

Travaux pratiques "Tenue à la mer" sur logiciel
DIODORE



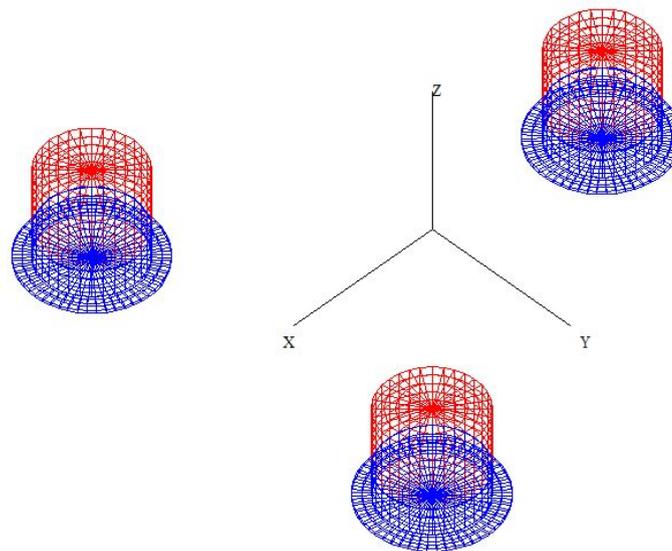
Introduction

Diodore est un outil de modélisation qui est codé en élément fini. Il prend en compte la mise en mouvement de la structure ainsi que les contraintes pour pouvoir dimensionner correctement la structure. Les efforts appliqués sur la structure doivent être précis.

La modélisation Diodore permet de calculer des forces et de modéliser la structure soumise à différentes sollicitations (masse, poussée d'Archimède, courant, houle, vent, traînée, rappel ancrage, redressement hydrodynamique).

1.1) Utilisation du pré-processeur

- a) Lorsque nous visualisons le maillage de la structure représentant les 3 flotteurs de l'éolienne, nous obtenons le maillage ci-dessous avec en bleu la partie immergée et en rouge la partie émergée.



Les paramètres de la structure sont les suivants:

- volume immergé: 2 849.955 m³
- surface de flottaison: 526.7 m²
- profondeur de 5 m
- hauteur totale 15.5 m
- centre de gravité (0,0,-1)
- centre de poussée (10,0,-2.662)

La structure n'est pas à l'équilibre hydrostatique car la poussée d'Archimède n'annule pas la gravité. Et s'il y a équilibre hydrostatique, il faut que le centre de la poussée soit au-dessus du centre de gravité afin qu'il soit stable. Sinon au moindre vacillement la structure ne sera plus en équilibre hydrostatique.

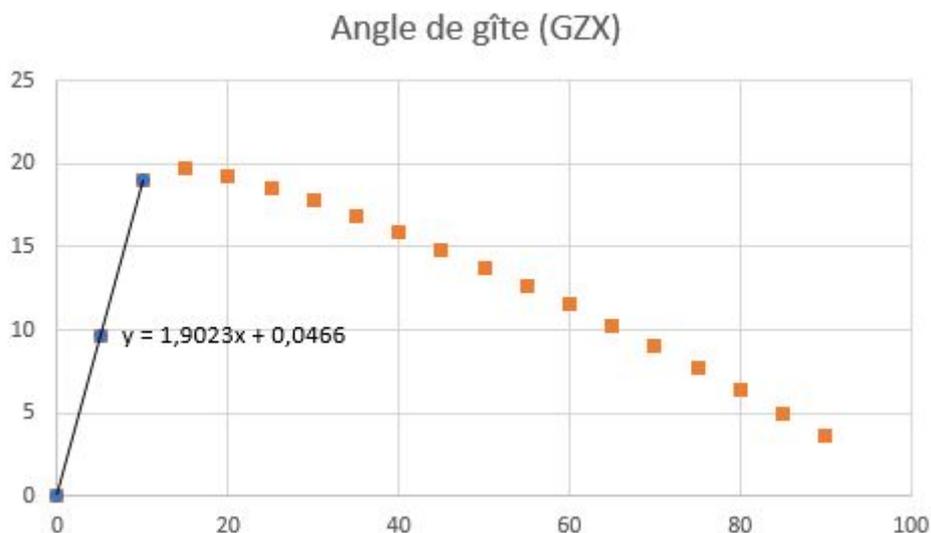
Pour avoir un équilibre hydrostatique, on déplace donc le centre de gravité aux coordonnées **(10,0,-1)**.

b) Pour paramétrer un calcul de stabilité avec tous les angles multiples de 5 entre 0° et 70° on modifie le code de cette manière :

```
$ etude de stabilite
$
$*STATIC,STRUCTURE=quad,EQUILIBRIUM,STABILITY
$
$*INCLINATION,STRUCTURE=quad
$ 0. : rotation autour de x ; 90. rotation autour de Y
$ 0. : pas d'assiette imposée
$ FREE : on met à l'équilibre en volume et en assiette (FIXED seulement en assiette)
$.,90.,5. : on impose des gites de 0° à 90° par pas de 5°

*INCLINATION,STRUCTURE=quad
0.
0.
FREE
```

Et en reportant les valeurs dans excel, on obtient cette courbe qui représente le bras de levier en fonction de l'angle de gîte :



On note une pente à l'origine de 1.9, cela représente la hauteur métacentrique GMt. Et cette hauteur métacentrique correspond à la distance entre le métacentre et le centre de gravité. Donc plus elle est grande, plus la structure est stable.

1.2) Lancement de la base hydrodynamique

Pour comprendre comment fonctionne Diodore, il faut d'abord comprendre comment la houle se diffracte et "irradie". Pour cela il faut donc connaître ces définitions.

Diffraction: Phénomène qui se produit lorsque des ondes (ici la houle) rencontrent des obstacles (ici des structures flottantes) ou des ouvertures dont les dimensions sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde et qui se traduit par des perturbations dans la propagation de ces ondes (contournement d'obstacles ou divergence à partir d'ouverture dans ces obstacles).

Radiation: Quand elle se propage, la houle "irradie" de la quantité de mouvement sur le plan d'eau. On appelle cette force la tension de radiation. Son intensité varie en fonction des hauteurs et des directions des vagues.

Il faut également savoir que certains concepts clés sont important dans Diodore, comme la **linéarité** de l'analyse spectrale, ou le fait que les houles **générées** par Diodore soient des mixes de vagues avec des périodes différentes, ou encore le fait que l'un des paramètres importants pour définir une houle est son **angle d'incidence** qui est l'angle entre un axe d'abscisses et la direction d'incidence de la houle.

1.3) Généralités sur la définition du modèle mécanique

Dans DIODORE, la structure est modélisée par un système mécanique de type masse-ressort amorti à 6 degrés de liberté (ddl) :

$$[M]X''+[B]X'+[K]X = F_{ext}$$

où X représente le mouvement de la structure, F_{ext} les efforts extérieurs, et [M], [B], [K] regroupent respectivement les termes d'inertie, d'amortissement et de raideur.

Les termes de diffraction et de radiation (calculés par le processeur hydrodynamique) ainsi que le redressement hydrostatique (calculé par le préprocesseur) sont automatiquement pris en compte dans la résolution (l'inconnue étant le mouvement X).

Pour compléter la définition du système masse-ressort amorti, on obtient donc le **terme d'inertie de la structure [M]** avec les éléments finis, l'**amortissement [B]** grâce au redressement hydrostatique, la **matrice de raideur [K]** également par éléments finis et les **forces extérieures F_{ext}** directement avec la radiation.

1.4) Etude de la structure non ancrée sans amortissements additionnels

Les moments d'inertie de la structure caractérisent la répartition de la matière en son sein. En prenant les moments d'inertie axiaux on a des grandeurs en kg/m. Au vu de la symétrie de notre structure, on peut sans aucun calcul en déduire que $I_{xy}=I_{xz}=I_{yz}=0$ et que $I_x=I_y$. Après calcul on obtient que **$I_x=2.5e9$ $I_y=2.6e9$ et $I_z=1.7e9$** . On remarque que **I_x et I_y ne sont pas précisément égaux**, mais c'est **quasiment le cas** comme prévu.

On lance ensuite le processeur mécanique **sans ancrage et sans amortissement additionnel**, puis on peut lire dans le fichier de résultat les périodes propres selon les 6 degrés de liberté :

- Cavalement: 99999
- Embardée: 99999
- Pilonnement: 7.74
- Roulis: 8.41
- Tangage: 7.97
- Lacet: 99999

Les valeurs 99999 sont des périodes propres infinies, il est normal d'obtenir ces valeurs compte tenu de la structure étudiée étant donné qu'elle ne va pas se déplacer horizontalement de par sa géométrie. En revanche, on a des périodes beaucoup moins grandes pour les déplacements verticaux, car la géométrie de la structure fait que ces déplacements sont beaucoup plus simples.

Pour les taux d'amortissement on obtient :

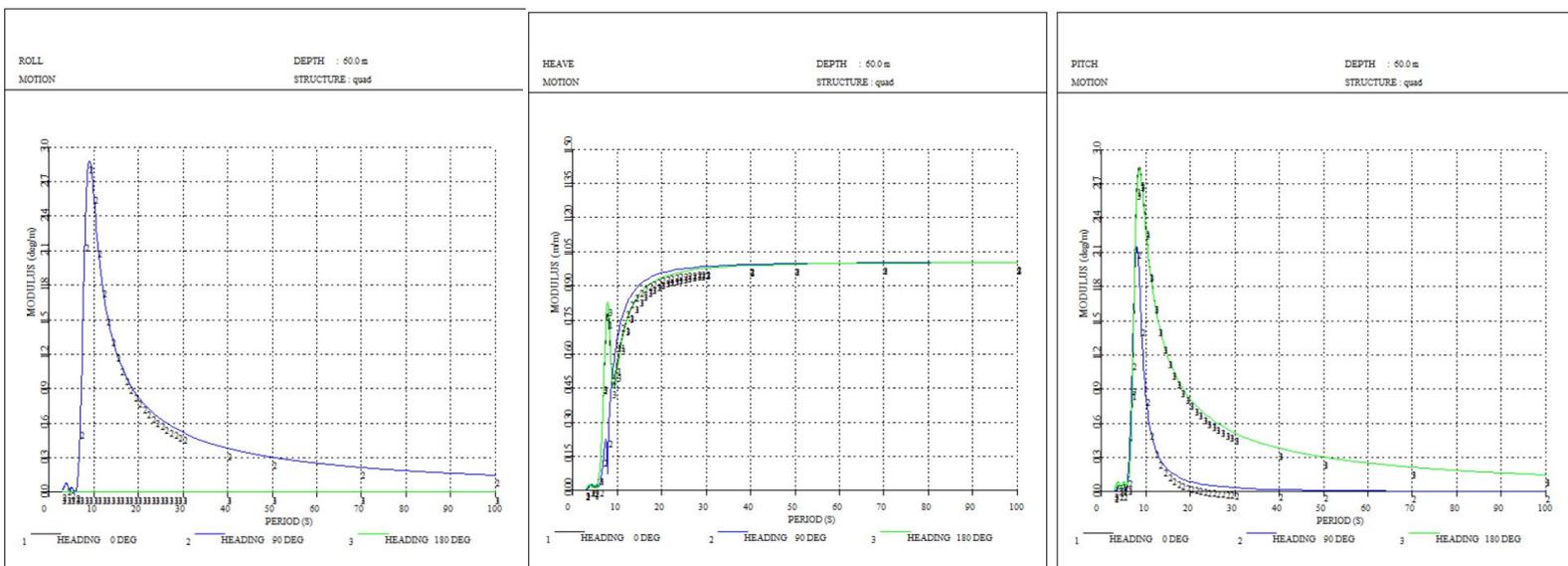
- Cavalement: 199.5%
- Embardée: 199.5%
- Pilonnement: 8.6%
- Roulis: 2.7%
- Tangage: 10.5%
- Lacet: 105%

Encore une fois on obtient de très grandes valeurs pour les déplacements horizontaux et des bien plus petites pour les déplacements verticaux. Et cela est toujours dû à la structure.

Ces taux d'amortissement nous amènent à envisager ou non un amortissement critique. Cet **amortissement critique** est l'amortissement pour lequel on bascule d'un régime à un autre (pseudo périodique - sans oscillations). Et il correspond à l'amortissement pour lequel le discriminant de l'équation de la question précédente est nul. Dans notre cas, pour les trois déplacements de rotation (ceux qui nous intéressent) on n'a jamais un taux d'amortissement "dangereux".

Le **RAO** signifie **Response Amplitude Operator**, c'est la réponse en amplitude du système qui est définie par une fonction de transfert entre l'onde incidente et le mouvement du système flottant.

Quand on parle de mouvements verticaux de la structure on parle du roulis du tangage et de la translation selon l'axe z. Et pour les mouvements horizontaux cela concerne le pilonnement et les translations selon les axes x et y. Mais on regarde ici plutôt les mouvements de rotation, donc deux mouvements verticaux et un mouvement horizontal. On a tracé ci-dessous le RAO pour le roulis (gauche), le pilonnement (milieu) et le tangage (droite) en fonction de différentes incidence de la houle.



Pour le roulis et le tangage, on remarque que l'amplitude augmente rapidement, est souvent maximale à **T1=9s** et diminue rapidement avec une forte incidence de houle. Et au vu de la symétrie de la structure, il est tout à fait logique d'obtenir pareil pour ces deux mouvements. Quant au pilonnement, on a plutôt une amplitude qui augmente rapidement au début puis tend vers son maximum. Dans tous les cas, on comprend qu'il y a des termes exponentiels dans les expressions des amortissements.

Si l'on soumet à la structure une houle d'Airy avec une période **T1=9s** et une amplitude de 50cm, on obtient la réponse suivante pour les mouvements verticaux :

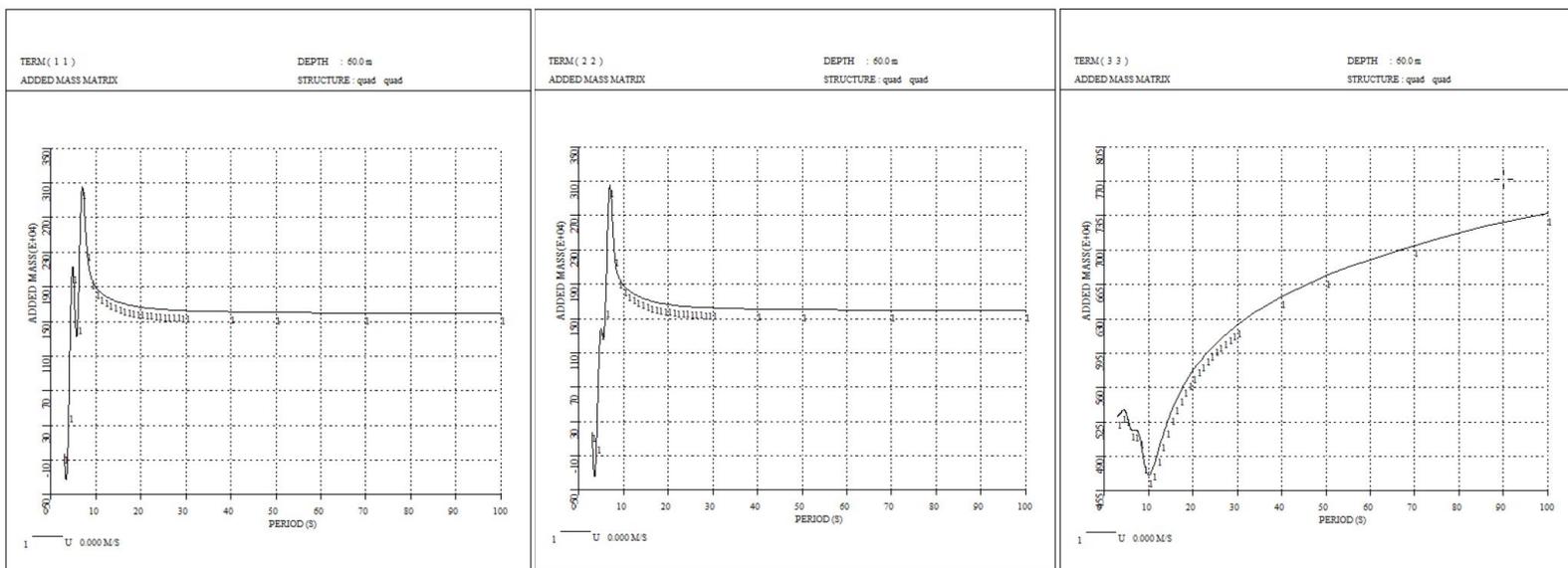
- Roulis: 1.05m
- Tangage: 1.4m

Les résultats ne sont pas aberrants, on peut valider l'hypothèse de houle d'Airy qui est souvent utilisée en eau peu profonde. On aura donc comme mouvements verticaux du roulis ainsi que du tangage mais très peu de pilonnement.

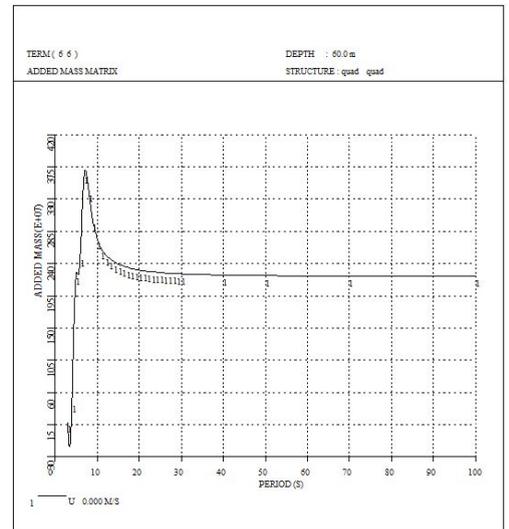
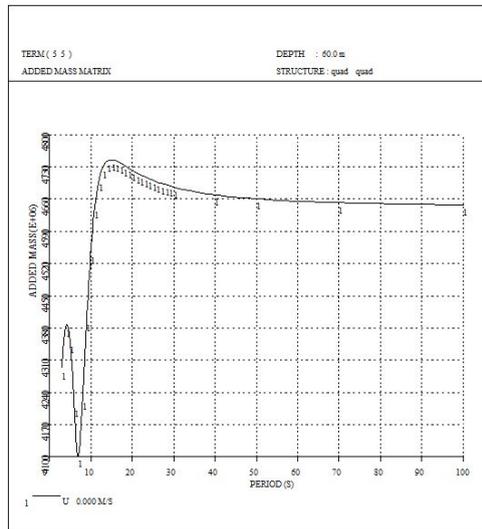
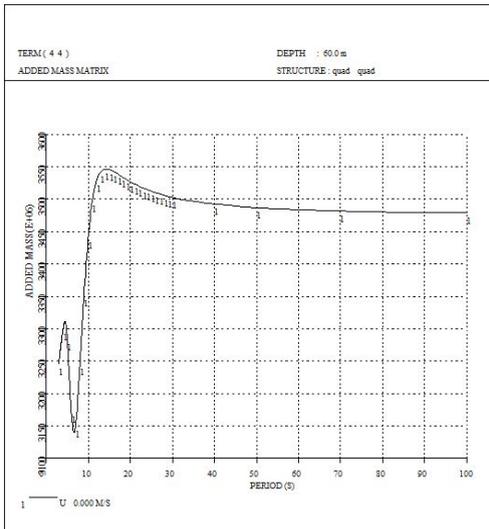
Lorsque T tend vers 0 on a les trois rotations qui tendent à disparaître. Quand on fait une analogie masse-ressort cela paraît logique sans houle (ou houle trop fréquente donc près d'être une constante) il n'y a pas de mouvement de la structure. Et lorsque T tend vers l'infini, le tangage et le roulis tendent encore à disparaître, mais le pilonnement reste maximal. Encore une fois, avec l'analogie masse-ressort cela paraît réaliste car avec des masses et des ressorts le phénomène serait le même.

1.5) Vérification des masses ajoutées - Calibrage de l'amortissement de roulis

Afin de pallier ces problèmes de résonance, on utilise l'idée d'ajouter des masses sur les 6 degrés de liberté. Pour simuler cela, on utilise le post-processeur pour tracer les masses ajoutées sur les 6 degrés de liberté en fonction



Ci-dessus les masses ajoutées en fonction des différentes translations: x (gauche), y (milieu), z (droite). Sans trop de surprise, on remarque que les courbes en x/y sont très similaires du fait que notre problème est symétrique en surface. Et les masses ajoutées ne sont pas du tout négligeables par rapport à la masse de la structure et ses inerties propres car elles sont du même ordre.



Ci-dessus on a ensuite tracé les masses ajoutées en fonction des différentes rotations (selon x à gauche, y au milieu et z à droite). Comme précédemment la symétrie fait que l'on a pareil pour x et y. Et les masses ne sont pas négligeables car du même ordre que la masse de la structure.

Pour les grandes périodes de houle, on a les masses ajoutées qui tendent vers **1.6e9 kg pour la translation suivant x et y**, et vers **2.2e9 kg pour la rotation suivant z**. Cela devrait limiter les problèmes pour les déplacements horizontaux.

Ensuite, on cherche donc à voir l'impact de cette calibration sur le pic de résonance et on remarque que comme prévu il a fortement diminué sur la RAO. Cela montre donc l'efficacité de cette calibration.

1.6) Faire un calcul spectral

Ensuite, en utilisant un filtre Jonswap on essaye de comprendre à quoi sert gamma, le coefficient de forme de spectre de houle. On compare donc deux calculs spectraux où gamma vaut 3.3 puis 1.

Spectre	gamma	3,3		gamma	1	
Incidence	0	60	90	0	60	90
SURGE	2,508	1,402	0,316	2,664	1,445	0,367
SWAY	0	2,475	2,408	0	2,529	2,309
HEAVE	3,194	3,351	3,226	3,159	3,228	2,934
ROLL	0	12,416	12,967	0	11,279	11,646

PITCH	12,459	6,999	6,589	11,649	6,739	6,97
YAW	0	0,946	3,901	0	0,966	4,241

Les différences que l'on observe ne sont pas énormes mais sont loin d'être négligeables. Ce qui change en fait est l'importance de la différence entre la pulsation et la pulsation propre. En effet, plus gamma est grand et plus la différence entre la pulsation et la pulsation propre va influencer sur le résultat. C'est donc pour cela que l'on obtient des valeurs un peu différentes dans les deux cas.

Pour calculer l'accélération 3h à partir des moments du spectre de réponse on utilise cette formule :

$$A(3h) = 2\sigma_x \left(\sqrt{2 \ln(3h)} + \frac{0.5227}{\sqrt{2 \ln(3h)}} \right)$$

Et on obtient $A(3h)=1.84\text{m/s}^2$.

1.7) Créer une HDB d'échange avec deeplines

Dans le fichier HDB il y a sous forme de matrice les valeurs des périodes et des angles d'incidence que l'on choisit pour notre houle. Et il y a également toutes les valeurs dont l'on a parlé au cours de ce rapport, comme par exemple les taux d'amortissement, les valeurs des masses ajoutées ou encore les forces et les moments.

1.8) Intégrer l'ancrage

(partie annulée car non vue en cours)

Conclusion

La modélisation Diodore permet de calculer des forces et de modéliser la structure soumise à différentes sollicitations (masse, poussée d'Archimède, courant, houle, vent, rappel ancrage). Lors des différentes séances de TP, nous avons étudié la tenue à la mer d'une éolienne flottante, dans un premier temps libre, puis ancrée. Nous avons étudié les RAO et calculé ce que pouvaient changer des masses ajoutées.

Diodore permet de modéliser rapidement et simplement différents cas, une fois le code pris en main. C'est un outil utile aux ingénieurs en modélisation numérique du génie côtier et océanique, pour modéliser de nombreux cas d'interactions fluide/structure.