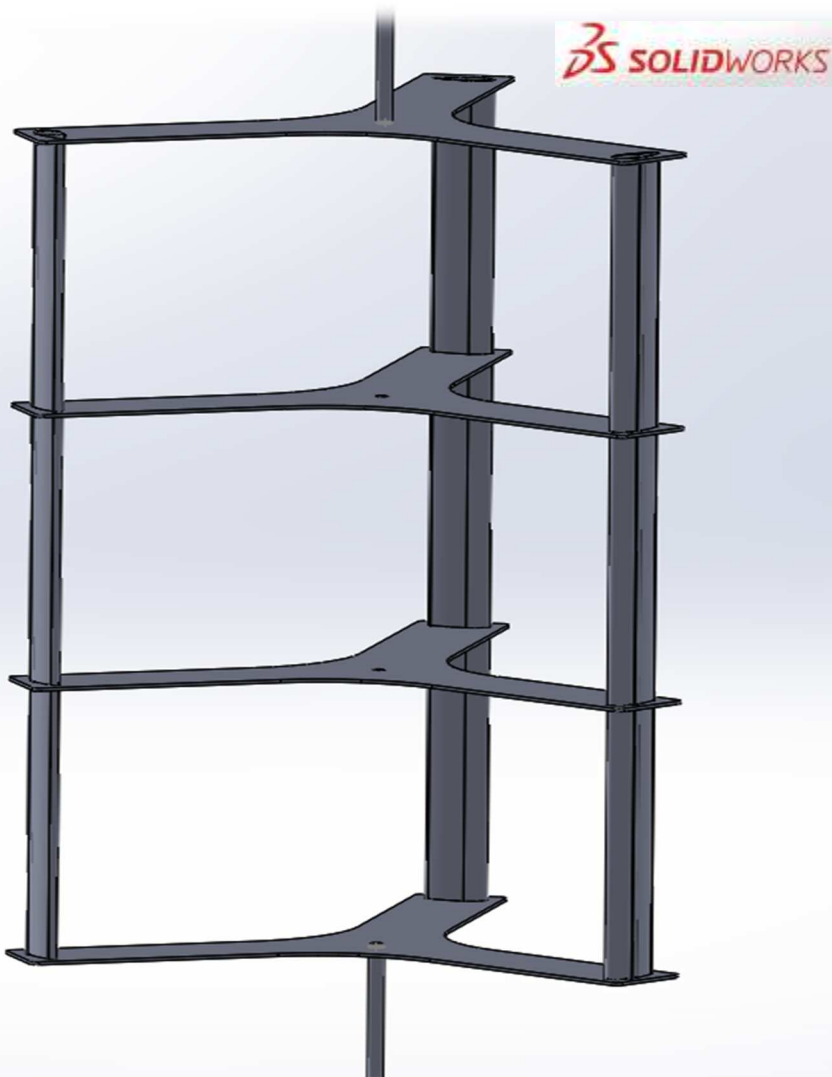


Projet de mécanique

*Analyse vibratoire d'une éolienne Darrieus :
détermination des modes propres de vibration*



Viet Dao Nguyen
Junior Ondo Obame
Tuteur: M. Frachon

Plan d'action

1. Résumé
2. Abstract
3. Introduction
4. Problématique et présentation de la structure
5. Objectifs
 - a. Etude statique
 - b. Analyse fréquentielle
 - c. Etude dynamique
6. Gestion du projet : Gantt
7. Résultats
8. Analyse et exploitation des résultats
9. Conclusion
10. Problèmes rencontrés
11. Bibliographie

Résumé

Le projet a débuté en Octobre 2018 en binôme. Il s'est prolongé jusqu'au 21 janvier 2019 en passant par une présentation d'un état d'avancement qui a eu lieu le 17 décembre.

L'éolienne Darrieus est une éolienne à axe verticale dont la rotation est possible grâce aux propriétés aérodynamique de ses pales. Elle rentre dans la problématique d'énergies renouvelables.

Comme toute structure complexe, elle est susceptible de vibrer d'où l'importance d'avoir effectué cette étude dans le but comprendre son comportement dynamique lorsqu'elle est sollicitée à des fréquences pertinentes. Dans ce sens, une étude statique a été faite pour déterminer les contraintes et déplacements et s'assurer que la structure résistera à une étude dynamique. L'intermédiaire entre ces deux études a été l'analyse fréquentielle afin de trouver les fréquences de résonance et modes propres associés qui ont été utile pour l'étude dynamique.

Après avoir atteint ces objectifs, il s'en est suivi l'analyse et l'interprétation des résultats qui ont permis de faire un bilan de la réponse de la structure aux chargements dynamiques.

Abstract

The project started in October 2018 in pairs. It lasted until January 21, 2019 through a presentation of a progress report that took place on December 17.

The Darrieus wind turbine is a vertical axis wind turbine whose rotation is possible thanks to the aerodynamic properties of its blades. It goes into the problem of renewable energies.

Like any complex structure, it is likely to vibrate, hence the importance of having carried out this study in order to understand dynamic sound behavior when it is solicited at relevant frequencies. In this sense, a static study was done to determine the constraints and displacements and to make sure that the structure will withstand a dynamic study. The intermediate between these two was frequency analysis in order to find resonant frequencies and associated Eigen modes that was useful for dynamic study.

After achieving these objectives, the analysis and interpretation of the results followed, which made it possible to take stock of the structure's response to dynamic loadings.

Introduction

Depuis quelques années nos consommations en énergie n'ont cessé d'augmenter et pour permettre une économie d'énergie la plupart des sociétés se tournent vers l'énergie renouvelable en nous proposant des produits qui répondent à nos besoins en utilisant un maximum de ressources naturelles tel que le soleil, le vent, etc.

L'éolienne Darrieus est l'une des structures répondant à ces critères de production optimale et saine d'énergie. Le principe même de fonctionnement, basé sur des variations incessantes de charge aérodynamique sur les pales, fait que cette éolienne est très sujette aux problèmes d'aéroélasticité. 15% de vent en moins peut provoquer une variation de charge de 400% [1]. Il apparaît sans doute important de comprendre son comportement dynamique pour palier à ce problème mais aussi pour une raison d'optimisation de sa durée de vie et du rapport de puissance produite.

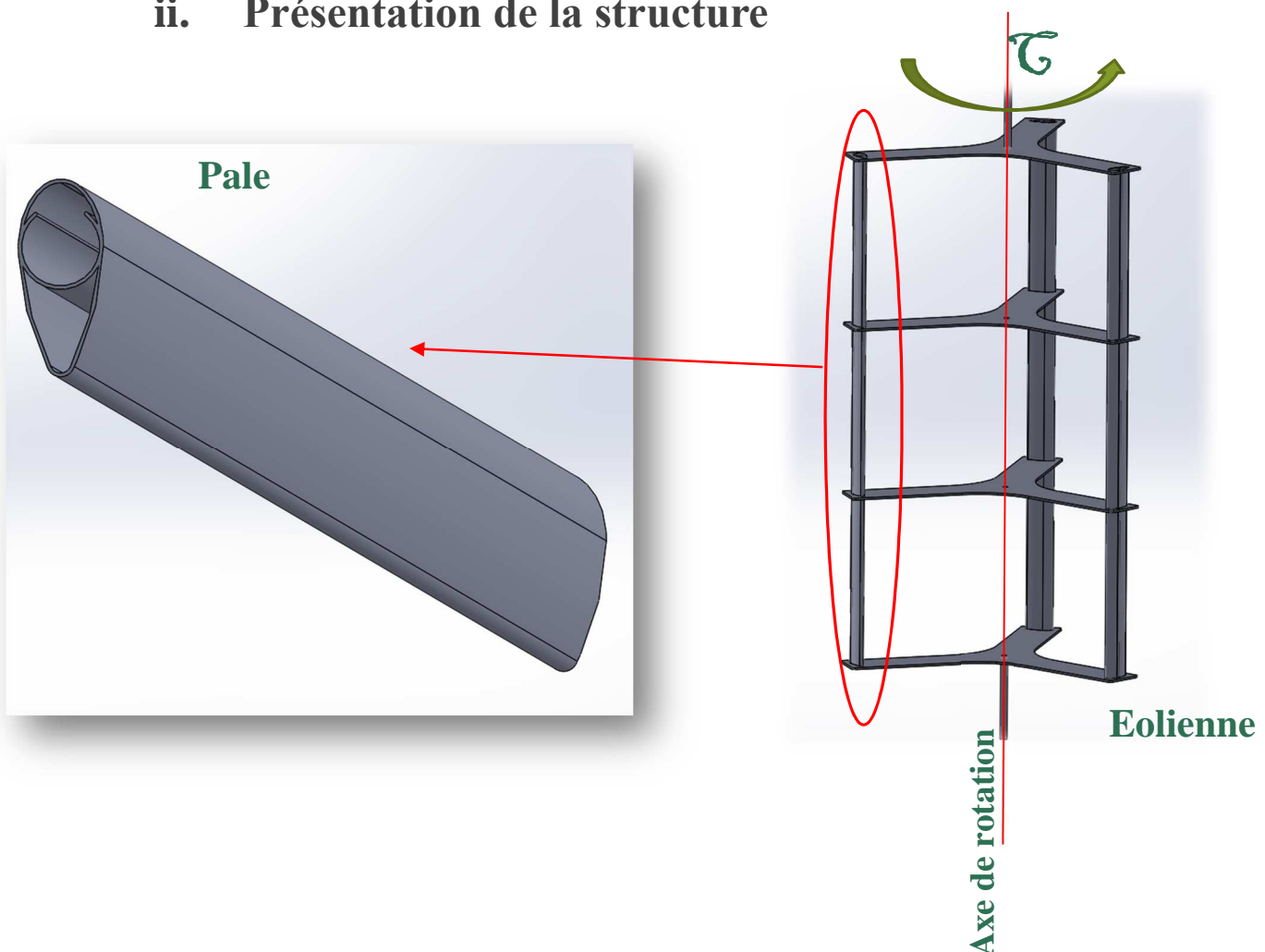
I. Problématique et présentation de la structure

i. Problématique

L'analyse vibratoire se base sur une approche mathématique qui permet d'approximer, avec une faible incertitude, les modes de vibration d'une structure pour simuler son comportement dynamique lorsqu'il y'a un écoulement entraînant sa rotation.[1]

De ce fait, dans une idée d'optimisation, il est indispensable de connaître le comportement dynamique de l'éolienne et de déterminer ses fréquences de résonance qui sont des points de divergences pouvant entraîner à la rupture.

ii. Présentation de la structure



II. Objectifs visés

Nos objectifs sont définis sur un ordre logique dans le cadre d'une analyse vibratoire.

i. Etude statique

Elle nous permettra de déterminer les contraintes et déplacements supportés par la structure lorsqu'elle est sollicitée. Les forces appliquées sont constantes et indépendantes du temps.

L'étude préliminaire que nous avons faite et présentée montrait simplement que la structure résistera à des chargements dynamiques.

ii. Analyse fréquentielle

C'est l'étape la plus importante. Elle nous permettra de déterminer les fréquences de résonance et les modes propres de vibration associés.

Ces fréquences sont importantes car ce sont des points de divergences auxquelles si la structure est sollicitée elle devient instable et peut être entraînée à rupture.

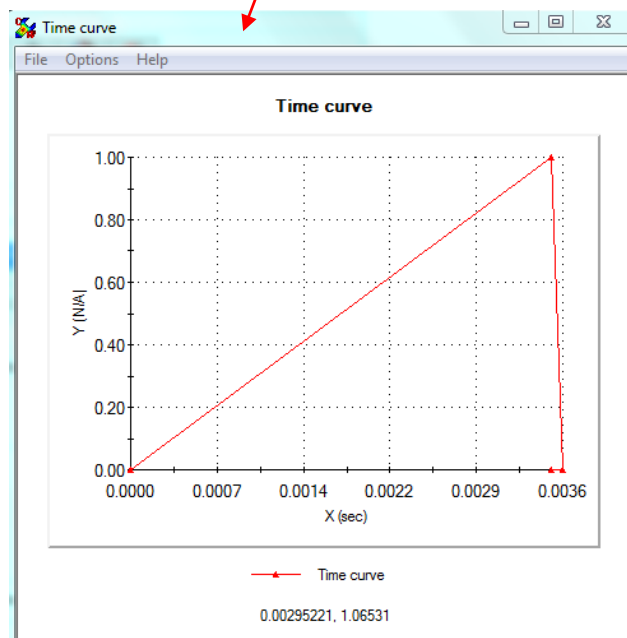
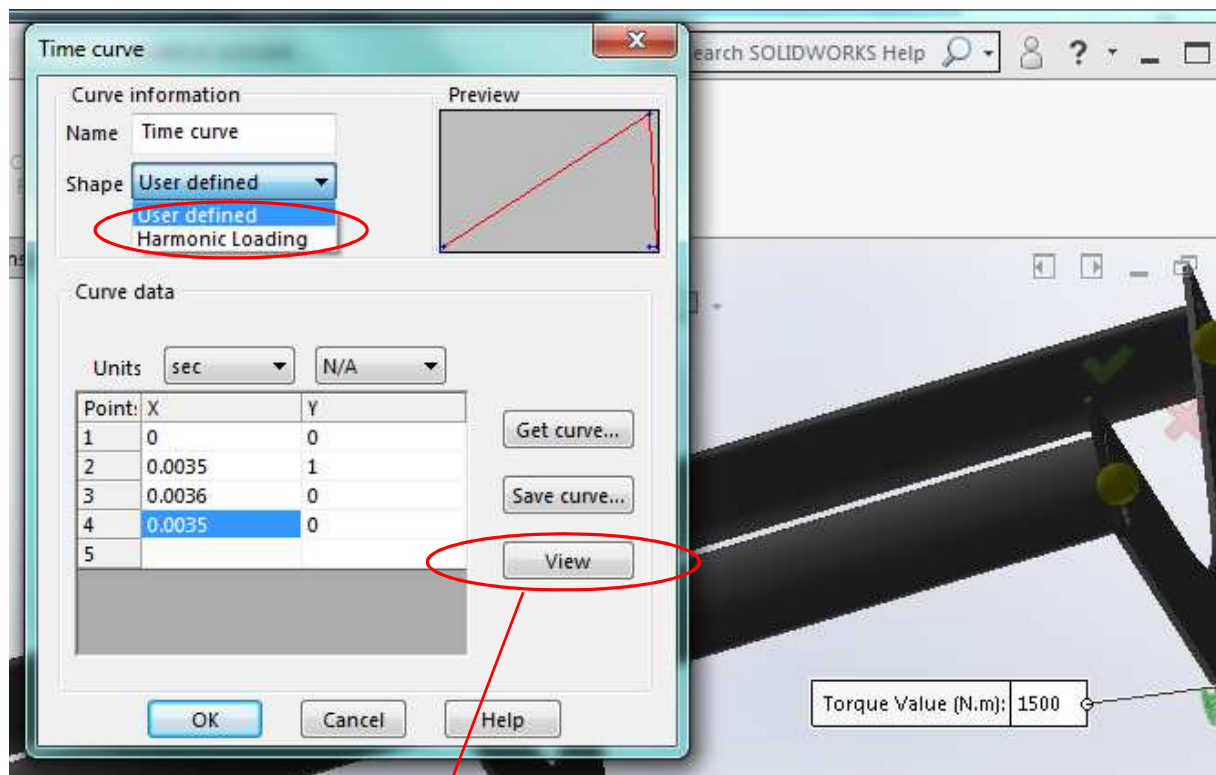
Cette étape ne permet en aucun cas de déterminer les contraintes et déplacements, il s'agit des fréquences de résonance et des déformées modales associées.

iii. Etude dynamique

Cette étape a été un choix d'ajout. L'analyse fréquentielle répond déjà à problématique directe du sujet.

Notre intention est de comprendre le comportement et la réponse de l'éolienne aux chargements dynamiques.

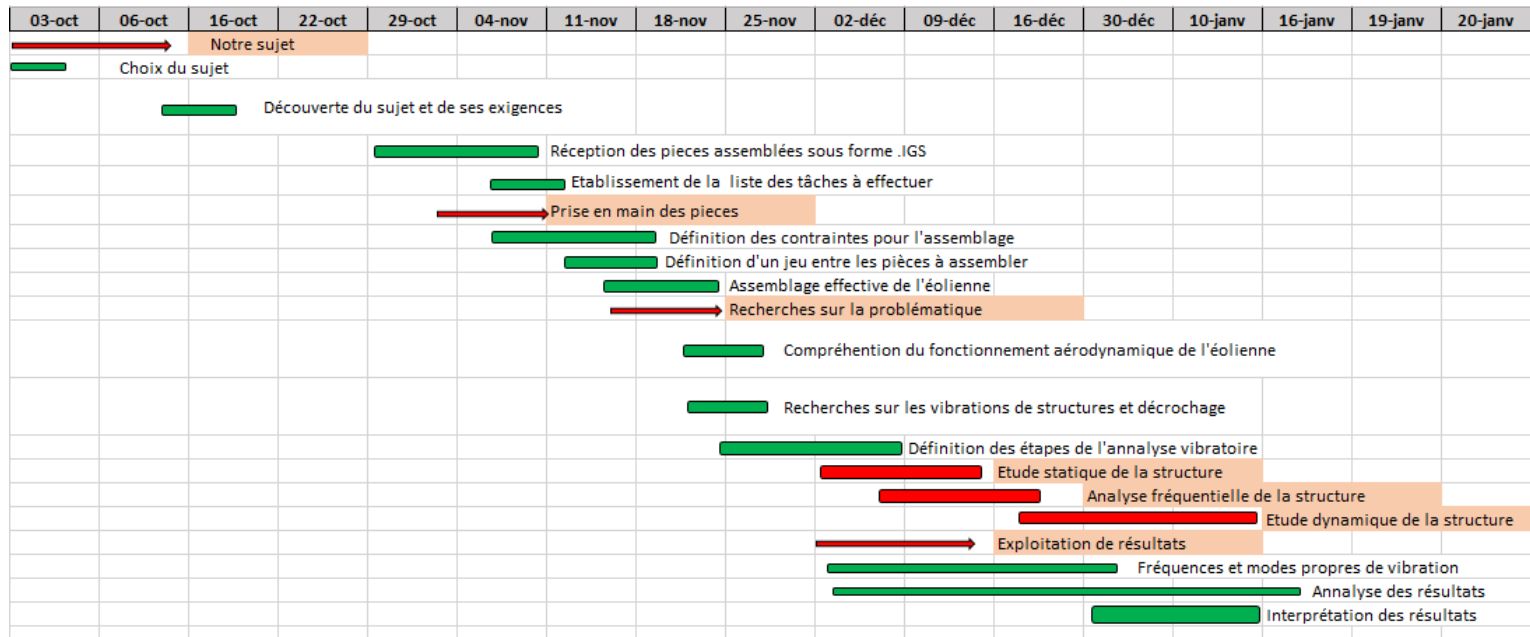
Ici les efforts varient en fonction du temps.



III. Gestion du projet : Gantt

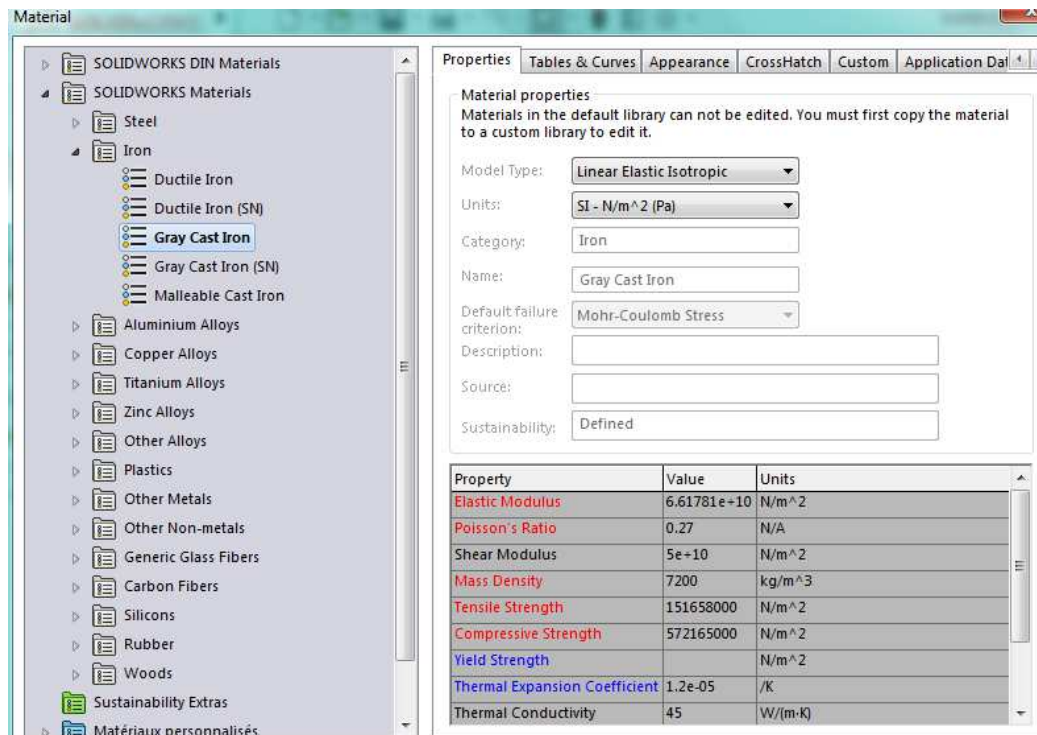
La gestion du projet s'est principalement articulée sur un diagramme de Gantt en définissant et répartissant les tâches.

En partant de la réception des fichiers .IGS et l'assemblage des pièces jusqu'à l'obtention des résultats la méthode a été logique et progressive.

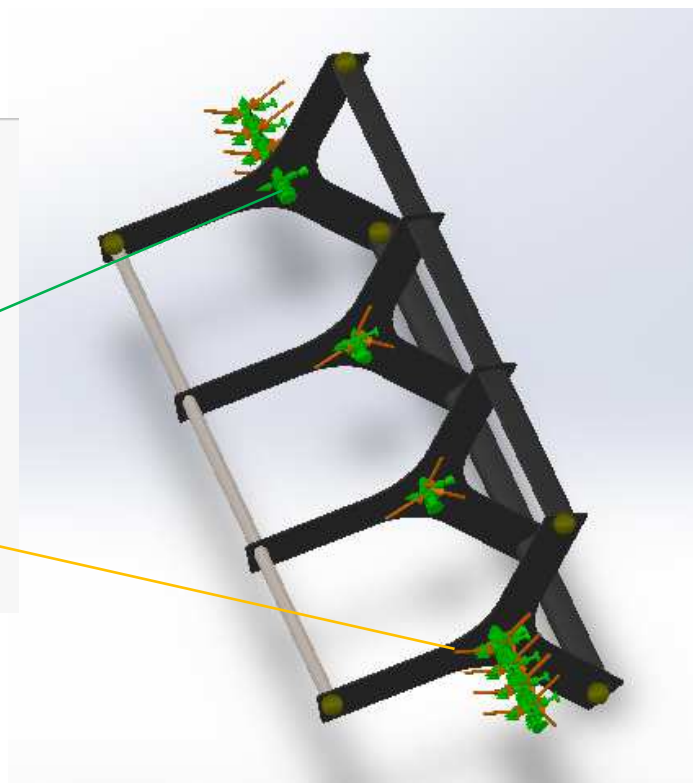
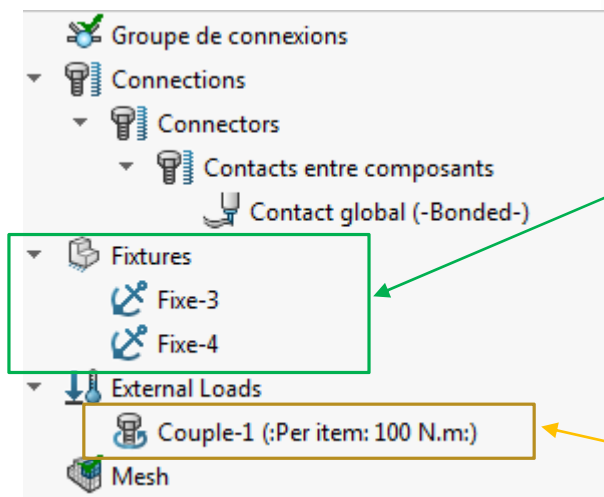


IV. Résultats

Les résultats obtenus sont répartis suivant les trois objectifs fixés. Le plus important ici étant l'analyse fréquentielle. Ils ont été réalisés sur SolidWorks après avoir fait certains choix arbitraires : le matériau (acier inoxydable à fonte grise)

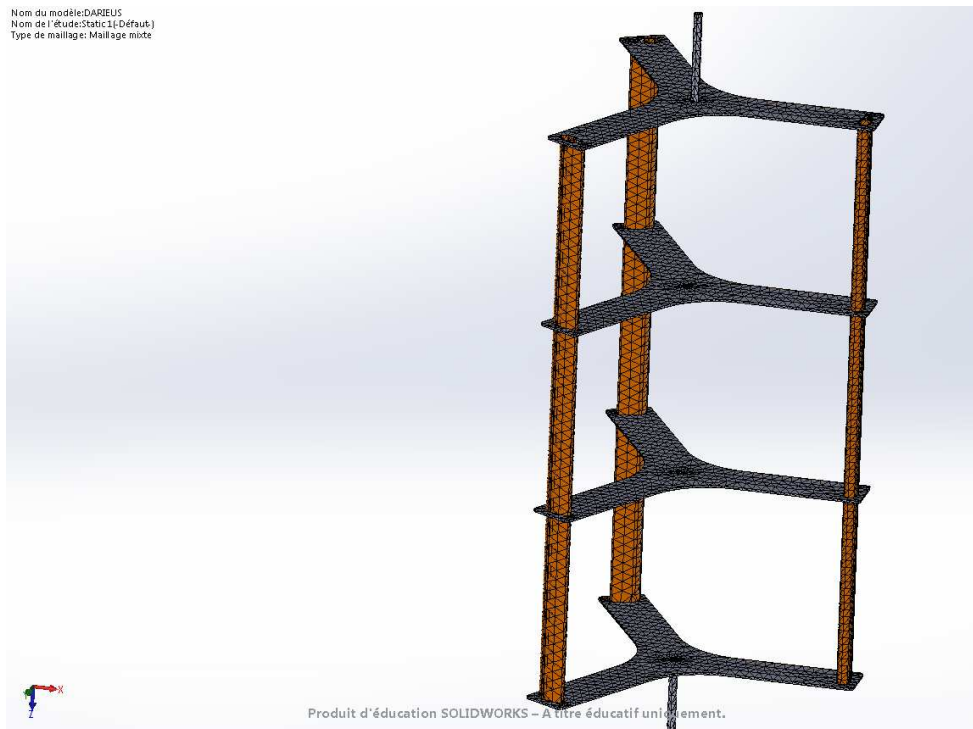


Les déplacements imposés (géométrie fixe le long de l'axe vertical), forces appliquées (couples ou forces centrifuges), etc.

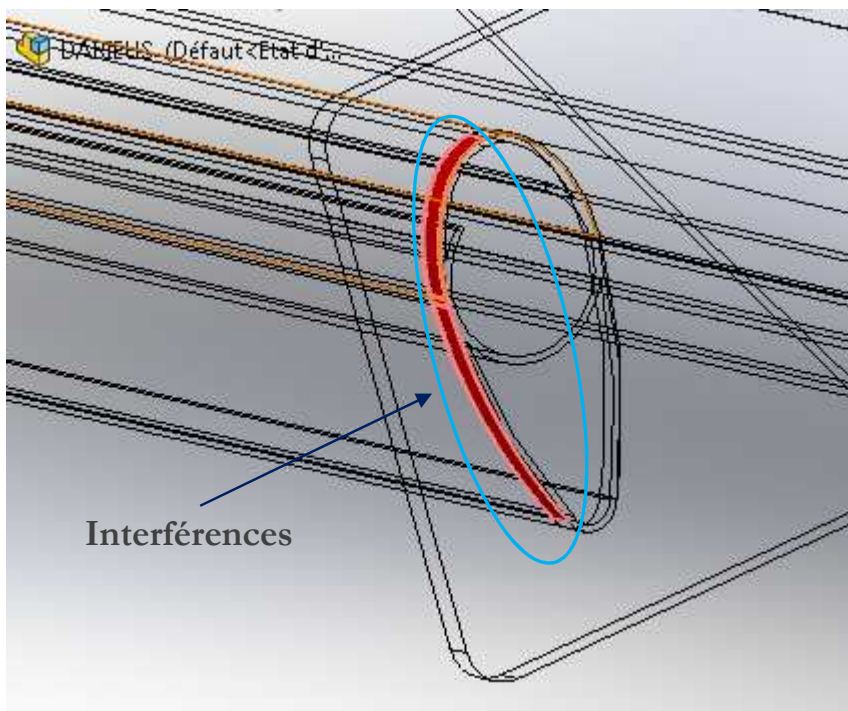


Le maillage :

Nom du modèle: DAREIUS
Nom de l'étude: Static11 (Défaut)
Type de maillage: Maillage mixte



Il faut tout de même préciser que des problèmes liés aux interférences entre pièces (pales et bras de la structure) et la géométrie des pales (pas pris en charge par le maillage) nous ont poussés à faire des approximations sur la géométrie des pales tout en respectant ses propriétés aérodynamiques.



- ▶ AXE-DARIEUS_2-1 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ AXE-DARIEUS_2-2 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ BRAS_2-1 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ BRAS_2-2 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ BRAS_2-3 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ BRAS_2-4 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ Profil_aero_2-1 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ Profil_aero_2-2 (-Gray Cast Iron-)
- ▶ Profil_aero_2-3 (-Gray Cast Iron-)

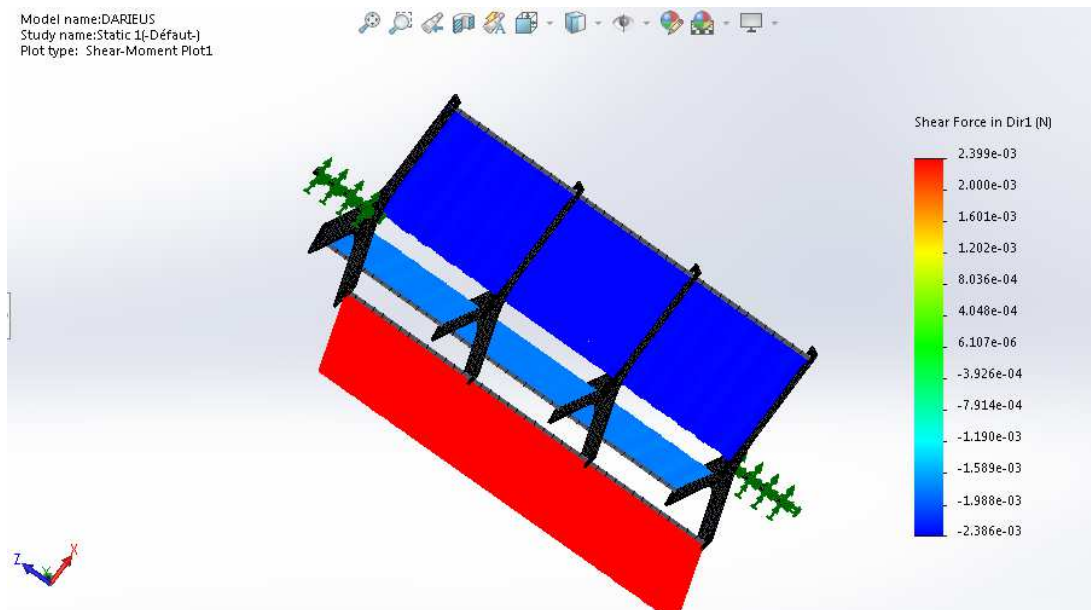
Mesh Failure Diagnostics

The following bodies failed to mesh:

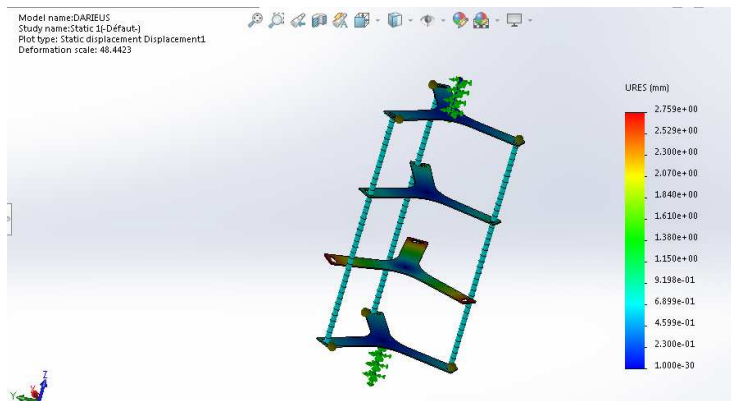
- [-] Profil_aero_2-1
 - [-] Faces
 - Face-1
 - Face-2
 - [-] Edges
 - Edge-1
 - Edge-2
 - Edge-3
 - Edge-4
- [-] Profil_aero_2-2
 - [-] Faces
 - Face-3

i. Résultat de l'étude statique

Répartition du moment sur la structure :



On obtient des déplacements tels qu'il suit :



ii. Résultat de l'analyse fréquentielle

On détermine les 10 premières fréquences de résonance du système.

Options

☒ Number of frequencies: 10

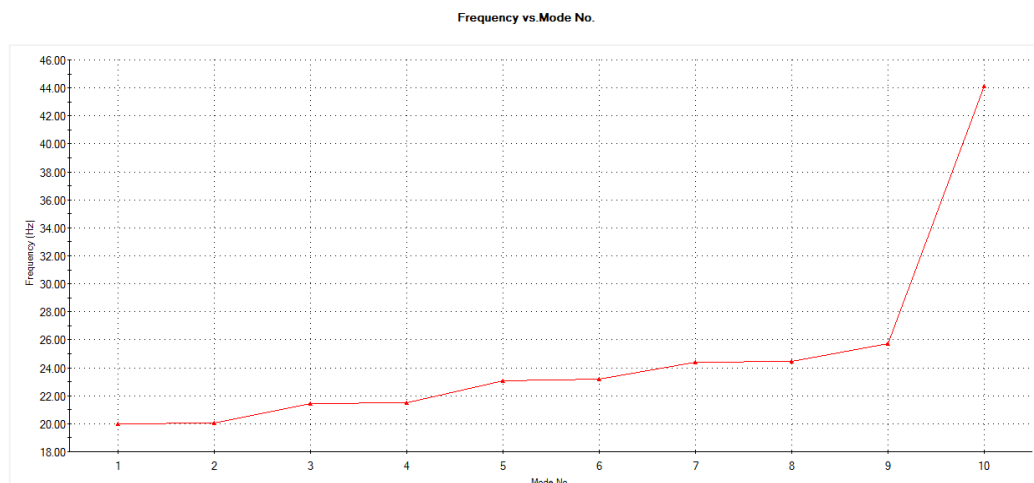
☐ Calculate frequencies closest to: (Frequency Shift) 0 Hertz

☐ Upper bound frequency: 0 Hertz

Fréquences de résonance :

Modes	Fréquences (Rad/sec)	Fréquences (Hertz)	Périodes (Seconds)
1	125.58	19.986	0.050034
2	125.95	20.045	0.049888
3	134.72	21.441	0.04664
4	134.93	21.475	0.046566
5	144.93	23.066	0.043354
6	145.73	23.193	0.043116
7	153.36	24.408	0.04097
8	153.76	24.472	0.040863
9	161.65	25.728	0.038869
10	277.46	44.158	0.022646

Soit :

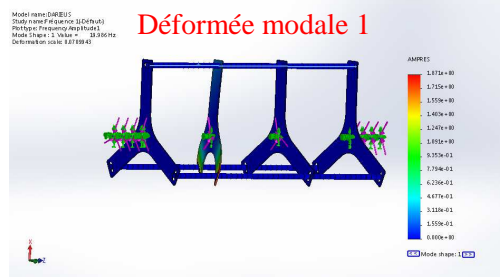


Les déformées modales :

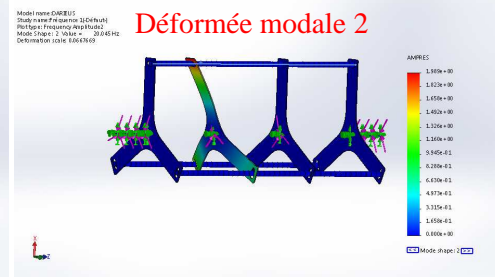
Liste de participations massiques				
Mode No.	Freq (Hertz)	X direction	Y direction	Z direction
1	19.986	2.6679e-08	1.4026e-06	2.6241e-08
2	20.045	1.4211e-06	2.5417e-08	4.293e-09
3	21.441	5.2105e-15	1.4904e-12	5.312e-08
4	21.475	8.0501e-13	3.8312e-12	5.0002e-08
5	23.066	1.2326e-06	1.5257e-06	5.6585e-06
6	23.193	1.4318e-07	4.3412e-07	4.0848e-05
7	24.408	1.696e-12	8.1106e-13	0.097921
8	24.472	5.9559e-13	4.8691e-13	0.097602
9	25.728	8.1717e-07	5.4955e-09	0.51787
10	44.158	0.00028207	0.10824	1.5009e-06
		Sum X = 0.00028571	Sum Y = 0.10824	Sum Z = 0.71344

Graphiques des déformées

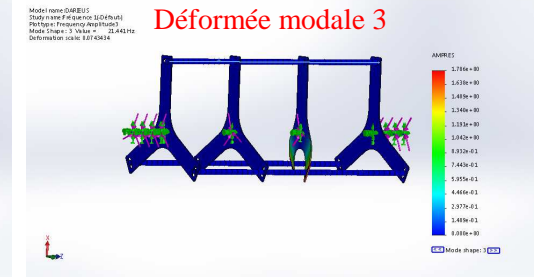
Déformée modale 1



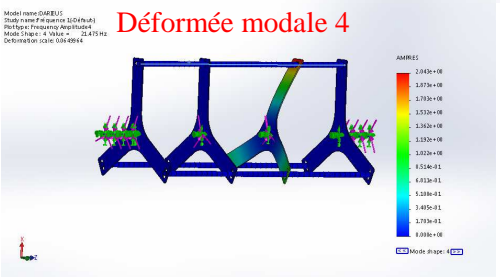
Déformée modale 2



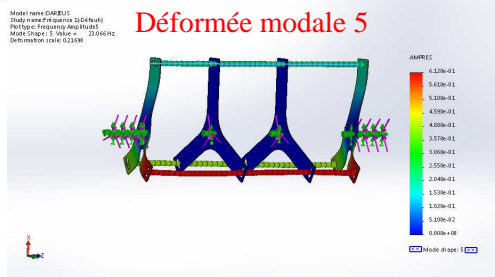
Déformée modale 3



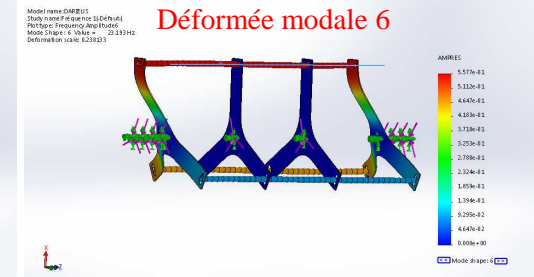
Déformée modale 4



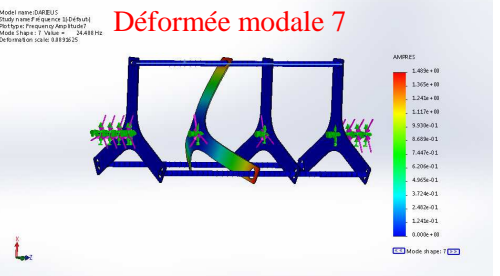
Déformée modale 5



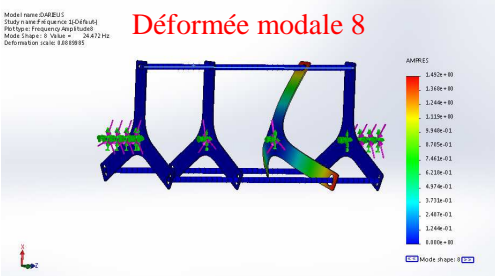
Déformée modale 6



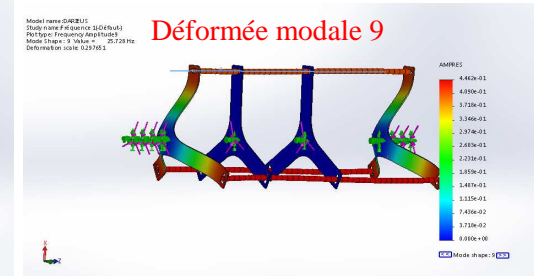
Déformée modale 7



Déformée modale 8



Déformée modale 9



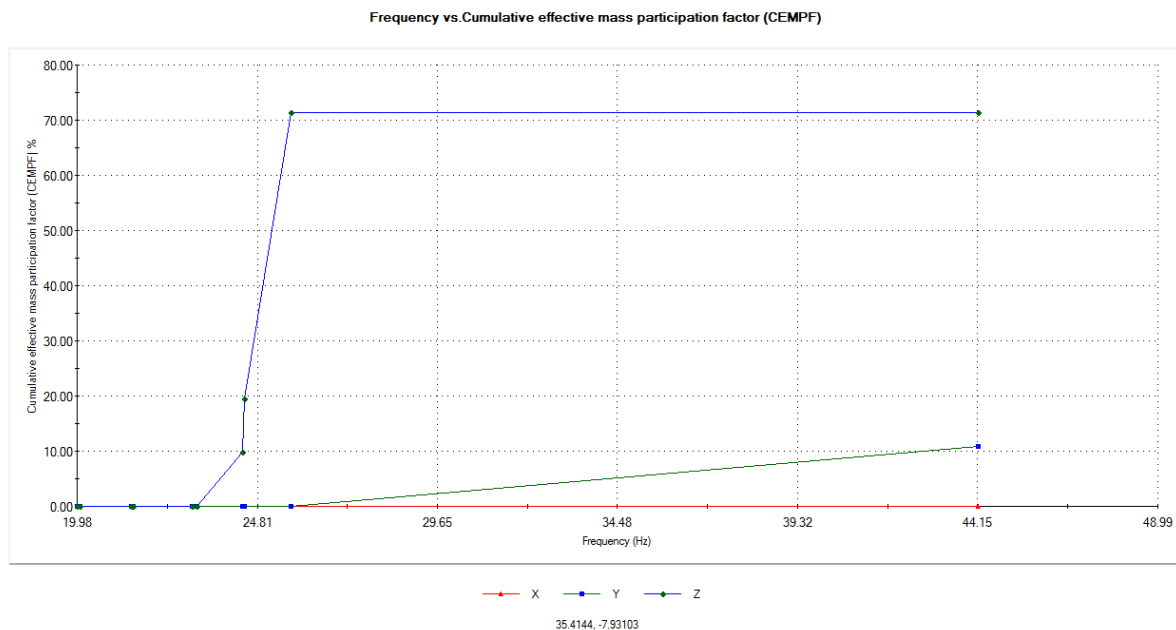
Déformée modale 10



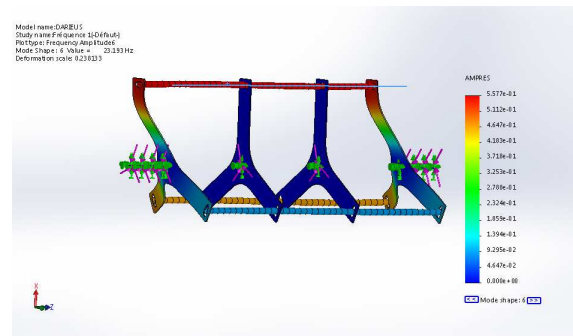
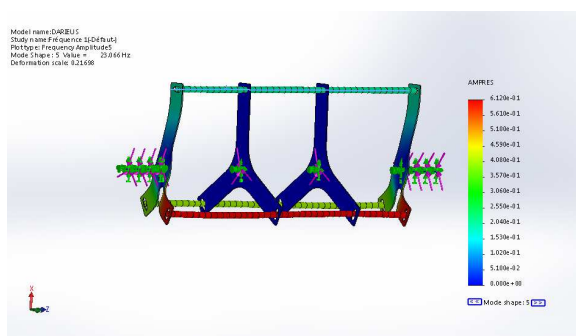
V. Analyse et exploitation des résultats

Analyse :

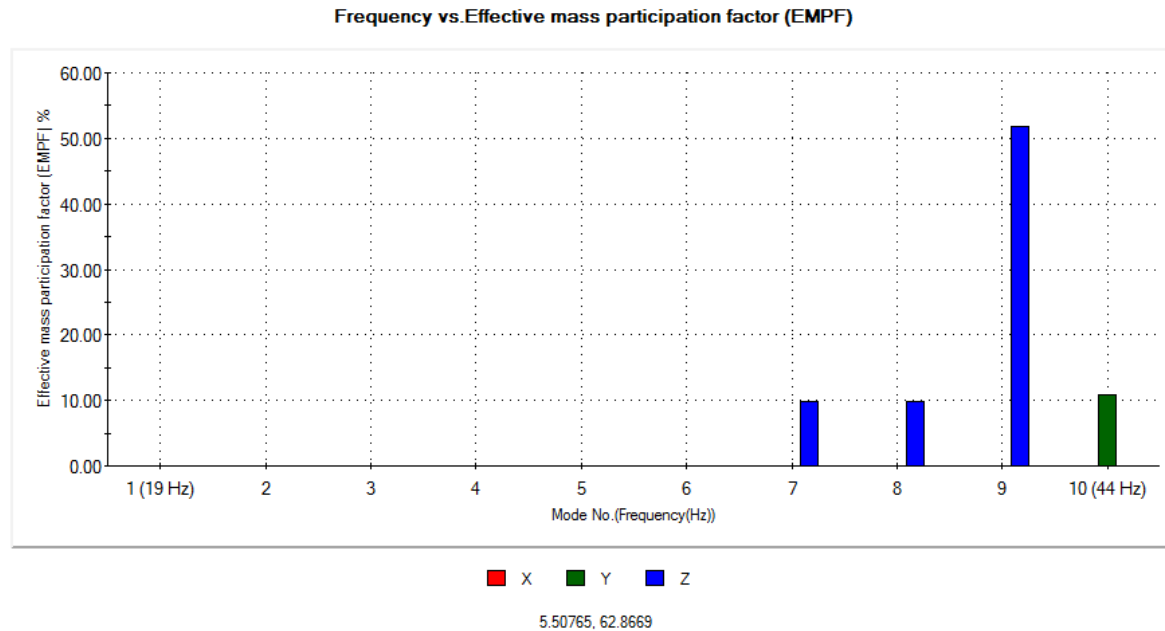
Pour l'analyse des résultats on utilisera le graphe de fréquences et cumul des facteurs de participation massique effective.



On remarque que contrairement à une réponse dynamique pour 5 modes avec 10 modes on capture correctement la réponse de la structure et cela s'observe à partir du 5^{ème} et du 6^{ème} mode.



Ces modes et les suivants montrent une participation de près de 80% de la masse du système dans les directions Y et Z. Ce qui est cohérent compte tenu des variations incessantes de charge aérodynamique sur les pales et les bras de l'éolienne. Cela est confirmé par :



On voit bien ici que l'énergie contenue dans les modes à partir du 5^{ème} est très importante d'où très grande participation massique.

Les résultats tels qu'ils apparaissent sont concluants dans la mesure où on a une réponse cohérente du système : la réponse dynamique est correcte.

Interprétation des résultats

A la présentation nous avons présenté des réponses dynamiques de la structure pour 5 modes et on avait eu des résultats pas très convaincants en termes de participation massique. En exploitant le graphe de fréquences et cumul des facteurs de participation massique effective nous sommes dis que 10 modes nous permettrons d'approcher un bon pourcentage de participation qui refléterai bien la réalité.

Ces résultats montrent clairement que la structure admet des points de divergence qui peuvent entrainer la rupture. C'est le cas du 10^{ème} mode.

Conclusion

Ce projet nous a permis de travailler sur une problématique pertinente et déterministe pour notre formation. A travers tous nos travaux nous avons pu nous familiariser, avec plus amples de détails, le logiciel SolidWorks. Par ailleurs, le travail en binôme a été d'une importance capital et bénéfique dans mesure où les tâches ont été réparties. Le bilan est concluant bien qu'on n'ait pas atteint tous nos objectifs. Le plus important a été l'analyse fréquentielle.

Cette étude est indispensable en dimension réel dans un cadre d'économie et d'appréhension préliminaire du comportement d'une structure qui doit respecter un cahier des charges pour un fonctionnement productif.

Après cette étude, existe-t-il un moyen de suivre la dynamique de la structure en dimensions réelles ? Après combien de temps est faite sa maintenance ?

Problèmes rencontrés

{1} : Interférences entre les pièces

{2} : Géométrie des pales : dimensions de la conception non respectées

{3} : Problèmes dans l'assemblage les pièces présentaient des géométries non prises en charge par le maillage

{4} : Etude dynamique : problème du solver.

Bibliographie

[1] : L'analyse vibratoire appliquée aux éoliennes : http://www.blogree-ac-reims.com/pages/Lanalyse_vibratoire_appliquee_aux_eoliennes-1115349.html

[2]: Vibratory analysis of vertical wind turbine:
https://mro.massey.ac.nz/bitstream/handle/10179/4775/02_whole.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[3] : Etude statique et vibratoire d'un bâti avec SolidWorks | A-S3D :
<https://www.youtube.com/watch?v=bNvGjFtHPdc&t=1365s>