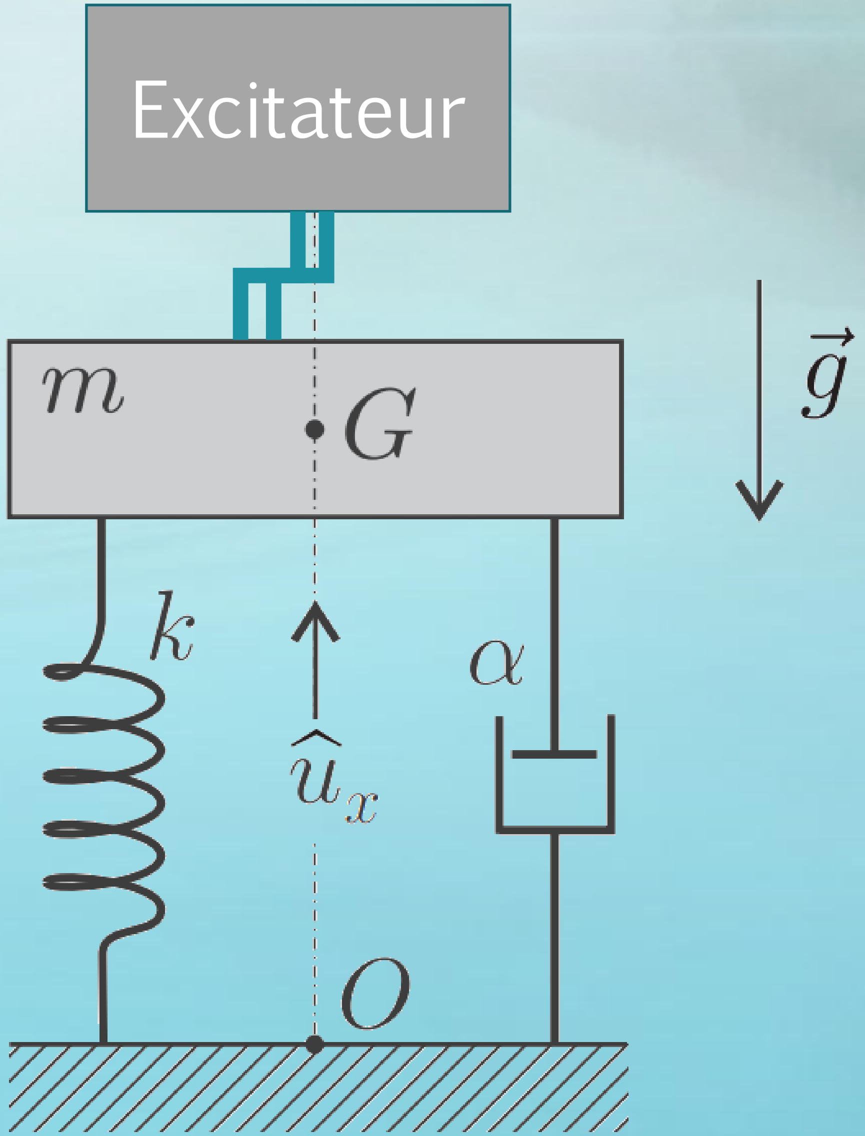
I. Structure du système {Forage + Foreuse}



1 Derrick
2 Table de rotation
3 Moteur
4 Pompe de boue
5 Réservoir de boue
6 Tubage
7 Ciment
8 Tiges
9 Masse-tiges
10 Outil

II. Modèle de l'oscillateur harmonique:





Par application du principe fondamental de la dynamique et après simplifications :

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F}{m}cos(\omega t + \varphi)$$

On cherche une solution de la forme:

$$x(t) = Xcos(\omega t + \varphi)$$

Soit : $$\underline{x}(t) = \underline{X}exp(\jmath\omega t)$$

En notant $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ la fréquence propre de résonnance du système,
on peut ainsi définir la fonction de transfert :

$$\underline{H}(\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{Q\omega_0} - (\frac{\omega}{\omega_0})^2}$$

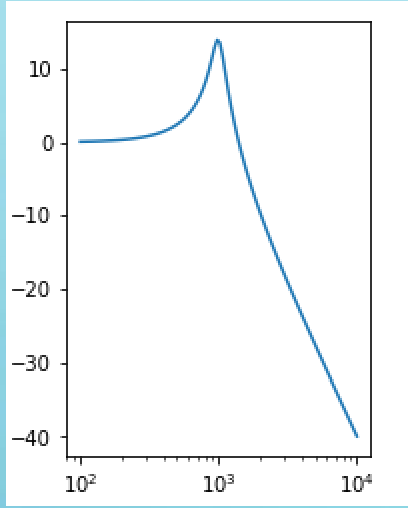
Avec : $Q = \dfrac{\sqrt{mk}}{\alpha}$

dont le module donne l'amplification en fréquence de la sortie par rapport à l'entrée :

$$|\underline{H}(w)| = \frac{1}{\sqrt{(1-(\frac{w}{w_0})^2)^2 + (\frac{w}{Qw_0})^2}}$$

On peut tracer $G(\omega) = 20\log_{10}|\underline{H}(\omega)|$ en fonction des fréquences avec un code python ;
Cette fonction nous renseigne sur le gain en db du système et met en évidence notamment le phénomène de résonance des vibrations pour des fréquences d'excitation proches de la fréquence propre du système :

Exemple de tracé (Pour f0=10^3 et Q=10):



Approche numérique (Avec la transformée de Laplace) :

Revenons a l'équation différentielle précédente :

$$\ddot{x} + \frac{\alpha}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = f(t)$$

En effectuant une transformé de Laplace on obtient:

$$p^2 X(p) + \frac{\alpha}{m} p X(p) + \frac{k}{m} X(p) = F(p)$$

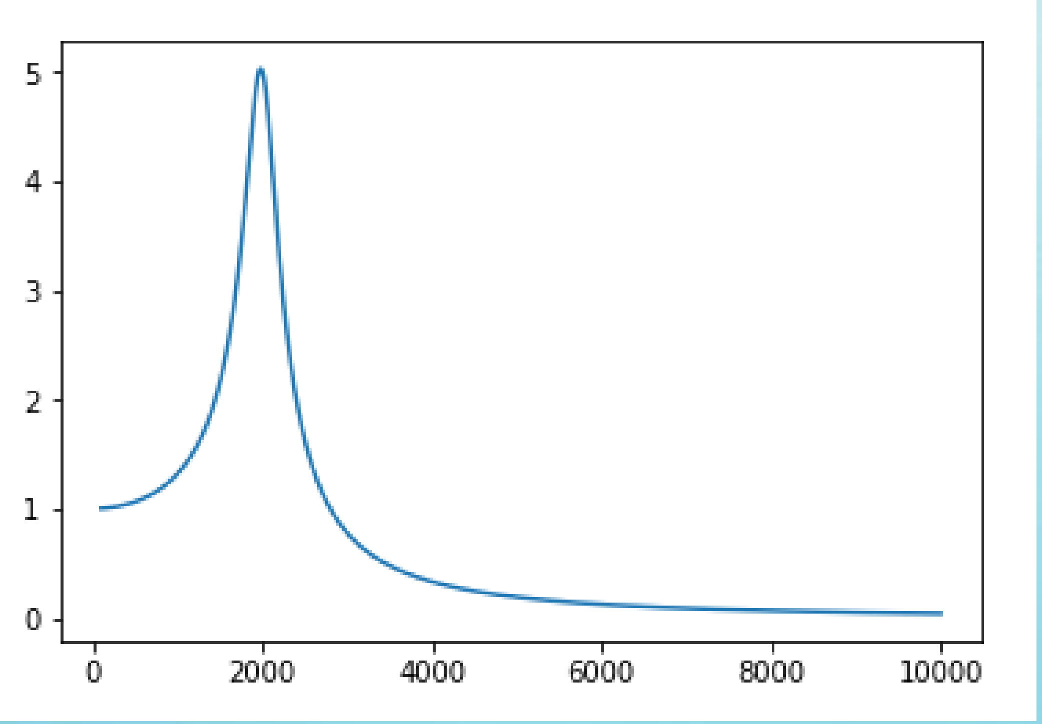
La fonction de transfert est alors :

$$H(p) = \frac{X(p)}{F(p)} = \frac{1}{mp^2 + \alpha p + k}$$

On implémente ainsi un code qui permet de tracer la réponse en fréquence de la fonction de transfert trouvée dans un diagramme de Bode:

$$H(p) = \frac{num(p)}{den(p)} = \frac{\sum_{k=1}^{nn} a_k p^{nn-k}}{\sum_{k=1}^{nd} b_k p^{nd-k}}$$

C’est ce qui donne un résultat de ce type :

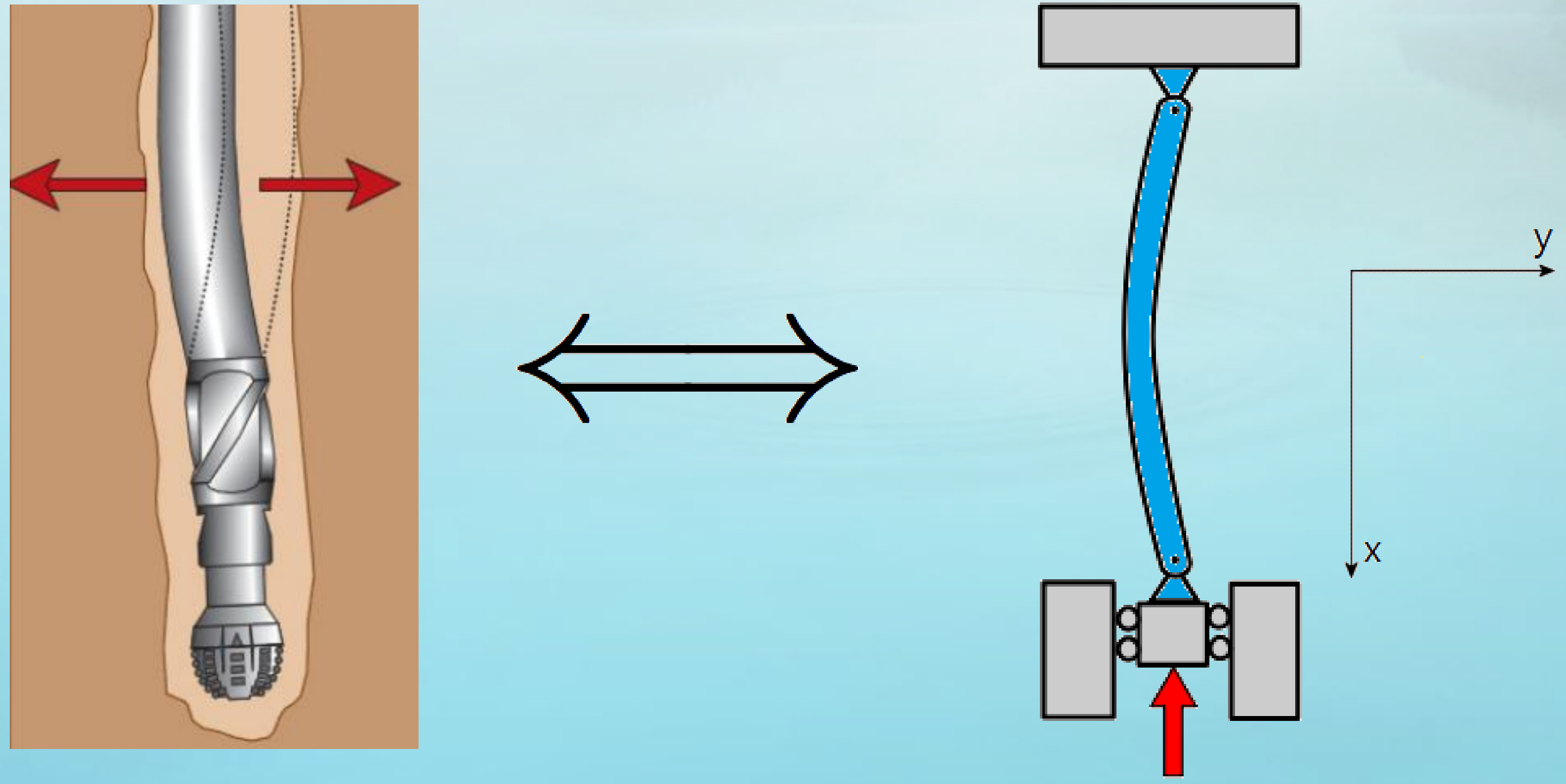


Les résultats ainsi obtenus ne reflètent pas vraiment la réalité vu qu’on ne trouve qu’une seule fréquence de résonance or il expérimentalement on montre qu’il en existe plusieurs.

C’est ce qui prouve que le modèle de l’oscillateur harmonique est insuffisant pour expliquer ce phénomène.

Ceci impose bien un changement de modèle..

III. Modèle de la poutre élancée:



1) Approche analytique

On considère la tige comme une poutre de longueur L ,de section S ,de masse volumique ρ de module d'Young E et de moment d'inertie I :

En se basant sur la théorie de des poutres d'Euler-Bernouilli on a l'équation aux dérivée partielles suivante:

$$\rho S\ddot{y} + EI\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + F(q,t)\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + 2\beta\dot{y} = f(x,t)$$

On cherche une solution stationnaire et on procède ainsi par séparation des variables ,or ceci n'est faisable que si F(q,t) ,f(x,t) et beta sont nulles:
On obtient ainsi le résultat classique :

$$\rho S\ddot{y} + EI\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0$$

La solution stationnaire sera de la forme : $y(x,t) = q(t)\phi(x)$

En remplaçant dans l'équation précédente
On obtient l'équation vérifiée par $q(t)$:

$$q(t) = Qcos(\omega t + \varphi)$$

De même pour $\phi(x)$:

$$\phi(x) = acos(\alpha x) + bsin(\alpha x) + ccosh(\alpha x) + dsinh(\alpha x)$$

Avec: $\alpha = \omega^{\frac{1}{2}}(\frac{\rho S}{IE})^{\frac{1}{4}}$

On a les conditions au limites :

$$y(0,t) = y(L,t) = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(0,t) = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}(L,t) = 0$$

On obtient : $a, c, d = 0$

$$sin(\alpha L) = 0 \Rightarrow \alpha L = n\Pi$$

D'où finalement la pulsation propre du n'ieme mode propre est:

$$\boxed{\omega_n = \frac{n^2\pi^2}{L^2}(\frac{IE}{\rho S})^{\frac{1}{2}}}$$

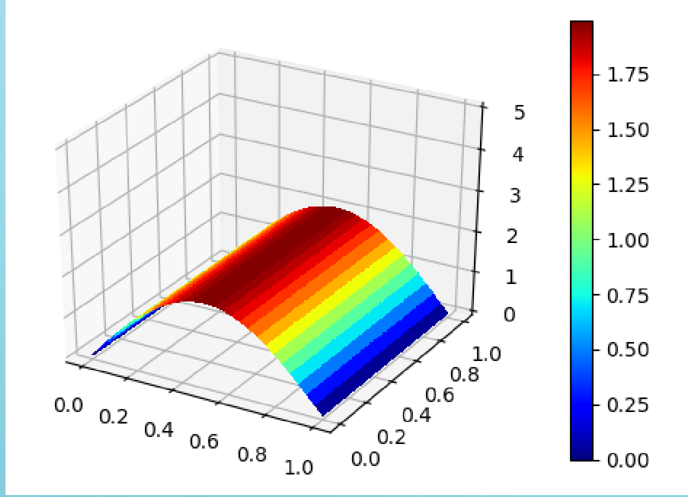
Ayant les fréquences propres du système, on peut déterminer les vitesses de rotation critiques à éviter au cours du forage. Eviter ces vitesses critiques permet d'éviter le phénomène de résonance et de prédire les conditions optimales de forage évitant toute rupture.

2) Approche numérique

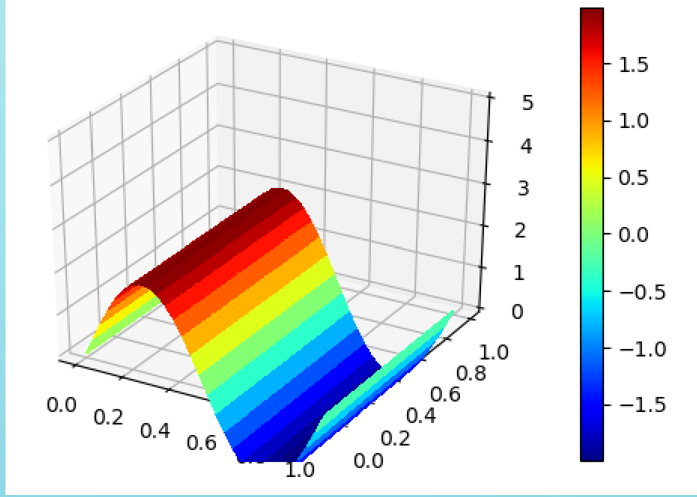
Avec la formule trouvée analytiquement : $y(x,t) = q(t)\phi(x)$ on utilise python pour visualiser les modes propres de la poutre dans un graphe 3D :

Exemples :

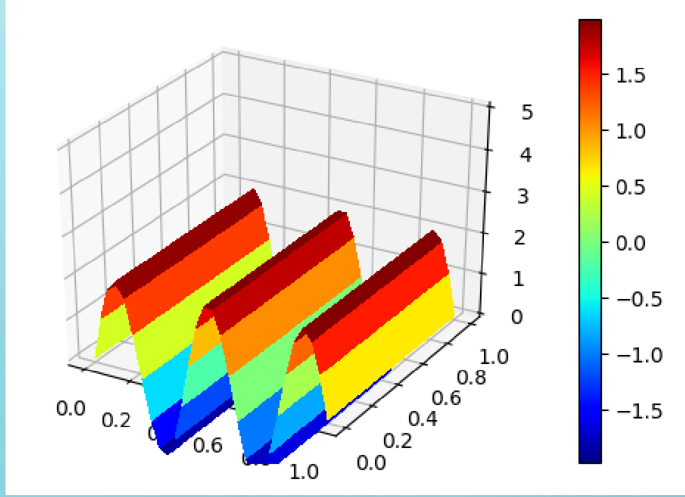
Pour n=1



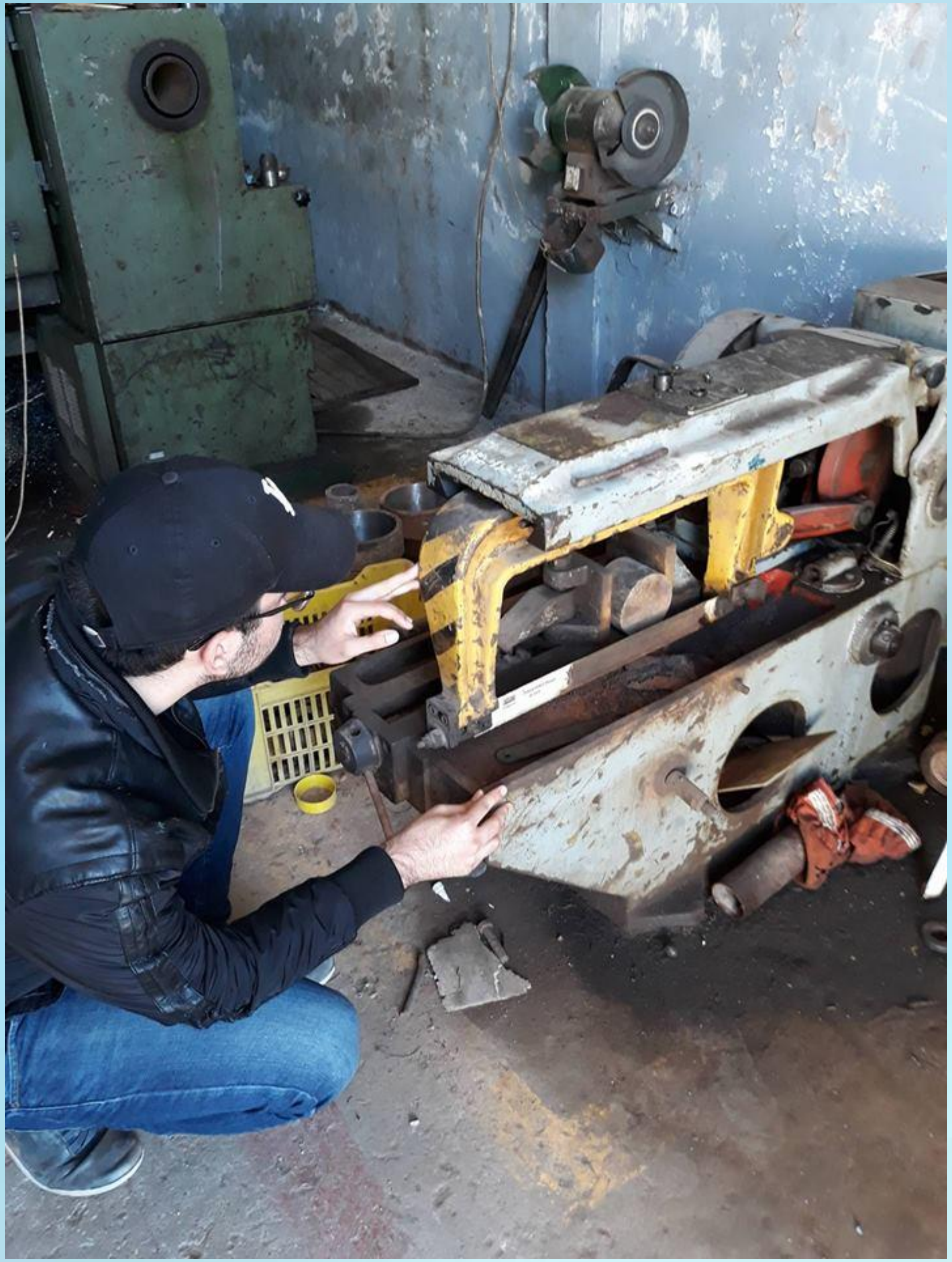
Pour n=2



Pour n=5



III. Compte rendu de mes visites :




LA