N° Ordre...../DGM/FT/UMBB/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de BOUMERDES

Faculté de Technologie

Département de Génie mécanique

Mémoire de fin d'études

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

EN GENIE MECANIQUE

OPTION : CONSTRUCTION MECANIQUE

Thème :

Etude et vérification de l'arbre d'hélice et de la plaque du pont du navire dépollueur

Réalise par :

- **CHERTOUK Yacine**
- **BENZAHI Bakir**

Promoteur par :

Mr.BENSEFIA Abdelmalek

Promotion 2020/2021

Résumé

Nous présentions dans ce mémoire une description d’un navire antipollution et nous exposons une étude de vérification de deux parties de ce navire qui sont :

L’arbre d’hélice et la plaque du pont.

Cette vérification repose sur deux logiciels : Solidworks et Ansys.

Abstract

We present in this master graduation thesis and description of antipollution ship and we expose a study about the verification of two ship's part that are: the propeller shaft and the ship's deck This verification uses this two softwares : solidworks and ansys.

ملخص

نعرض في مذكرة التخرج دراسة شاملة للسفينة المضادة للتلوث.كما قمنا بدراسة جزئين منها هما:

عمود المروحة الحركة وقطعة من سطح السفينة على شكل لوحة.

في هذه الدراسة اعتمدناعلى تطبيقين للمحاكات هما: solidworks و ansys .

Remerciements :

Nous tenons à remercier ALLAH, le tout puissant de nous avoir donné courage et volonté pour accomplir ce modeste travail.

Nous remercions notre promoteur Monsieur **Bensefia Abdelmalek** de nous avoir guidés et encadrer tout le long de cette période de préparation du mémoire, et pour toutes les discussions intéressantes que nous avons eues.

D'une façon plus générale nous remercions l'ensemble de l'ERENAV (Entreprise de Réparation Naval) pour l'intérêt qu'ils nous ont porté tout au long de nous stage ainsi que les ingénieurs de Bureau d'étude pour leurs aide et précisions.

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous les enseignants sincères qui ont contribué à notre formation.

Nous exprimons toute notre gratitude envers nos chers parents qui nous ont encouragé et soutenu tout le long du cursus.

Dédicace

A ma chère mère **H. Hamama**

A mon chère père **Mohande-Amokrane**

Dont le méritées sacrifices mont permis de vivre ce jour.

A mes frères et mes sœurs.

A tous mes amies.

A mes enseignants.

Tout le respect et l'appréciation à vous.

CHERTOUK Yacine

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma chère mère, ma chère grand-mère et mon cher père pour leurs sacrifices illimités

A ma fiancée (A) et ma famille (BENZAHI et BENAMMOUR) qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant ces années d'études.

À mes amis et professeurs respectés qui m'ont appris de nombreux modes de vie

Que ce mémoire de fin d'études soit le meilleur cadeau que je puisse vous offrir

BENZAHI Bakir

Table des matières:

Liste des figures : V
Liste des tableaux : VII
Introduction générale 1
Chapitre I : Définition de navire (dépollueur). 3
1. Généralité : 4
2. Caractéristique générales : 5
3. Disposition générales : (la coque) 6
a. Echantillonnage de la coque : 6
b. Prise d'eau de mer : 6
c. Peinture : 6
d. Surfaces galvanisées : 6
e. Autres éléments : 6
f. Protection Cathodique : 7
4. Equipement de pont : 7
a. Cabine de commande : 7
b. Défenses : 8
c. Système d'amarrage : 8
d. Equipement de mouillage : 8
5. Propulsion machinerie : 8
a. Différents modes de propulsion : 8
i. Propulsion par ligne d'arbre d'hélice / direct drive : (APH) 9
ii. Propulsion par arbre en V / V drive : 9
iii. Propulsion Sterndrive / Z drive : 9
iv. Propulsion Sail Drive : 10
v. Propulsion hydraulique : 10
vi. Propulsion électrique : 11
vii. Propulsion hybride : 12
b. Motorisation : 12
c. Réducteur/Inverseur : 13
d. Arbre d'hélice : 13
e. Paliers des arbres hélice : 13
f. Tube d'étambot : 13
g. L'hélice : 13
h. Commande du moteur : 13
6. Système de gouverne : 14
a. Installation de gouvernail : 14
b. Système de gouvernail : 14
c. Appareil à Gouverner de Secours : 15

7. Système auxiliaires : 15
a. Pompes de cale : 16
b. Pompe de cale de secours : 16
8. Système de combustible : 16
a. Séparateur d'eau : 16
b. Réservoir à combustible : 16
9. Système de récupération : 16
a. Bras de balayage : 17
b. Collecte de macro déchets : 17
c. Récupération des hydrocarbures : 17
d. Equipement de service : 17
e. Le dessin qui définit le fonctionnement de ce navire : 18
10. Installation électrique : 19
a. Description générale : 19
b. Alternateur : 19
c. Feux de Navigation : 19
d. Système d'alarme : 19
11. Equipement de sécurité et de sauvetage : 19
a. Bouées et gilets de Sauvetage : 19
b. Ancre-chaine d'ancre : 20
c. Autres équipements : 20
d. Divers: 20
Chapitre II : Etude de l'arbre de transmission. 21
Partie 1 : théorique 22
a. Flexion : 22
1. Définition du moment fléchissant et de l'effort tranchant en un point de la poutre : 22
2. Contrainte d'extension et de compression en un point d'une section droite : 24
3. Condition de résistance à la flexion : 24
4. Application numérique : 24
- **Équation d'équilibre statique :** 25
- **Degré d'hyperstatique :** 25
- **En utilise la méthode de superposions pour calcule (Rb) :** 25
- **Calculer moment fléchissant :** 26
- **Calcule de contraint de l'arbre :** 26
- **Calcule l'énergie de déformation :** 27

b. Traction : 27
1. Exemples de pièces soumises à des efforts d'extension : 27
2. Contrainte normale dans une section droite d'une barre soumise à des efforts d'extension : 28
3. Condition de résistance à l'extension : 29

4. **Application numérique :** 29
- **Calcule contraint de traction :** 29
- **Calcule l'énergie de déformation :** 29

c. **Torsion :** 30
1. **Exemples de corps sollicités à la torsion :** 30
2. **Contrainte maximale de glissement :** 30
3. **Condition de résistance à la torsion :** 31
4. **Application numérique :** 31
- **Calcule contraint de torsion :** 31
- **Calcule l'énergie de déformation :** 32
- **Calcule contrainte équivalente de Tresca :** 32
- **Calcule contrainte équivalente de Von Mises :** 32

Partie 2 : simulation 32

a. **Conception de l'arbre :** 32
b. Systèmes de coordonnées : 33
c. **Mise en plan :** 33
d. **Les étapes de conception :** 34
e. **Simulation :** 37
i. **Les étapes de la simulation :** 37
i.1 Appliquer un matériau : 37
- **Propriétés acier inoxydable :** 37
- **Elasticité isotrope :** 38

i.2 Structure statique :....38
i.3 Création du maillage : (**Figure 26**)....39
ii. **Les résultats obtenus :** 40
- Déplacement total :....41
- Déplacement directionnel sur x:....42
- Déformation élastique équivalente :....43
- Contrainte équivalente :....44

iii. **Résultats obtenue de contrainte :** 46
- **Interprétation :** 46

iv. **Résultats obtenue de déplacement :** 47
- **Interprétation:** 47

v. **Résultats obtenue de déformation :**....48
- **Interprétation:** 48

vi. **Coefficient de sécurité :** 49
vii. **Assemblages :**....49
viii. **Définition de chaque pièce assemblée :**....50

Conclusion : 51
Chapitre III : Etude de la plaque mince du pont. 52
Partie 1 : théorique 53
a. **Définition d'une plaque :** 53
b. **Champs des déformations - Relations cinématiques :** 53
c. **Champs des contraints :** 54
d. **Equations d'équilibre d'une plaque :** 54
e. **Equation gouvernante de la flexion des plaques :** 56
f. **Méthode d'analyse le problème des plaques :** 56
g. **Remarque :** 57
h. **L'élément finis pour la flexion des plaques :** 57
- **Forces nodales et déplacements :** 57
Partie 2 : simulation 59
a. **Données relatives de matériau :** 60
- **AL5083H111 :** 60
- Elasticité isotrope : 61
b. **Géométrie :** 61
c. **Systèmes de coordonnées :** 62
d. **Maillage :** 62
e. **Structure statique :** 63
f. **Solution :** 64
- Résultats contrainte : 65
- Moment de réaction : 66
g. **Résultats obtenue de contrainte (Von mises) :** 66
h. **Résultats obtenue du déplacement :** 67
i. **Résultats obtenue de la déformation :** 67
Conclusion générale 70
Conclusion générale : 71
Annexe : 72
Références bibliographique : 79

Liste des figures :

Chapitre I :

Figure 1 : Navire antipollution (dépollueur). 5
Figure 2: Propulsion par ligne. 9
Figure 3 : Propulsion par arbre. 9
Figure 4 : Propulsion Sterndrive 10
Figure 5: Propulsion Sail Drive. 10
Figure 6 : Propulsion hydraulique. 11
Figure 7 : Propulsion électrique. 11
Figure 8 : Propulsion hybride. 12
Figure 9 : Equipment de navire (dépollueur) 14
Figure 10 : En mode de déplacement. 18
Figure 11 : En mode de récupération des macros déchets. 18
Figure 12 : En mode de récupération des déchets solides et liquides. 18

Chapitre II :

Figure 13 : Poutre encastrée a une extrémité. 23
Figure 14 : arbre avec un effort de flexion. 25
Figure 15 : Le fil AB donne l'image d'une fibre tendue. 27
Figure 16 : Sous l'action de l'effort N et de la réaction de l'encastrement, les fibres parallèles a l'axe x'x s'allongent d'une longueur *l*. 28
Figure 17 : Pour maintenir l'équilibre du tronçon isolé A, il faut appliquer sur la section CD des force ; *f* normales a cette section. 28
Figure 18 : Arbre avec un effort de traction 29
Figure 19 : La barre MN se tord sous l'action des couples (F, F') (F_1, F_1') de sens contraires. 30
Figure 20 : arbre avec un effort de torsion. 31
Figure 21 : Extrusion d'un cercle qui forme un arbre. 34
Figure 22: Création des formes pour enlèvement et extrusion de matière. 35
Figure 23: L'arbre à sa forme finale. 36
Figure 24: Application des forces sur l'arbre 39
Figure 25 : Fixation de l'arbre 39
Figure 26 : L'arbre après le maillage. 40
Figure 27 : Diagramme de déplacement total 42
Figure 28 : Diagramme de déplacement directionnel. 43
Figure 29 : Diagramme de déformation élastique équivalente. 44
Figure 30 : Diagramme de Contrainte équivalente. 45
Figure 31 : Diagramme de Contrainte. 46
Figure 32 : Diagramme de déplacement. 47
Figure 33 : Diagramme de déformation. 48
Figure 34 : Diagramme de coefficient de sécurité. 49
Figure 35 : Organigramme pour le système de propulsion. 50

Chapitre III :

Figure 36 : Résultantes positives et charge sur un élément de plaque 55
Figure 37 : Système de charge correspondant. 58
Figure 38 : Conception de la plaque2D. SOLIDWORKS 59
Figure 39 : Conception de la plaque3D. SOLIDWORKS 60
Figure 40 : Maillage de la plaque. ANSYS 62
Figure 41 : La force supposée sur la plaque et l'encastrement en quatre bords. 64
Figure 42 : Contrainte de la plaque. 66
Figure 43 : Déplacement de la plaque. 67
Figure 44 : Déformation de la plaque. 68

Figure 45 : Structurer longitudinal 69
Figure 46 : Structurer transversal 69
Figure 47: Mise en plan le vis..... 72
Figure 48: Mise en plan le tube d'étambot. 73
Figure 49 : Mise en plan la chaise palier. 74
Figure 50: Mise en plan l'arbre de transmission..... 75
Figure 51: Mise en plan le frein l'hélice..... 76
Figure 52: Mise en plan l'hélice. 77
Figure 53 : Mise en plan la plaque..... 78

Liste des tableaux :

Chapitre II :

Tableau 1: Système de coordonnées. 33
Tableau 2: Dimensionnement de l'arbre de transmission. 36
Tableau 3: Constants d'Acier inoxydable. 37
Tableau 4: Elasticité d'Acier inoxydable**.** 38
Tableau 5: Structure statique. 38
Tableau 6: Maillage 39
Tableau 7: Résultats. 40
Tableau 8: Déplacement total. 41
Tableau 9: Déplacement directionnel. 42
Tableau 10: Déformation élastique équivalente. 43
Tableau 11: Contrainte équivalente 44

Chapitre III :

Tableau 12 : Constants de matériaux AL5083H111. 60
Tableau 13 : Elasticité isotrope. 61
Tableau 14 : Constants de géométrie. 61
Tableau 15 : Système de coordonnée. 62
Tableau 16 : Maillage 63
Tableau 17 : Structure statique. 63
Tableau 18 : Résultat. 64
Tableau 19 : Suite Résultat 65
Tableau 20 : Résultats de contrainte. 65
Tableau 21 : Moment de réaction 66

Introduction générale

Introduction générale :

La pollution maritime est devenue un véritable calvaire à cause les ordures naturelles et les déchets des navires qui sont considéré comme des déchets industriels. Dans le cadre d'amélioration de l'environnement aux niveaux des eaux coutiers et les ports et les eaux abritées, L'entreprise de réparation et construction navale (ERENAV) a lancé l'étude et réalisation d'un navire antipollution (dépollueur) qui sert au relevage des eaux des déchets liquides comme l'huile, fuel et gasoil etc. et déchets solides comme le bois, le plastique etc.

L'étude de ce projet est réalisée conformément à la règlementation maritime BV (Bureau Veritas) et OMI (Organisation Maritime Internationale).

Lors des manœuvres et de son exploitation, le navire antipollution est soumis à plusieurs contraintes internes et externes. Ceci a conduit l'entreprise de réparation et construction navale (ERENAV) à une étude et réalisation qui assure le bon fonctionnement dans toutes les conditions.

Notre travail consiste à l'étude et à la vérification d'une partie essentielle du dépollueur la plaque du pont et le système de propulsion de L'engin. On se basera sur les deux logiciels de conception et de simulation SOLID-WORKS et ANSYSY pour réaliser ces études.

Ce mémoire s'articule sur trois chapitres :

On trouve dans le premier chapitre une description générale du navire antipollution réalisé par ERENAV.

Le chapitre deux est consacré à l'étude de l'arbre de transmission. Nous présentons une simulation via les logiciels SOLID-WORKS et ANSYS, les résultats obtenus nous permettent la vérification de cet élément.

Une étude de la plaque du pont du dépollueur fera l'objet du troisième chapitre.

Chapitre I : Définition de navire (dépollueur).

Chapitre I : Définition de navire (dépollueur).

1. Généralité :

L'engin est destiné aux opérations de récupération des déchets solides et des déchets liquides flottants même dans les endroits les plus difficiles d'accès.

L'engin sera conçu, armé et équipé pour assurer ces missions dans les meilleures conditions de fiabilité, d'efficacité, de confort et de sécurité pour l'équipage.

Les aménagements et la disposition des équipements devront permettre un accès facile et sûr aux parties susceptible de faire l'objet d'entretien, de réparation et de maintenance.

L'engin propose sera livré entièrement équipé et apte à la navigation et devra respecter les normes et la réglementation applicable en matière de construction navale en vigueur.

L'engin proposé sera construit conformément aux règlements et conventions, ainsi qu'à tous leurs amendements en vigueur à la date de la signature du contrat et sous le contrôle de l'expert désigné par l'armateur.

Les plans de construction ainsi que les caractéristiques indispensables relatifs à la coque, au matériel d'armement et aux machines prévus par les règlements ainsi que tous les documents exigés par l'Autorité Maritime préalablement visé par celle-ci, seront transmis par le chantier naval à l'Armateur.

Préalablement au commencement des travaux, l'Armateur déposera auprès de l'Autorité Maritime le dossier complet pour son instruction et sa validation.

Les principales exigences auxquelles doivent satisfaire l'étude, la conception, la construction et les équipements énumérés dans le présent cahier des charges, ne doivent en aucun cas être considérées comme exhaustives.

Le chantier naval prendra en charge tout ce qui n'a pas été spécifiquement mentionné, de façon à se conformer en tout point aux exigences d'Autorité Maritime, aux normes internationales applicables pour ce type de construction, d'armement, de sécurité.

Chapitre I : Définition de navire (dépollueur).

2. Caractéristique générales :

Longueur hors tout (avec défenses)	9.1	M
Longueur hors tout (sans défenses)	8.50	M
Largeur hors tout (avec défenses)	2.75	M
Largeur hors tout (sans défenses)	2.55	M
Tirant d'eau	0.9	M
Creux	1.48	M
Déplacement	3.3	Tonnes
Vitesse de déplacement	06	Nœuds
Vitesse de travail	0-2	Nœuds
Capacité de stockage de macro déchets	0.9	m^3
Capacité de stockage d'hydrocarbures	500	Litres

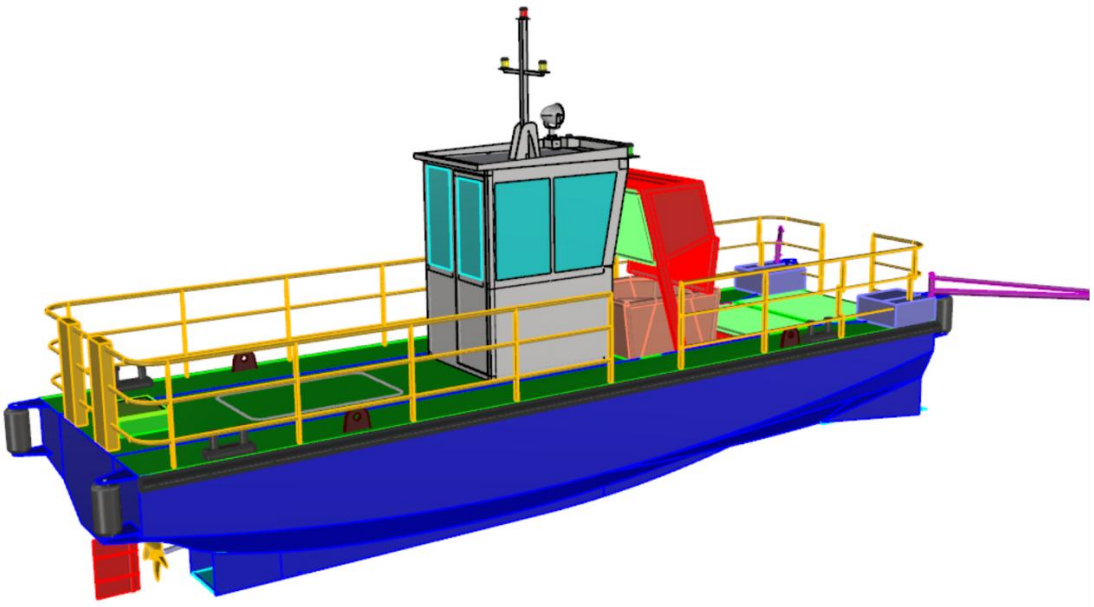


Figure 1 : Navire antipollution (dépollueur).

3. Disposition générales : (la coque)

La coque sera entièrement construite en aluminium type marin, certifiée. Le chantier présentera les certificats de tôles et profilés.

a. Echantillonnage de la coque :

Les différentes épaisseurs et profilés seront conformes à la réglementation et seront détaillés sur les plans de construction.

Le pont sera en tôles aluminium striées (anti dérapant).

b. Prise d'eau de mer :

Une prise d'eau de mer de refroidissement intégrée dans la construction du fond de la coque.

c. Peinture :

La peinture est type marine de marque ENAP. Le processus, les différentes épaisseurs des couches de peinture sont homologués par l'Autorité Maritime.

La peinture sera appliquée conformément aux recommandations de l'ENAP et sous sa surveillance.

La préparation de surface sera réalisée selon les recommandations du fournisseur.
Avant que les travaux de peinture soient entrepris, les surfaces doivent être préparées.

La coque sera nettoyée et débarrassée des écaillures puis revêtue d'une couche primaire.

La composition de la couche ne doit avoir aucun effet négatif sur tout travail de soudure ultérieur et doit être compatible avec les peintures ou autres revêtements appliqués ultérieurement.

d. Surfaces galvanisées :

Les surfaces galvanisées seront dégraissées et revêtues d'une couche de peinture primé avant l'application des peintures de surface.

e. Autres éléments :

Toutes les parties éventuellement endommagées par les travaux de soudure seront nettoyées mécaniquement et retouchées au primer.

f. Protection Cathodique :

Une protection cathodique par anodes adéquates est prévue sur toutes les parties de la coque, y compris l'hélice.

Les anodes seront fixées par boulons dont leur durée de protection sera de 24 mois. Un plan de disposition de la protection cathodique sera fourni.

4. Equipement de pont :

a. Cabine de commande :

La cabine de commande sera installée dans l'axe de l'engin de manière à assurer une visibilité tout azimut au conducteur sans gêner les opérateurs dans l'exercice des opérations et la manipulation des équipements.

La disposition efficace de la cabine offre une vue dégagée dans toutes les directions, elle sera conçue de façon à éviter les avaries dues au roulis lors des manœuvres.

L'échantillonnage de la cabine sera conforme aux prescriptions de la construction navale en vigueur.

La cabine comportera des fenêtres en verre trempé sur châssis en aluminium anodisé suivantes :

- À l'avant.
- De chaque côté ouvrantes.

Un essuie-glace sera mis en place, avec interrupteurs sur le tableau de bord.

Les fenêtres avant de la timonerie seront pourvues d'un système de lave-glaces à l'eau douce, constitué de :

- Un réservoir d'eau douce.
- Une pompe électrique 24 V.
- Gicleurs à chaque fenêtre. La porte d'accès sera étanche.

La porte de la cabine sera installée dans la cloison arrière de la cabine au niveau centrale.

Les vaigrages, cloisons de séparation et plafonds seront en contreplaqué marine lamifié plastique avec profilés d'aluminium aux angles.

La cabine sera équipée d'un pupitre et recevra tous les organes de conduite et de contrôle des équipements et appareils.

A l'intérieur de la cabine le sol sera recouvert d'un revêtement ignifuge et les parois seront recouvertes d'un isolant thermo acoustique homologué et approuvé.

Un espace de rangement sera prévue (pavillon, boite de pharmacie.

b. Défenses :

Défenses d'accostage :

- Quatre (04) rouleaux verticaux installés aux coins permettant le travail le long des quais. (Diamètre de200 mm, longueur)=400.

- Deux (02) défenses latérales longitudinales de type DELTA (100 mm X 100 mm) Td Bd.

c. Système d'amarrage :

L'amarrage d'un navire est la dernière phase d'une manœuvre d'accostage. L'amarrage consiste à le maintenir contre un quai ou un ponton, à l'aide d'aussières (ou amarres), longs cordages de diamètres variables selon la taille du navire, capelées d'une part au quai sur des bittes ou des anneaux, et d'autre part sur le navire, à l'avant et à l'arrière.

Les moyens d'amarrage seront prévus pour l'accostage approprié :

- Une (01) bitte double de chaque côté à l'avant (Bd, Td)
- Une (01) bitte double de chaque côté à l'arrière (Bd, Td)

d. Equipement de mouillage :

L'équipement de mouillage sera conforme aux prescriptions de la réglementation de la construction navale.

5. Propulsion machinerie :

a. Différents modes de propulsion :

La propulsion désigne l'ensemble des systèmes permettant aux bateaux de se déplacer. Il y existe différents types de propulsion :

i. **Propulsion par ligne d'arbre d'hélice / direct drive : (APH)**

Système d'entraînement classique et direct où la puissance impulsée par le moteur est entraînée dans l'arbre puis dans les hélices. La puissance du moteur est en grande partie retranscrite à l'hélice. Mode de propulsion simple. Voire **la figure 2**

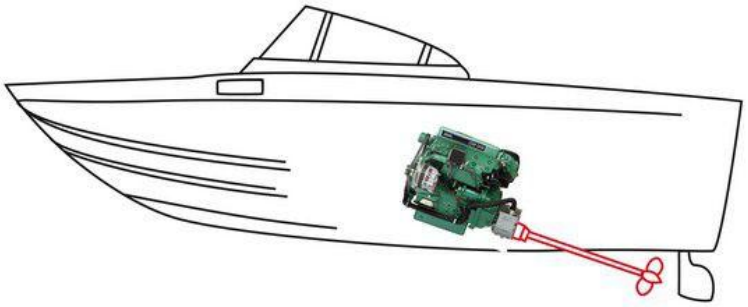


Figure 2: Propulsion par ligne.

ii. **Propulsion par arbre en V / V drive :**

Cette configuration permet de déporter le moteur à l'arrière du bateau libérant ainsi un espace habitable plus grand. Vue en coupe, la transmission se fait en V du moteur à l'hélice. La différence technique avec la propulsion classique est l'installation d'un inverseur spécifique au v drive. Voire **la figure 3**

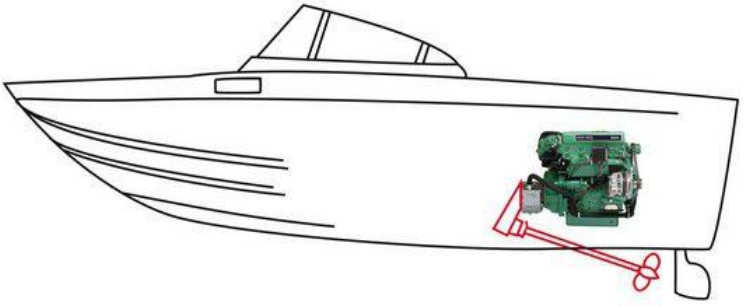


Figure 3 : Propulsion par arbre.

iii. **Propulsion Sterndrive / Z drive :**

La partie directionnelle hors-bord (l'embase) transmet la puissance du moteur in-bord vers le bas jusqu'à l'hélice qui se trouve dans l'eau. Mode de propulsion orientable qui ne nécessite donc pas de gouvernail. Vue en coupe, la transmission se fait en Z du moteur à l'hélice. Voire **la figure 4**

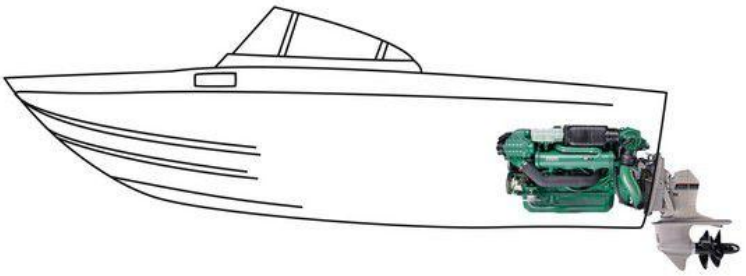


Figure 4 : Propulsion Sterndrive.

iv. Propulsion Sail Drive :

Système de transmission composé d'un moteur et d'une ligne d'arbre d'hélice horizontale.

Comme son nom l'indique, ce type de propulsion est particulièrement adapté aux moteurs de voiliers. Relativement similaire à la transmission Z drive sauf que le Sail Drive est bloqué dans une position unique. Sur un voilier, le système dispose régulièrement d'une hélice à pales repliables. Voire **la figure 5**

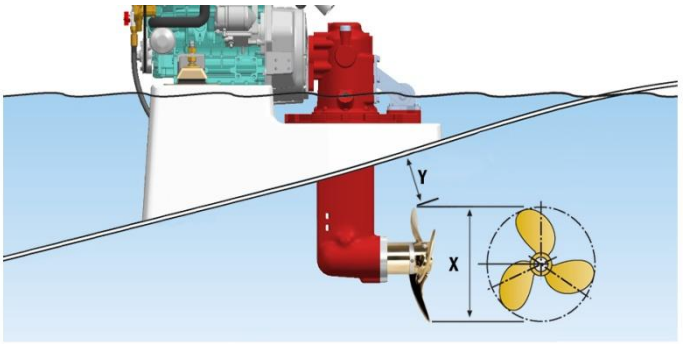


Figure 5: Propulsion Sail Drive.

v. Propulsion hydraulique :

L'hydraulique permet la transmission d'une énergie à distance au moyen d'un liquide. L'énergie est fournie par le moteur (thermique ou électrique), qui entraîne une pompe. Cette dernière pulse l'huile dans un circuit qui à son tour actionne le moteur hydraulique. Ce système permet beaucoup de flexibilité au niveau de l'installation, mais génère une perte d'environ 25% sur la puissance par rapport à un mode de propulsion classique. Voire **la figure 6**

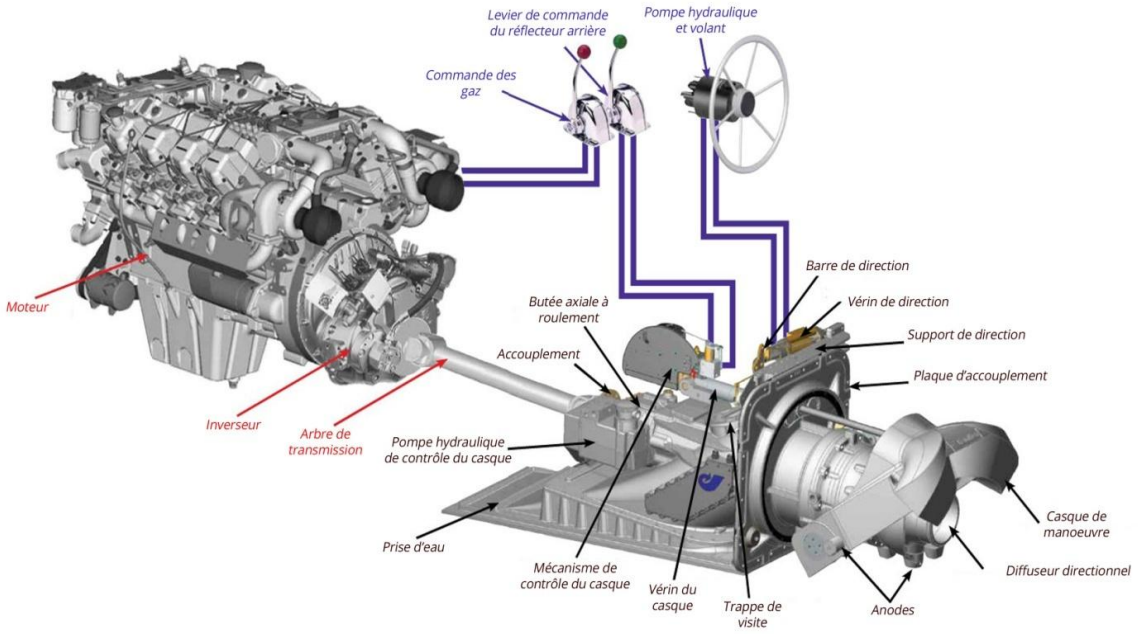


Figure 6 : Propulsion hydraulique.

vi. Propulsion électrique :

Motorisation électrique. Solution respectueuse de l'environnement avec des besoins minimes en entretien (10 fois moins de pièces que sur un moteur thermique). Le marché du bateau électrique reste marginal, notamment à cause de l'investissement de départ. Voire **la figure 7**

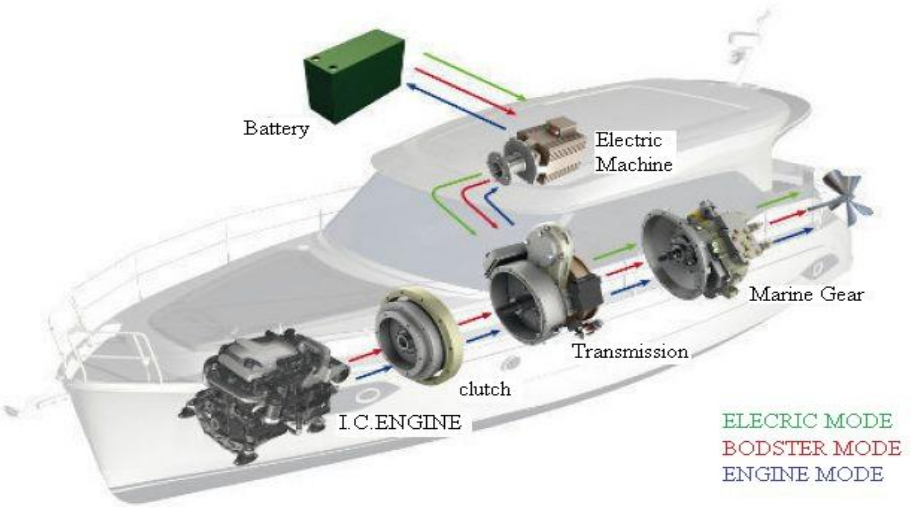


Figure 7 : Propulsion électrique.

vii. Propulsion hybride :

En série : la motorisation électrique entraîne l'arbre d'hélice pendant que le moteur thermique fournie un générateur qui recharge les batteries. Le moteur électrique permet le déplacement du bateau, alors que le moteur thermique prend la fonction d'un groupe électrogène. Parallèle : deux moteurs (électrique et thermique) reliés à la transmission, les mouvements des deux moteurs sont raccordés au même arbre. Voire **la figure 8.**

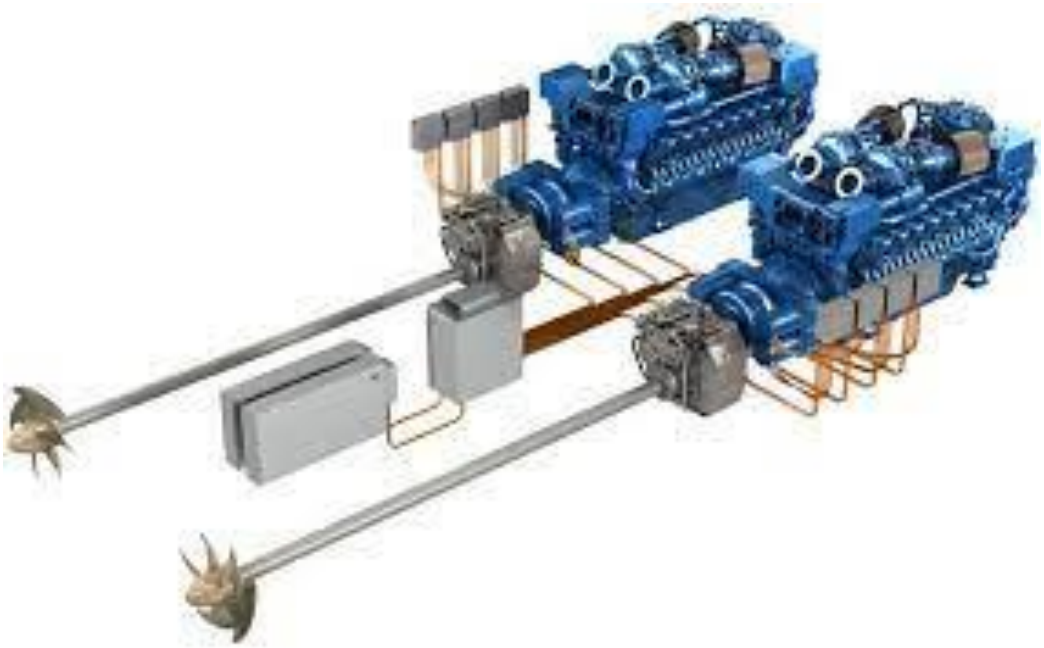


Figure 8 : Propulsion hybride.

A Caus de la forme de coque et la méthode de fonctionnement, On utilise dans ce navire le système de propulsion **APH** (arbre port hélice)**.**

b. Motorisation :

- Le moteur diesel de marque VOLVO, de type D3-150.
- La puissance de moteur 150 ch (110 kW), avec régime maximal de 3000 tr/min.
- Le moteur sera refroidissement à démarrage électrique par batterie, avec alternateur de charge, système de refroidissement à circuit fermé réfrigéré à l'eau technique (glaceol+ eau distille), disposant de tous les manomètres et de toutes les alarmes (sonores et lumineuses) et sécurités obligatoires :
- Pression d'huile moteur et réducteur/inverseur.
- Température d'eau de refroidissement.

- Compteur horaire.
- Basse pression d'huile,
- Haute température d'eau de réfrigération.
- Niveau de liquide refroidissement bas.

Avec une extension vers le pupitre de commande.

L'échappement sera doté d'un silencieux et sera de type humide. La dépose hors de l'engin, du moteur et des autres équipements sera s'effectuer facilement sans qu'on puisse toucher au poste de commande.

c. Réducteur/Inverseur :

Un (01) réducteur/ inverseur de marque ZF.

Un réducteur/ inverseur est une boite de vitesse avec une marche avant, une marche arrière et un point mort.

À l'origine plutôt bruyant et souvent brutal, la technologie des commandes électriques puis électroniques (largement implémenté sur les hors-bord) a permis des changements de sens de marche souple et confortable, un vrai grand progrès en termes d'utilisation.

d. Arbre d'hélice :

L'arbre reliant le moteur principal à l'hélice sera en acier inoxydable.

e. Paliers des arbres hélice :

L'arbre reposera sur des paliers hydroclubs.

f. Tube d'étambot :

Le tube d'étambot sera soudé à la construction de la coque et à la fausse quille.

g. L'hélice :

L'hélice en alliage d'aluminium sera composée de 3 pales à pas fixes, elle sera dimensionnée pour observer le couple nominal du moteur diesel en pleine charge.

h. Commande du moteur :

L'ensemble moteur et inverseur/réducteur sera commandé par manette unique située sur la console de commande.

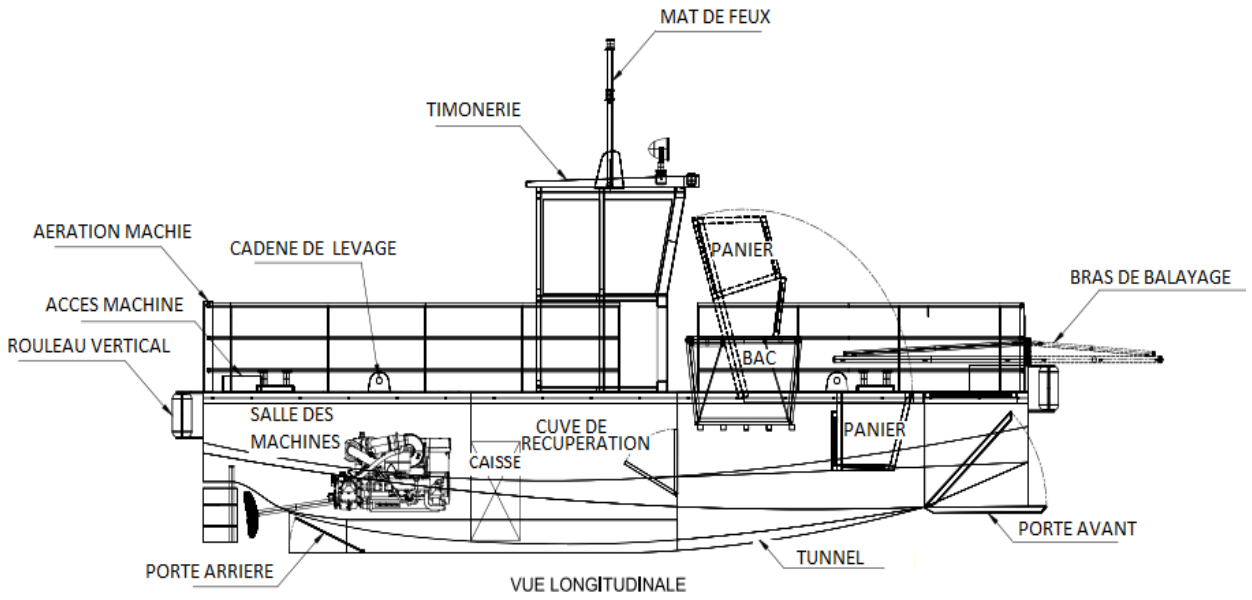


Figure 9 : Equipment de navire (dépollueur).

6. Système de gouverne :

Le gouvernail est un ensemble constitué par :

- une surface immergée appelée safran pouvant générer une force latérale, généralement mobile en rotation autour d'un axe sensiblement vertical,
- un prolongement hors de l'eau servant au contrôle en rotation du safran : la mèche de gouvernail (axe physique), la partie haute d'un safran extérieur,
- un levier de commande : actionnée manuellement (barre franche) ou mécaniquement par des câbles ou des vérins (palonnier).

Les gouvernails sont souvent placés dans le jet de l'hélice, ce qui augmente leur efficacité en marche avant (utilisation principale).

a. Installation de gouvernail :

Un système de gouverne adéquat.

b. Système de gouvernail :

Le système de gouverne sera de type hydraulique. La tuyauterie de liaison sera en acier sans soudure reliant les éléments hydrauliques et la pompes.

Une barre de conduite en inox sera placée sur l'axe central du poste de commande et actionnera la pompe hydraulique à gouverner.

c. **Appareil à Gouverner de Secours :**

Une barre franche de secours sera doubler ale système hydraulique en cas de défaillance.

7. Système auxiliaires :

Les systèmes d'assèchement et de détection du niveau des eaux de cale sont des dispositifs de sécurité importants sur tous les navires.

Les systèmes d'assèchement des cales sont conçus pour parer aux dangers inhérents à la conception des navires et aux utilisations qu'on en fait.

Les systèmes d'assèchement des cales sont habituellement faciles d'accès pour l'entretien.

Il existe des dispositifs qui permettent de détecter rapidement les niveaux d'eau dans toutes les cales et tous les espaces sous la ligne de flottaison qui ne sont pas visibles du poste de barre. Ils peuvent être équipés d'une alarme sonore commune et d'un voyant lumineux correspondant à chaque indicateur de niveau des eaux de cale.

Il existe des dispositifs qui permettent de déterminer si les systèmes d'assèchement des cales fonctionnent comme prévu et produisent les résultats voulus. Comme on ne peut pas toujours faire des essais dans l'eau, il n'est pas toujours possible de savoir si le système fonctionne comme prévu.

Il doit y avoir en place sur le bâtiment un programme d'entretien qui peut garantir que les systèmes d'assèchement des cales sont fiables;

Il devrait y avoir des méthodes d'exploitation en place qui exigent que les systèmes d'assèchement et d'alarme des cales soient mis à l'essai régulièrement;

Il devrait y avoir des pratiques d'exploitation en place qui prévoient que l'équipage reçoit la formation nécessaire sur les systèmes d'assèchement et d'alarme des cales et apprend à bien les connaître.

Selon les règles de l'art du matelotage, un bâtiment doit faire l'objet d'un entretien méticuleux et son équipage doit être au courant du statut de tous les systèmes du navire, notamment des systèmes de navigation, des machines et de tous les systèmes de sécurité, même dans le cas des petits bâtiments, où la marge de manouvre est beaucoup plus étroite que sur les gros navires.

a. Pompes de cale :

L'engin sera équipé d'une pompe de cale électrique de débit suffisant attelée au moteur avec alarme haut niveau d'eau de cale.

L'installation, la qualité de la pompe et la disposition du système de la tuyauterie, vannes seront conformes aux règles applicables dans la construction.

Unepompedecaleélectriquesubmersiblebaladeuseenlaitondedébitconséquentsera fournie.

b. Pompe de cale de secours :

L'engin sera équipé d'une pompe de cale de secours manuelle.

8. Système de combustible :

a. Séparateur d'eau :

Unséparateurd'eauseramontédanslecircuitd'alimentationencombustibledumoteur, avec alarme installée sur la console.

b. Réservoir à combustible :

Réservoir à combustible sera convenablement installé, doté d'une jauge apparente.

9. Système de récupération :

L'engin sera muni d'un dispositif de récupération des déchets solides et liquides:

Le système de récupération des déchets solides et liquides seront intégrés à la structure du navire par un bras de balayage forme rideau, escamotable à l'avant. Il sera composé:

- Bras de balayage forme rideaux (barrage flottant).
- Porte/rampe avant.
- Panier récupérateur des déchets solides (macro déchets).

- Bac de collecte des déchets solides (0.9 m^3).
- Cuve de récupération des déchets liquides.
- Caisse de collectes des déchets liquides (500L).
- Tunnel d'évacuation des eaux.

a. Bras de balayage :

Le navire sera équipé de bras disposés à l'avant de chaque côté, pouvant être rangés le long des garde-corps du navire. Une fois les bras déployés et mis à l'eau, ils permettront de multiplier la largeur de récupération des déchets. Les déchets pourront être redirigés par les bras vers l'entrée du système de récupération.

b. Collecte de macro déchets :

Lorsque le navire est placé en mode récupération, le moteur de propulsion sera utilisé pour créer un flux à travers le système, qui permet l'aspiration de tous types de déchets placés devant le navire, même dans les endroits dont les accès sont plus difficiles.

Les déchets solides seront alors arrêtés par le panier, qui peut être levé pour être vidé dans un bac de collecte placé sur le pont d'une contenance de 0.9 m3.

Les déchets liquides traverseront le panier pour arriver dans le séparateur d'hydrocarbures où ils seront stockés flottant.

c. Récupération des hydrocarbures :

Une séparation d'hydrocarbure sera par décantation dans la cuve de récupération des déchets liquides. Ces derniers seront stockés dans une caisse de collecte de 500 litres.

Tous les éléments mobiles nécessaires au fonctionnement du système de récupération seront presque tous déplacés par des vérins hydrauliques, qui seront actionnables par l'intermédiaire de joysticks placés en timonerie.

d. Equipement de service :

Une motopompe sera installée dans un coffre indépendant sur pont, pour le transfert des hydrocarbures et la lutte contre l'incendie.

e. Le dessin qui définit le fonctionnement de ce navire :

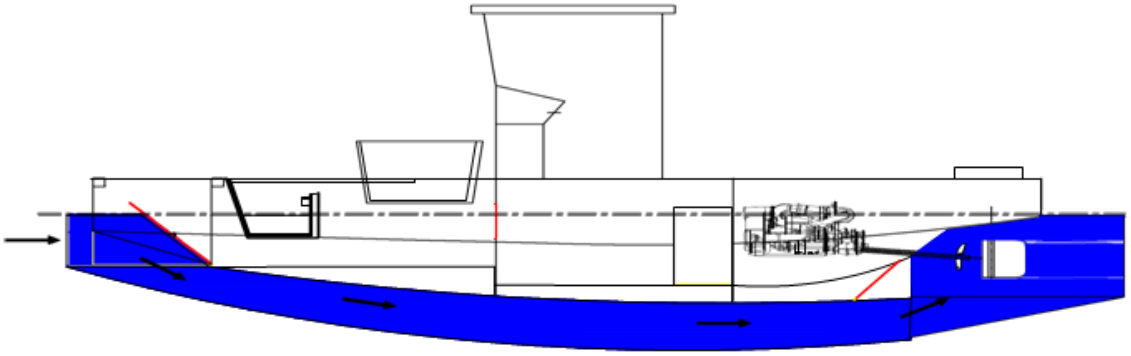


Figure 10 : En mode de déplacement.

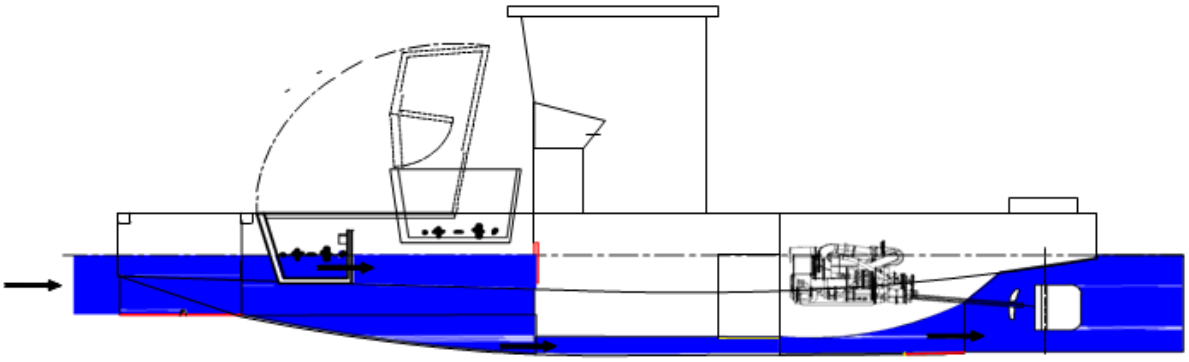


Figure 11 : En mode de récupération des macros déchets.

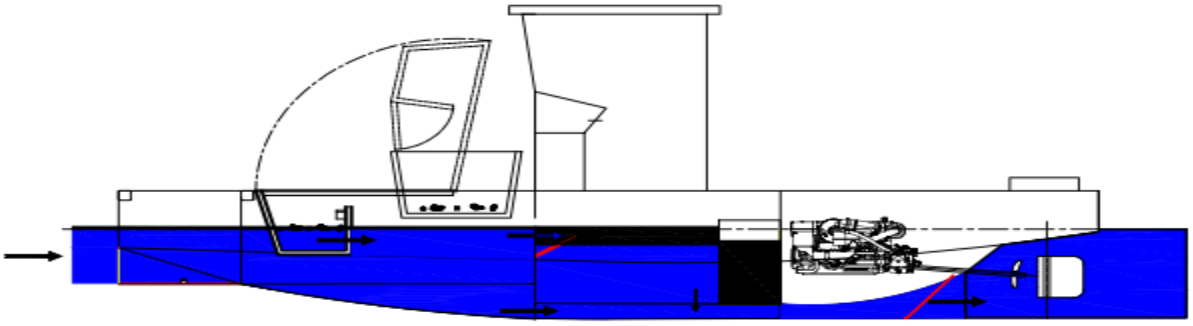


Figure 12 : En mode de récupération des déchets solides et liquides.

10. Installation électrique :

a. Description générale :

La conception et la disposition du système électrique seront conformes aux exigences des réglementations de construction navale, tous les câbles et équipements électriques conviennent à une installation marine et seront conformes aux exigences de sécurité et d'efficacité de l'engin.

Des notices seront fournies pour tout équipement électrique.

b. Alternateur :

Un alternateur attelé au moteur de propulsion alimentera le réseau de consommation et les batteries

c. Feux de Navigation :

Des feux de navigation seront commandés par les commutateurs du tableau et doivent être conformes à la réglementation COLEREG 72.

Les feux de mouillage, de route, capacité de manœuvre et un projecteur orientable etc.

d. Système d'alarme :

En cas d'anomalie, un voyant lumineux rouge individuel du système contrôle moteur s'allumera et un signal sonore retentira jusqu'à ce que le bouton de validation sera pressé, le signal sonore sera combiné pour les alarmes suivantes :

- Haute température eau de refroidissement.
- Basse pression d'huile du moteur.
- Bas niveau d'eau de refroidissement.
- Basse pression d'huile réducteur / inverseur.

Des voyants indépendants seront présents pour les alarmes :

- Présence d'eau dans le combustible.
- Haut niveau d'eau de cale.

11. Equipement de sécurité et de sauvetage :

a. Bouées et gilets de Sauvetage :

- Deux bouées de sauvetage seront marquées du nom et matricule de l'engin.

- Deux gilets de sauvetage «pilote» de nouvelle génération portant le nom de l'engin seront installés dans un coffret approprié conformes aux règles de la SOLAS.

b. Ancre-chaine d'ancre :

L'équipement de mouillage et les installations seront conformes aux prescriptions de la construction navale en vigueur.

- Ancre avec ligne de mouillage
- Aussières d'amarrage et de remorquage de longueur et de diamètre adéquat.

c. Autres équipements :

- Un avertisseur sonore électrique commandé par bouton-poussoir sera situé sur la console dans le poste de conduite.
- Une boite de pharmacie de type et composition réglementaires sera placée dans un endroit approprié.
- Une VHF marine fixe avec accessoires de marque renommée.
- Echo sondeur marine digitale.

d. Divers:

- Filins.
- Gaffe.
- Berceau tractable de mise à sec.
- Aussières en nombre suffisant.
- Panier salubre.

Chapitre II : Etude de l’arbre de transmission.

Chapitre II : Etude de l'arbre de transmission.

Après avoir présenté les différents éléments du dépollueur dans le chapitre précédent. Dans ce chapitre, On se penchera sur l'étude de la résistance de l'arbre d'hélice (arbre de transmission) de l'engin.

Un arbre d'hélice est un système mécanique reliant un moteur (Diesel, électrique...) à une hélice, permettant de la faire tourner. On l'appelle également arbre porte hélice ou ligne d'arbre dans le domaine maritime.

Sur un bateau, l'arbre d'hélice passe à travers la coque, et l'étanchéité à cet endroit est assurée par un presse-étoupe. Sur les grands navires, l'alignement de l'arbre d'hélice est un problème majeur posé aux ingénieurs. L'arbre est soutenu à plusieurs endroits par des supports fortement reliés à la coque, qui peut subir d'importantes déformations. L'arbre d'hélice est aussi lubrifié afin de minimiser les pertes d'énergie.

Le présent arbre est soumis à une sollicitation composée (traction + flexion + torsion) et a pour dimensions 1340 mm de longueur et 35 mm de diamètre.

Ce chapitre comporte deux parties :

Partie 1 : théorique

a. Flexion :

1. Définition du moment fléchissant et de l'effort tranchant en un point de la poutre :

Considérons la poutre de **la figure 13**, encastrée a une extrémité, et supportant les charges P_1 et P_2, verticales et de sens contraires.

Par une section droite CD, isolons le tronçon A du tronçon B. pour maintenir l'équilibre de ce tronçon A, il faut appliquer sur tous les éléments de surface de la section des forces telles que *f*, respectivement égales aux forces exercées par le tronçon B avant le sectionnement.

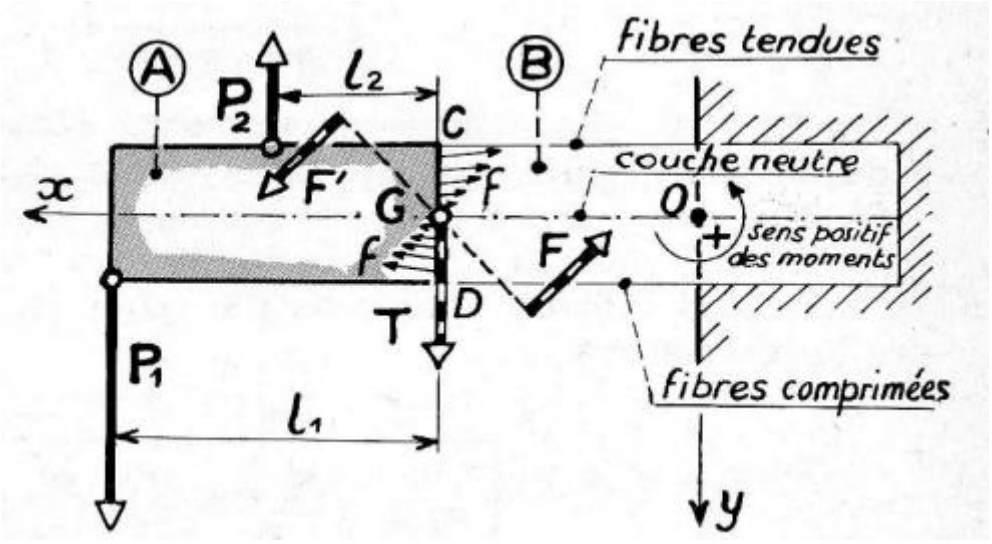


Figure 13 : Poutre encastrée a une extrémité.

Soit G le centre de gravité de la section CD. La réduction, en ce point, des forces coplanaires P_1 et P_2 donne :

- Une résultante générale T, parallèle à P_1 et P_2, de même sens que la plus grande de ces forces :

$$T = P_1 - P_2 \qquad \text{(II. 1)}$$

(Sens positif : calcule de OY)

- Un couple résultant, schématise par (F, F'), dont le moment est égal à la somme algébrique des moments par rapport à G des forces P_1 et P_2 :

$$\mathcal{M}_f = L_1.P_1 - L_2.P_2 \qquad \text{(II. 2)}$$

(Sens positif indique sur **la figure 13**)

De même, les forces *f* se réduisent, au même point G, à une résultante générale égale et directement opposée à T et à un couple, de même moment que le couple (F, F'), mais de sens contraire.

Définition : la force T, qui tend à faire glisser le tronçon A par rapport au tronçon B le long de CD, est l'effort tranchant au droit de la section considérée.

$\mathcal{M}_f$ Est le moment fléchissant an point G de la section CD.

Remarque : des conclusions identiques s'appliquent au cas 'une poutre reposant sur deux appuis et chargée d'une manière quelconque.

2. Contrainte d'extension et de compression en un point d'une section droite :

En générale, on néglige l'effet de l'effort tranchant, car les déformations qu'il détermine sont très faibles comparativement à celles engendrées par le couple fléchissant.

On ne considère donc que les contraintes normales d'extension et de compression résultant de l'action de ce couple.

$$\sigma = \frac{Mf}{I\alpha\beta}\ \rho \qquad \text{(II. 3)}$$

Ici $\mathcal{M}_f$ n'est plus constant pour toutes les sections droites : sa valeur dépend de la position de la section droite choisie[1].

Si la poutre a une section constante, $I_{\alpha\beta}$ est constant ; la contrainte σ est maximale dans la section droite pour laquelle le moment fléchissant est maximal (section dangereuse) et pour les fibres les plus éloignées des fibres neutres ($\rho_{max} = v$) :

$$\sigma_{max} = \frac{\mathcal{M}_{f(\max)}}{I\alpha\beta} \quad ; v = \frac{\mathcal{M}_{f(\max)}}{\frac{I\alpha\beta}{v}} \qquad \text{(II. 4)}$$

3. Condition de résistance à la flexion :

La condition normale maximale doit être inférieure ou au plus égale à la résistance pratique a l'extension ou à la compression ; d'où la relation :

$$\frac{\mathcal{M}_{f(\max)}}{\frac{I\alpha\beta}{v}} \leq R_P \qquad \text{(II. 5)}$$

Remarque : lorsqu'on aura calculé les dimensions de la section d'une poutre, on s'assurera que l'effort tranchant donne lieu à une contrainte tangentielle acceptable.

4. Application numérique :

Notre cas est une étude d'un arbre de longueur L= 1340 mm et de diamètre d=35 mm soumis à un effort F = 33,46 N (**figure 14**)

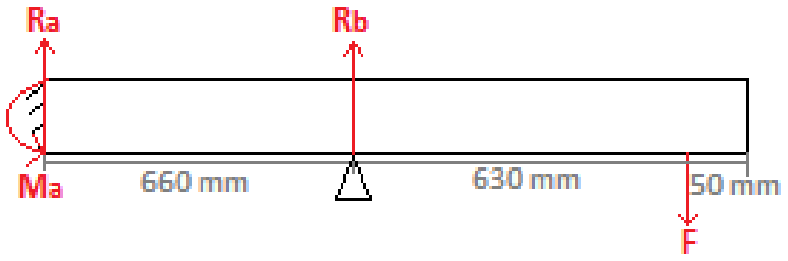


Figure 14 : arbre avec un effort de flexion.

- **Équation d'équilibre statique :**

$$\Sigma F = 0 \Rightarrow R_a + R_b - F = 0 \qquad \text{(II. 6)}$$

$$\Sigma \mathcal{M}_{/a} = 0 \Rightarrow \mathcal{M}_a + 660R_b - 1290F = 0 \qquad \text{(II. 7)}$$

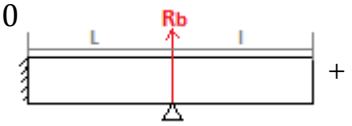
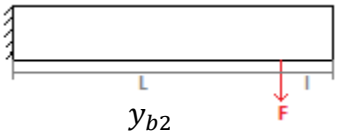
- **Degré d'hyperstatique :**

d = 3 – 2 = 1

Il manque une 3eme équation, la 3eme équation on choisit R_b

- **En utilise la méthode de superposions pour calcule (R_b) :**

$y_b = 0$

$y_b =$  $+$  $= 0$

$y_b = y_{b1} + y_{b2} = 0$

$$y_{b1} = \frac{R_b * L^2\,[3(L+l) - L]}{6EI} \quad ; \quad y_{b2} = \frac{(-\mathrm{F})L^2\,[3(L+l) - L]}{6EI}$$

Donc ;

$$y_b = \frac{R_b * L^2\,[3(L+l) - L]}{6EI} + \frac{(-\mathrm{F})L^2\,[3(L+l) - L]}{6EI} = 0 \qquad \text{(II. 8)}$$

(II. 8) En trouve R_b ;

$$R_b = \frac{F * L^2\,[3(L+l) - L]}{6EI} * \frac{6EI}{L^2\,[3(L+l) - L]}$$

$$= \frac{F * 660^2\,[3(660+680) - 660]}{6EI} * \frac{6EI}{1290^2\,[3(1290+50) - 1290]}$$

$$= \frac{(33{,}46)(435600)(3360)}{(1664100)(2730)} = 10{,}77\ N$$

(II. 6) En trouveR_a ;

$$R_a = F - R_b = 33{,}46 - 10{,}77 = 22{,}69\ N$$

(II. 7) En trouve$\mathcal{M}_a$;

$$\mathcal{M}_a = 1290F - 660R_b = (1290 * 33{,}46) - (660 * 10{,}77)$$

$$= 36055{,}2\ N.mm = 36{,}06N.m$$

Donc;

$$R_b = 10{,}77\ N$$

$$R_a = 22{,}69\ N$$

$$\mathcal{M}_a = 36{,}06\ N.m$$

- **Calculer moment fléchissant :**

Il y a 3 zones

- Zone 1 :$0 \leq x \leq 0{,}66$

$\mathcal{M}_{f(x)} = R_a * x - \mathcal{M}_a = 22{,}69x - 36{,}06$

$\mathcal{M}_{f(0)} = -36{,}06\ N.m$; $\mathcal{M}_{f(0{,}66)} = -21{,}08\ N.m$

- Zone 2 : $0{,}66 \leq x \leq 1{,}29$

$\mathcal{M}_{f(x)} = R_a * x - \mathcal{M}_a + R_b(x - L) = 22{,}69x - 36{,}06 + 10{,}77(x - 0{,}66)$

$= 33{,}13x - 28{,}95$

$\mathcal{M}_{f(0{,}66)} = -7{,}08\ N.m$; $\mathcal{M}_{f(1.29)} = 13{,}79\ N.m$

- Zone 3 : $1{,}29 \leq x \leq 1{,}34$

$\mathcal{M}_{f(x)} = R_a * x - \mathcal{M}_a + R_b(x - L) - F[x - (L + l)]$

$= 22{,}69x - 36{,}06 + 10{,}77(x - 0{,}66) - 33{,}46[x - (0{,}66 + 0{,}63)]$

$= -72{,}12\ N.m$

Donc :

$$\left|\mathcal{M}_f\right|_{max} = 72{,}12\ N.m$$

La section critique se trouve a $x \in [1{,}29; 1{,}34]\ m$

- **Calcule de contraint de l'arbre :**

$$\sigma_{max} = \frac{\left|\mathcal{M}_f\right|_{max}}{(\omega_z)_{min}} = \frac{\left|\mathcal{M}_f\right|_{max}}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{72120}{\frac{(3{,}14)(35)^3}{32}} = \frac{71120}{4207{,}11} = 16{,}9\ \text{MPa}$$

- **Calcule l'énergie de déformation :**

$$W_e = \int_0^L \frac{\mathcal{M}_f{}^2}{2EI}dx = \int_0^{0,66} \frac{\mathcal{M}_f{}^2}{2EI}\,dx + \int_{0,66}^{1,29} \frac{\mathcal{M}_f{}^2}{2EI}\,dx + \int_{1,29}^{1,34} \frac{\mathcal{M}_f{}^2}{2EI}\,dx$$

$$= \int_0^{0,66} \frac{(22{,}69x - 36{,}06)^2}{2EI}dx + \int_{0,66}^{1,29} \frac{(33{,}13x - 28{,}95)^2}{2EI}\,dx + \int_{1,29}^{1,34} \frac{(-72{,}12)^2}{2EI}\,dx$$

$$= \left[\frac{1}{2EI}\right]\left[\left(\frac{514{,}84\,x^3}{3} - \frac{1636\,x^2}{2} + 1300{,}32\,x\right]_0^{0,66}\right)$$

$$+ \left(\frac{1097{,}6\,x^3}{3} - \frac{1918{,}23\,x^2}{2} + 838{,}1\,x\right]_{0,66}^{1,29}\right)$$

$$+ \left(5201{,}29\,x\right]_{1,29}^{1,34}\right] = \left(\frac{1}{2EI}\right)(551{,}23 + 2386{,}49 + 260{,}06)$$

$$= \frac{3197{,}78}{2EI} = \frac{3197{,}78}{2 * 2 * 10^{11} * 1{,}5 * 10^6} = 5{,}33 * 10^{-15} J$$

b. Traction :

1. Exemples de pièces soumises à des efforts d'extension :

Un fil métallique de faible diamètre soutenant un poids nous offre l'image d'une fibre tendue (**figure 15**).

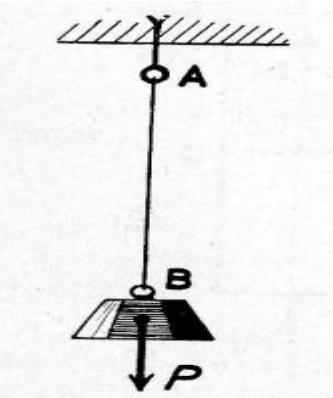


Figure 15 : Le fil AB donne l'image d'une fibre tendue.

2. Contrainte normale dans une section droite d'une barre soumise à des efforts d'extension :

Considérons une barre rectiligne, de section S, fixée à une extrémité (**figure 16**). Application à l'extrémité libre un effort de traction n dirigé suivant l'axe x'x, uniformément réparti sur toute la section S : les fibres qu'on suppose parallèles à cet axe s'allongent.

L'équilibre étant réalisé, imaginons qu'on coupe la barre par un plan CD perpendiculaire à x'x (**figure 17**).

Pour maintenir en équilibre le tronçon A, sollicité par l'effort N, application a tous les éléments de la section CD des forces f normales a cette section et qui remplacent l'action exercé par le tronçon B sur le tronçon A. La résultante N' de ces forces f est évidemment égale et directement opposée à N'.

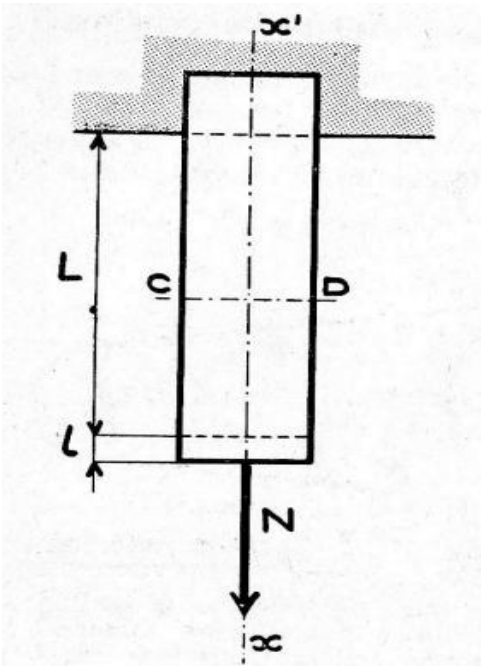


Figure 16 : Sous l'action de l'effort N et de la réaction de l'encastrement, les fibres parallèles a l'axe x'x s'allongent d'une longueur *l*.

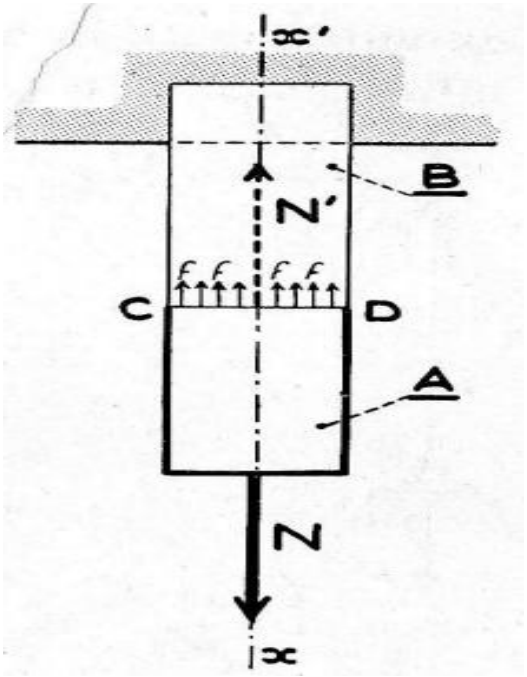


Figure 17 : Pour maintenir l'équilibre du tronçon isolé A, il faut appliquer sur la section CD des force ; f normales a cette section.

Nous admettrons que les forces f sont uniformément réparties, ce qui revient à dire que chaque unité de surface de la section droite CD supporte le même effort. La valeur

numérique de celui-ci est donc égale au quotient de N' ou N par S ; on l'appelle contrainte normale σ.

Nous exprimerons N en N et S en mm^2 ; σ sera donc un certain nombre de N/mm^2 :

$$\sigma = \frac{N}{S} \qquad (II.9)$$

3. Condition de résistance à l'extension :

Pour qu'on pièce sollicitée a l'extension résiste en toute sécurité, il faut que la contrainte normale σ soit inférieure on au plus égale à la résistance pratique a l'extension R_p ; d'où la condition :

$$\frac{N}{S} \leq R_p \qquad (II.10)$$

Selon les besoins, cette formule s'écrit sous les deux formes équivalentes :

$$N \leq R_p * S \quad ou \quad S \geq \frac{N}{R_p} \qquad (II.11)$$

4. Application numérique :

Notre cas est une étude d'un arbre de longueur L= 1340 mm et de diamètre d=35 mm soumis à un effort F = 223,14 N (**figure 18**)

Figure 18 : Arbre avec un effort de traction

- **Calcule contraint de traction :**

$$\sigma_{max} = \frac{N}{S} = \frac{N}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{223,14}{961,63} = 0,23 \text{ MPa}$$

- **Calcule l'énergie de déformation :**

$$W_e = \int_0^L \frac{N^2}{2ES} dx = \int_0^{1,34} \frac{223,14^2}{2ES} dx = \int_0^{1,34} \frac{49791,46}{2ES} dx = \left(\frac{1}{2ES}\right)(49791,46x\ ]_0^{1,34})$$

$$= \frac{66720,56}{2ES} = \frac{66720,56}{2 * 2 * 10^{11} * 3846.5} = 4,34 * 10^{-11} J$$

c. Torsion :

1. Exemples de corps sollicités à la torsion :

Une barre rectiligne (**figure 19**) aux extrémités de laquelle s'appliquent deux couples égaux et de sens contraires, dont les plans sont perpendiculaires a son axe géométrique x'x, se déforme car les bras de levier AB et CD tournent l'un par rapport à l'autre.

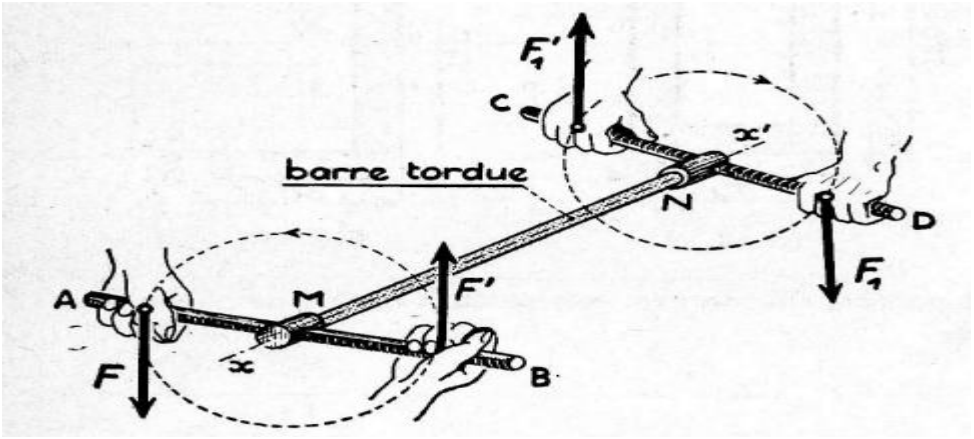


Figure 19 : La barre MN se tord sous l'action des couples (F, F') (F_1, F_1') de sens contraires.

2. Contrainte maximale de glissement :

Soit ν la distance du point le plus éloigné de la fibre neutre ; la contrainte de glissement est maximale en ce point :

$$\tau_{max} = v.\frac{\mathcal{M}_t}{I_0} \qquad (II.12)$$

I_0 Et v étant deux termes qui ne dépendent que de la section, cette formule s'écrit généralement sous la forme :

$$\tau_{max} = \frac{\mathcal{M}_t}{\frac{I_0}{v}} \qquad (II.13)$$

Par définition, le terme $\frac{I_0}{v}$ est le module de torsion de la section considérée.

En particulier, pour un cylindre de diamètre *d* :

$$I_0 = \frac{\pi.d^4}{32} \quad ; \quad v = \frac{d}{2} \quad ; \quad \frac{I_0}{v} = \frac{\pi.d^3}{16} \simeq 0{,}2\,d^3 \qquad (II.14)$$

Remarque : toutes les formules précédentes s'appliquent strictement aux cas des sections circulaires. Pour des prismes dont la section est carrée, rectangulaire, polygonale régulière…, elles ne sont pas valables.

3. Condition de résistance à la torsion :

Pour qu'on cylindre sollicité a la torsion résiste en toute sécurité, il faut évidemment que la contrainte maximale τ_{max} soit inférieure ou au plus égale à la résistance pratique au cisaillement R_{pg} ; d'où la condition :

$$\frac{\mathcal{M}_t}{\frac{I_0}{v}} \leq R_{pg} \qquad \text{(II. 15)}$$

Cette relation peut aussi s'écrire :

$$\mathcal{M}_t \leq R_{pg} . \frac{I_0}{v} \qquad ou \qquad \frac{I_0}{v} \geq \frac{\mathcal{M}_t}{R_{pg}} \qquad \text{(II. 16)}$$

La première de ces formes est utilisée lorsqu'il s'agit de calculer la valeur maximale du moment de torsion qui peut être appliqué à un cylindre donné ; la seconde sert dans le cas où il faut déterminer le diamètre du cylindre connaissant le moment de torsion et la résistance pratique au cisaillement.

4. Application numérique :

Notre cas est une étude d'un arbre de longueur L= 1340 mm et de diamètre d=35 mm soumis à un moment $\mathcal{M} = 4778.4$ N. m (**figure 20**)

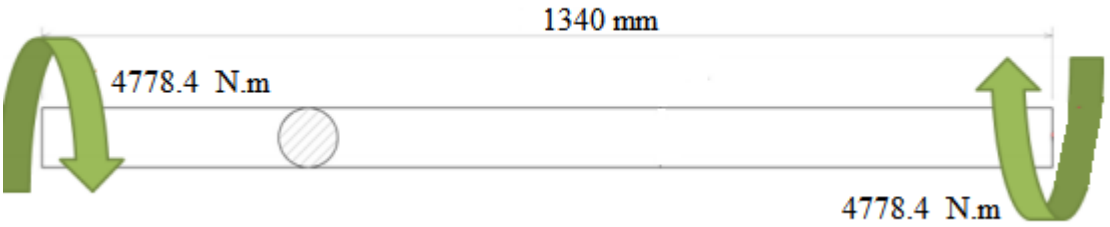


Figure 20 : arbre avec un effort de torsion.

- **Calcule contraint de torsion :**

$$\tau_{max} = \frac{\mathcal{M}}{\frac{I_0}{v}} = \frac{4778400}{0{,}2d^3} = \frac{4778400}{8575} = 5{,}75 * 10^2 \text{ MPa}$$

- **Calcule l'énergie de déformation :**

$W_e = \int_0^L \frac{\mathcal{M}_t{}^2}{2GI} dx = \int_0^{1,29} \frac{(4778,4)^2}{2GI} dx = \int_0^{1,29} \frac{22833106,56}{2GI} dx =$

$\left(\frac{1}{2GI}\right)\left(22833106,56x\right]_0^{1,29}\right) = \frac{29454707,46}{2*8,2*10^{10}*1,5*10^6} = 1,2 * 10^{-10}\ J.$

- **Calcule contrainte équivalente de Tresca :**

$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{[(16,9) + (5,33 * 10^{-15})]^2 + 4(5,75 * 10^2)^2} = \sqrt{1.3 * 10^6}$

$= 1150$ MPa

- **Calcule contrainte équivalente de Von Mises :**

$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{[(16,9) + (5,33 * 10^{-15})]^2 + 3(5,75 * 10^2)^2} = \sqrt{9.9 * 10^5}$

$= 996.5$ MPa

Partie 2 : simulation

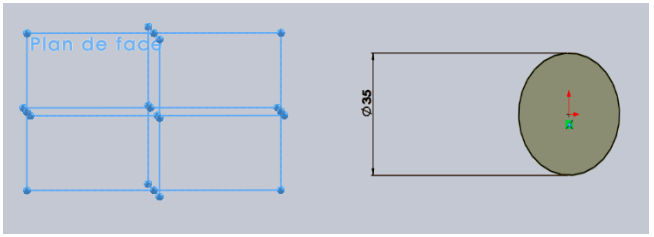
Dans cette partie on fait une étude de simulation de l'arbre de transmission qui transmettre la puissance mécanique et le couple et la rotation vire l'hélice, nous l'appelons ce système de propulsion (APH) qui contient plusieurs pièces assemblés : arbre de transmission, chaise palier, tube d'étambot et l'hélice.

On utilise dans cette étude ANSYS et SOLIDWORK.

a. Conception de l'arbre :

La pièce est l'objet 3D monobloc. La modélisation d'une telle entité dépendra du choix de l'utilisateur. Comme de nombreux logiciels similaires, Soli-Works permet d'aboutir à un même résultat apparent par des voies souvent différentes. C'est lors de la retouche de ces fichiers ou de leur exploitation qu'on appréciera la bonne méthode.

Définir une origine. | Choisir un plan. | Tracer une esquisse | Générer un volume



b. Systèmes de coordonnées :

Tableau 1: Système de coordonnées.

Vecteurs directionnels	
Données de l'axe X	[1, 0, 0]
Données de l'axe Y	[0, 1, 0]
Données de l'axe Z	[0, 0, 1]

c. Mise en plan :

Une fois les pièces ou assemblages créés, il est possible de générer automatiquement les mise en plan (représentation 2D) avec insertion automatique des côtes et liaisons entre les vues 2D et le modèle 3D. De plus, des fonctions d'habillage (texte, hachure, cotation,...) permettent à l'utilisateur d'annoter rapidement un plan. Pour faire des mises en plan, il est tout d'abord nécessaire d'avoir des fonds de plan pour y projeter les dessins. Ces fonds de plans sont en format (A4, A3,...), une orientation (portrait ou paysage) et contiennent éventuellement un cartouche. Un certain nombre de fonds de plan de base sont proposés à l'origine, mais il est préférable, avant de commencer, de personnaliser les fonds en plan que l'on utilisera par la suite.

d. Les étapes de conception :

Ouvrir Solidworks On sélectionne le plan de face, puis créer une esquisse et dessiner un cercle avec cotation en suite on clique sur la fonction Base / Bossage extrudé On donne la valeur du bossage et click sur ok voir figure 21

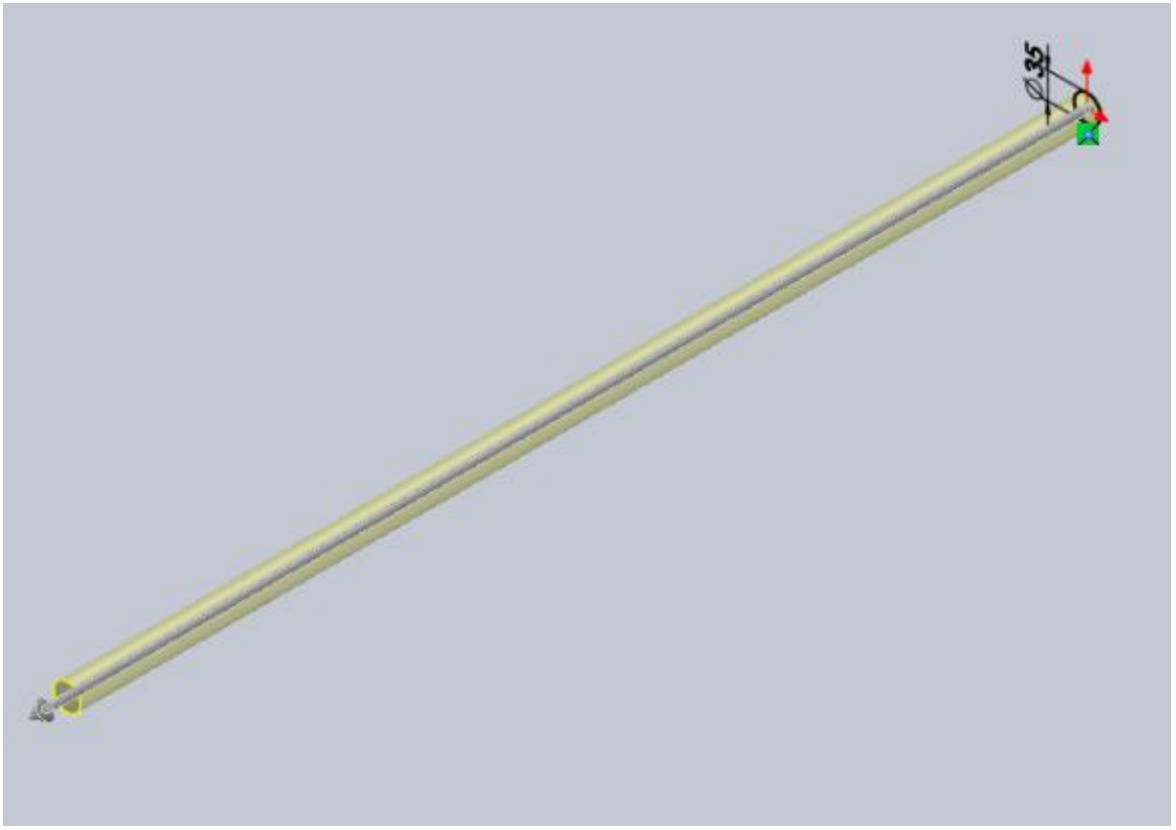


Figure 21 : Extrusion d'un cercle qui forme un arbre.

Puis on esquisse les autres formes pour donner la forme finale à l'arbre voir **la Figure 22**

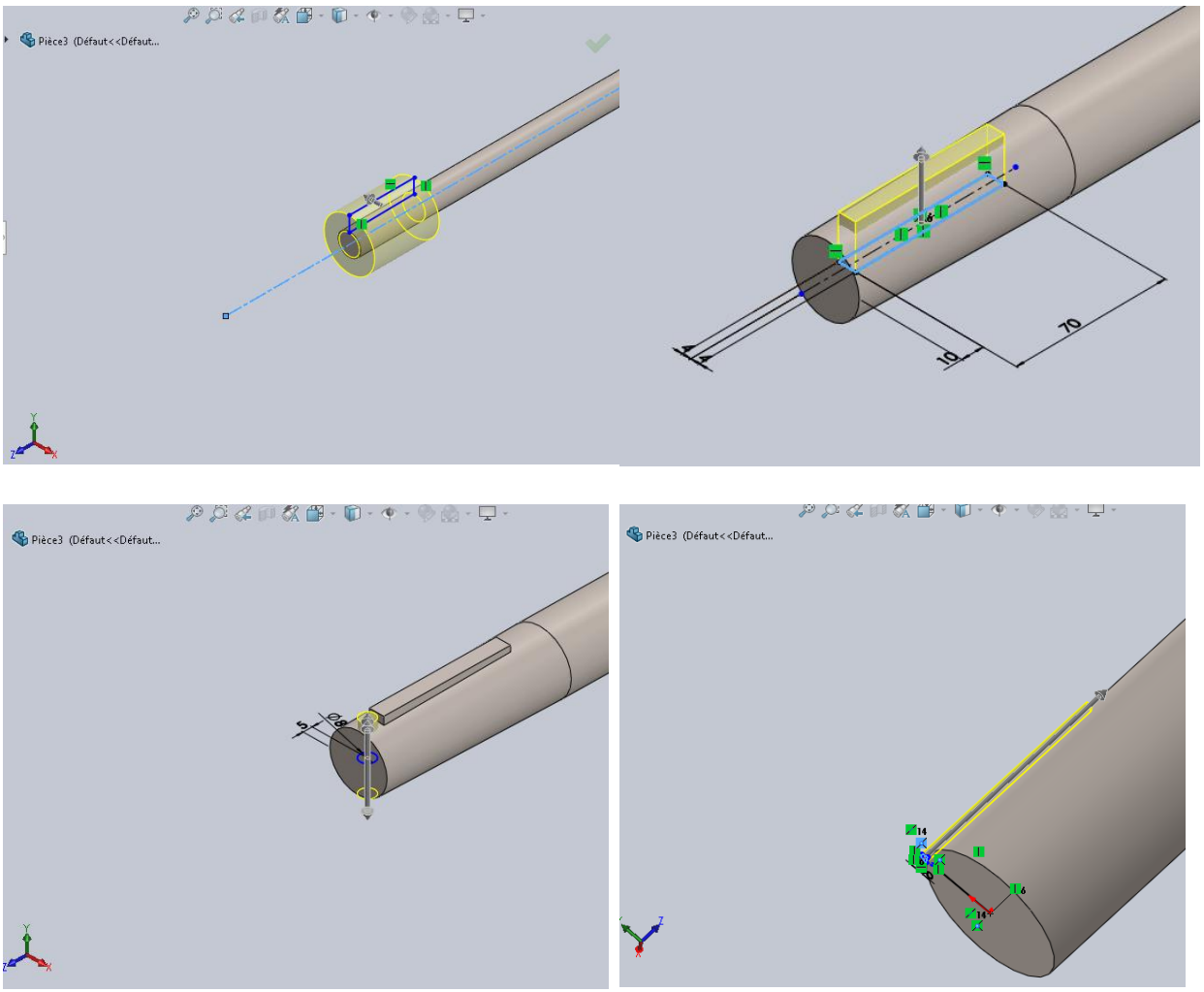


Figure 22: Création des formes pour enlèvement et extrusion de matière.

En fin on valide tout pour avoir la forme finale de moyeu voir **la Figure 23.**

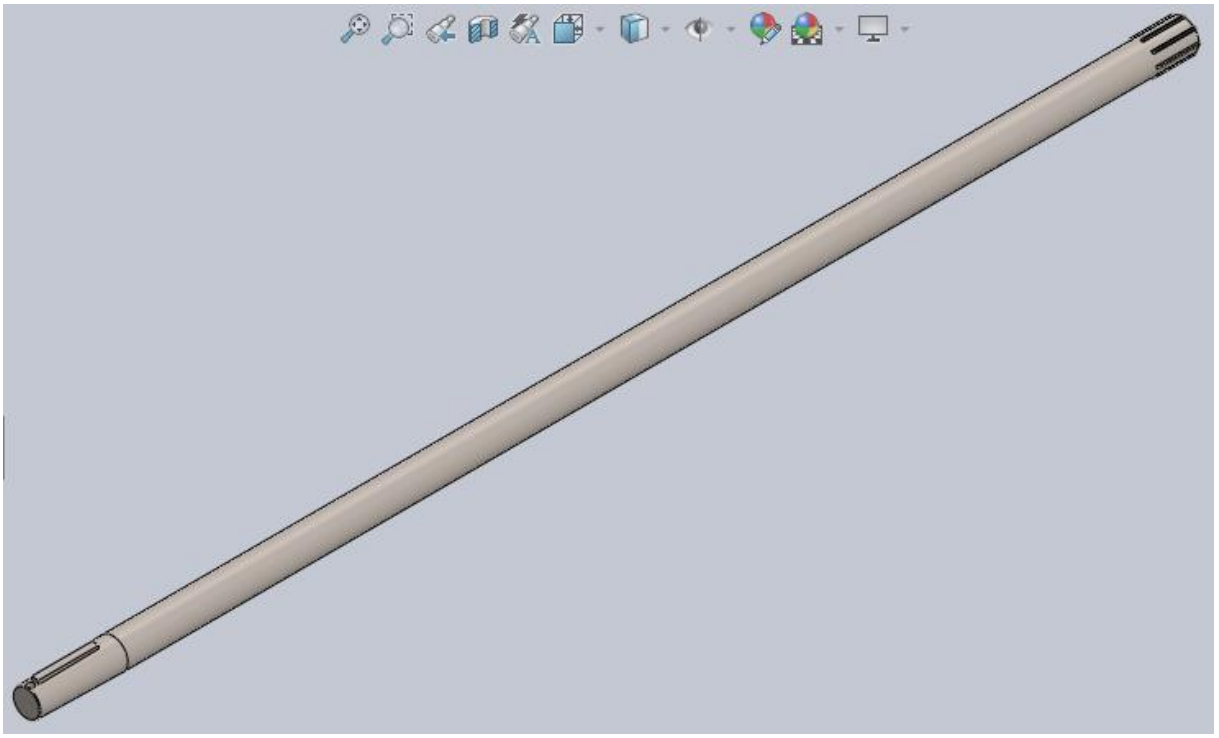


Figure 23: L'arbre à sa forme finale.

Tableau 2: Dimensionnement de l'arbre de transmission.

dimensionnement de l'arbre	
Longueur suivant X	38 mm
Longueur suivant Y	39 mm
Longueur suivant Z	1340 mm
centre de gravité sur X	2,8778e-005 mm
centre de gravité sur Y	3,1745e-002 mm
centre de gravité sur Z	664,88 mm
Moment d'inertie Ip1	1,5179e+006 kg·mm²
Moment d'inertie Ip2	1,5179e+006 kg·mm²

Moment d'inertie Ip3	1557,3 kg·mm²
Propriétés	
Volume	1,2818e+006 mm³
Masse	10,289 kg

e. Simulation :

Après avoir terminé le modèle, nous l'enregistrons au format IGES et l'envoyons à ANSYS pour simuler l'arbre de transmission.

i. Les étapes de la simulation :

i.1 Appliquer un matériau :

Acier inoxydable.

- **Propriétés acier inoxydable :**

Tableau 3: Constants d'Acier inoxydable.

Masse volumique	8,027e-006 kg mm^-3
Coefficient de dilatation thermique	1,7e-005 C^-1
Chaleur spécifique	4,8e+005 mJ kg^-1 C^-1
Conductivité thermique	1,51e-002 W mm^-1 C^-1
Résistivité	7,7e-004 ohm mm
Limite d'élasticité en compression MPa	207

Limite d'élasticité en traction MPa	207
Limite à la rupture en traction MPa	586
Température de référence C	22

- **Elasticité isotrope :**

Tableau 4: Elasticité d'Acier inoxydable**.**

Module de Young MPa	Coefficient de Poisson	Module de compressibilité MPa	Module de cisaillement MPa
2,0746e+005	0,265	1,4713e+005	82000

i.2 Structure statique :

Déplacement imposé: géométrie fixe sur l'une des extrémités de l'arbre comme le montre (**Figure 25**).

Chargement: un couple de torsion de 4778.4N/m, force de traction ..... et une force de flexion ..... Sur l'arbre comme illustré sur **la Figure 24**.

Tableau 5: Structure statique.

	Support fixe : fixé au moteur	moment	Force de traction	Force de flexion
Définition				
Intensité		4778,4 N.m	223,14 N	33,46 N

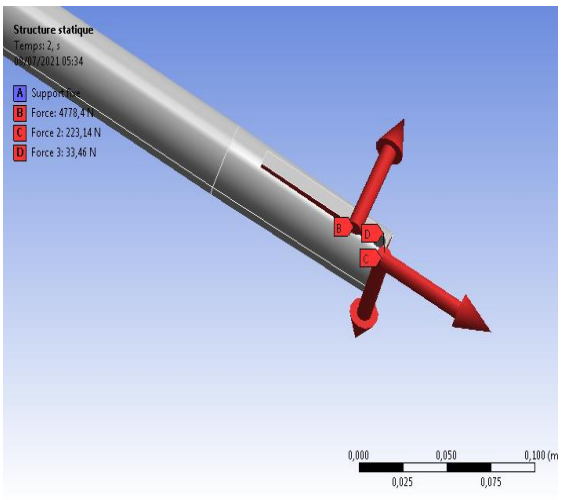


Figure 24: Application des forces sur l'arbre

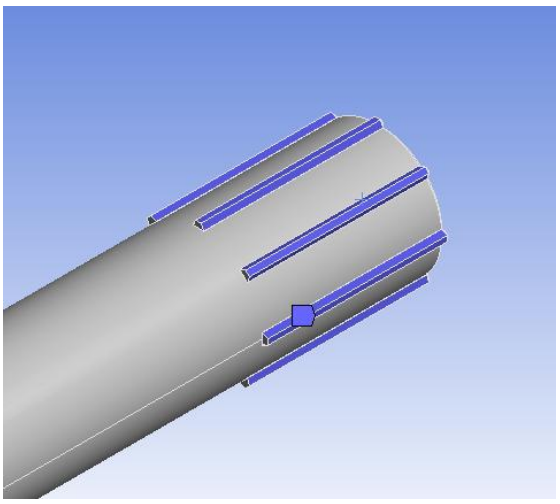


Figure 25 : Fixation de l'arbre

i.3 Création du maillage : (Figure 26)

Tableau 6: Maillage.

Physique de préférence	Mécanique
Dimensionnement	
Longueur d'arête minimale	6,4404e-002 mm
Inflation	
Rapport de transition	0,272
Maximum couches	5
Taux de croissance	1,2

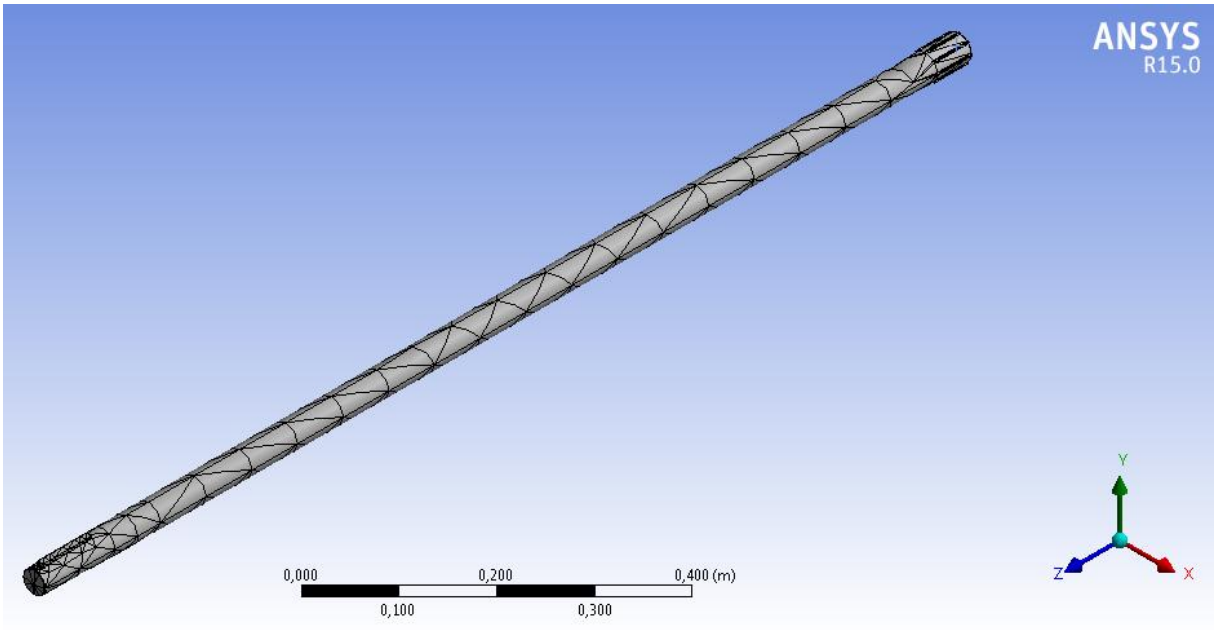


Figure 26 : L'arbre après le maillage.

ii. Les résultats obtenus :

En appliquant les conditions aux limites précédentes, nous obtiendrons les résultats suivants:

Tableau 7: Résultats.

	Déplacement total	Déplacement directionnel Sur x	Déformation élastique équivalente	Déformation élastique principale maximale	Déformation élastique principale minimale
Résultats					
Minimum	0, mm	-23,594 mm	8,1824e-011 mm/mm	6,9438e-011 mm/mm	-8,4601e-003 mm/mm
Maximum	208,07 mm	1,218 mm	1,2624e-002 mm/mm	9,1229e-003 mm/mm	-4,5517e-011 mm/mm

	Déformation élastique normale	Déformation élastique de cisaillement	Contrainte équivalente	Contrainte principale maximale	Contrainte principale minimale
Résultats					
Minimum	-2,1816e-003 mm/mm	-1,6242e-003 mm/mm	1,6572e-005 MPa	-280,39 MPa	-1825,8 MPa
Maximum	2,0807e-003 mm/mm	3,0588e-003 mm/mm	1842,5 MPa	2010,7 MPa	224,11 MPa
	Contrainte normale				
Résultats					
Maximum	-487,57 MPa				
Minimum	533,31 MPa				

- **Déplacement total :**

Tableau 8: Déplacement total.

N.Solution	Déplacement total (mm)	Variation (%)
1	198,58	
2	206,3	3,818
3	207,58	0,6178
4	208,07	0,23347

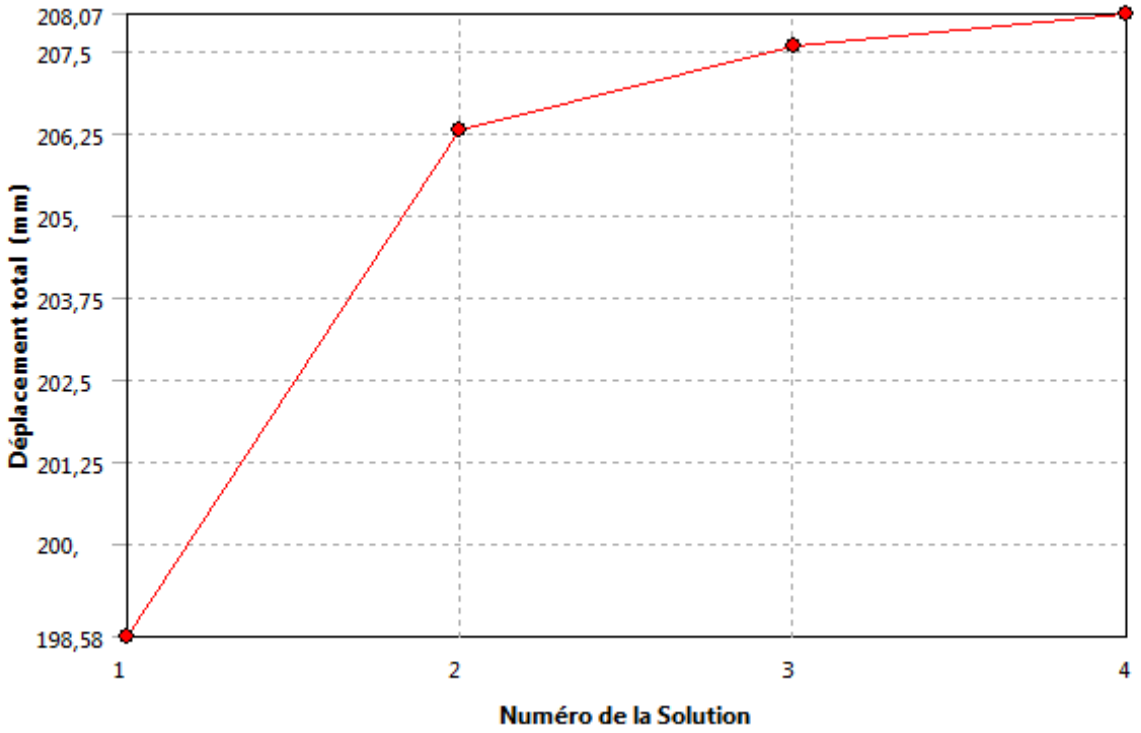


Figure 27 : Diagramme de déplacement total.

- **Déplacement directionnel sur x:**

Tableau 9: Déplacement directionnel.

N.Solution	Déplacement directionnel (mm)	Variation (%)
1	1,1849	
2	1,2155	2,5536
3	1,2167	9,7483e-002
4	1,218	0,10793

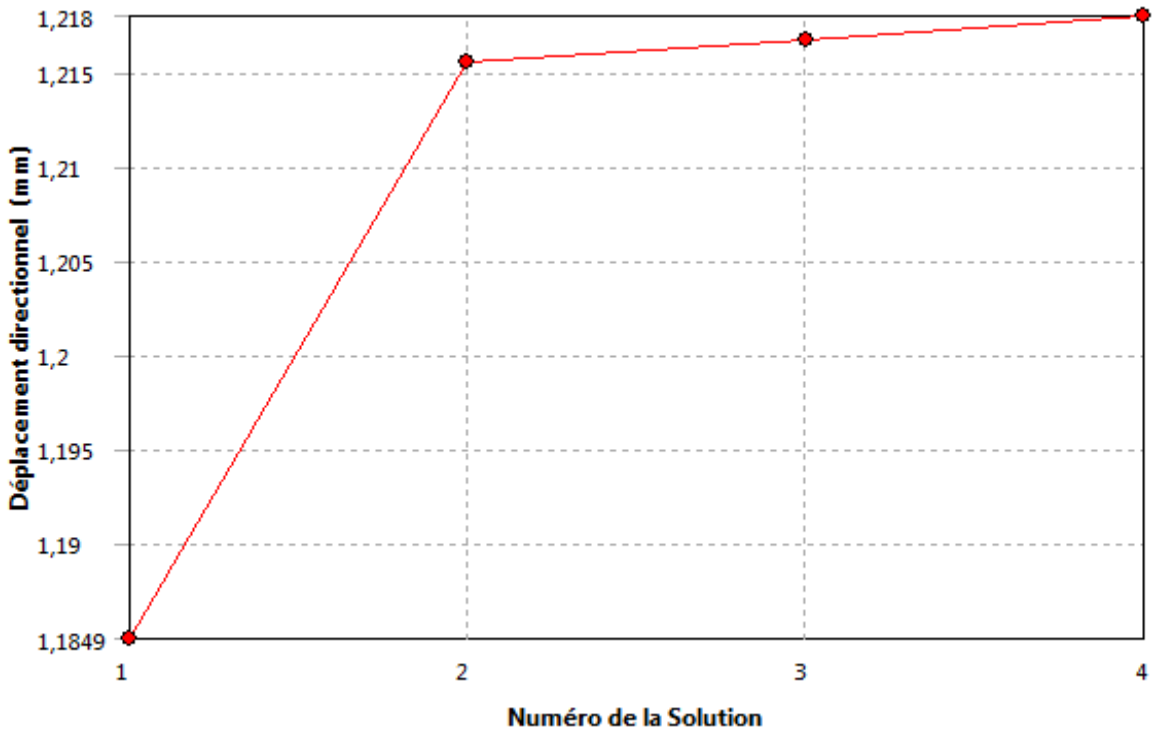


Figure 28 : Diagramme de déplacement directionnel.

- **Déformation élastique équivalente :**

Tableau 10: Déformation élastique équivalente.

N.Solution	Déformation élastique équivalente (mm/mm)	Variation (%)
1	7,841e-003	
2	7,4109e-003	-5,6404
3	8,9674e-003	19,006
4	1,2624e-002	33,874

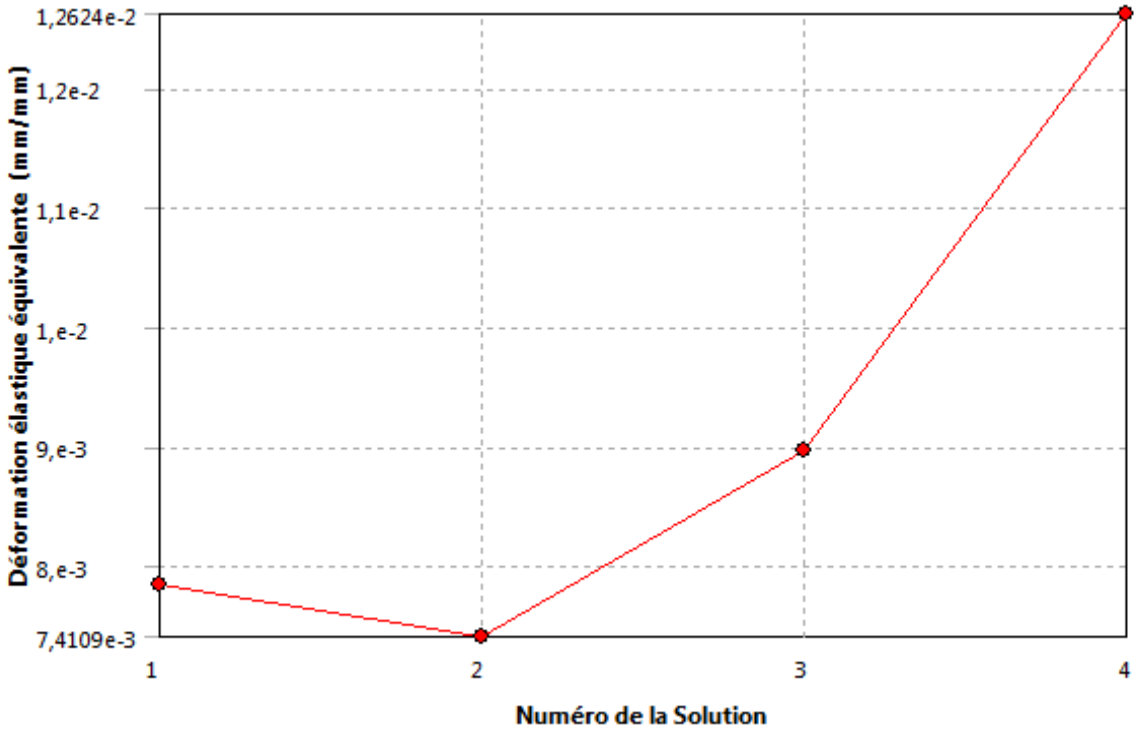


Figure 29 : Diagramme de déformation élastique équivalente.

- **Contrainte équivalente :**

Tableau 11: Contrainte équivalente.

N.Solution	Contrainte équivalente (MPa)	Variation (%)
1	1587,4	
2	1430,1	-10,428
3	1535,	7,0807
4	1842,5	18,206

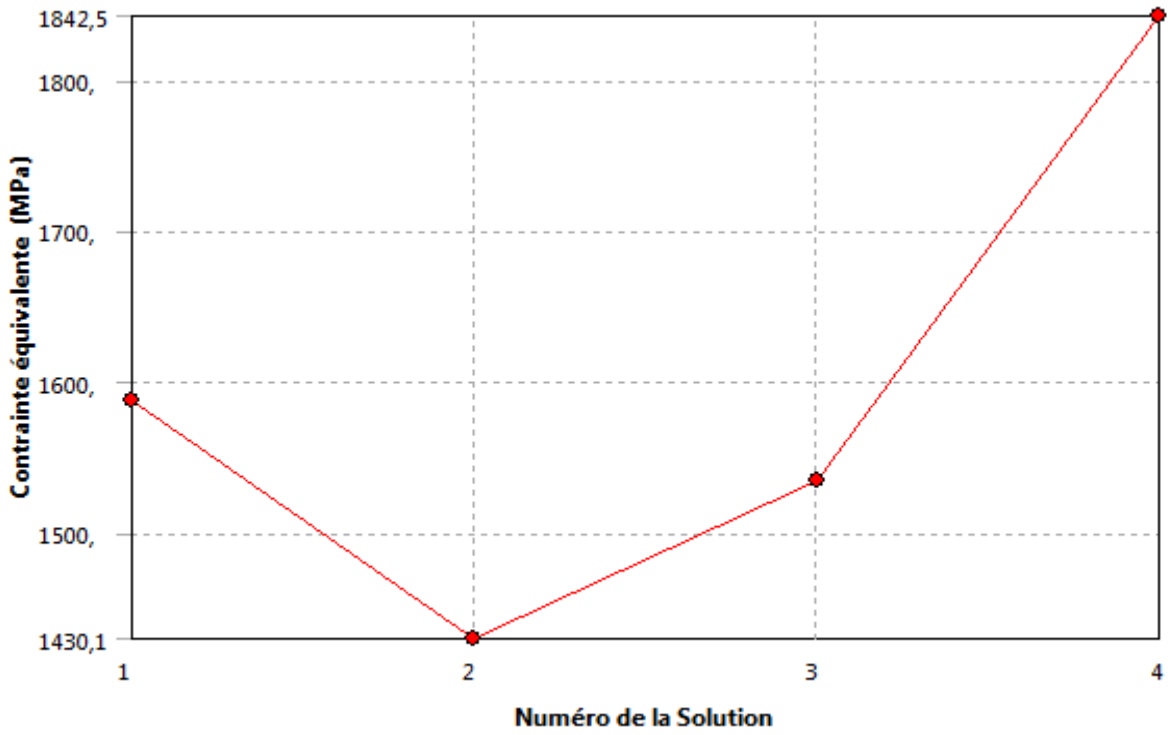


Figure 30 : Diagramme de Contrainte équivalente.

iii. Résultats obtenue de contrainte :

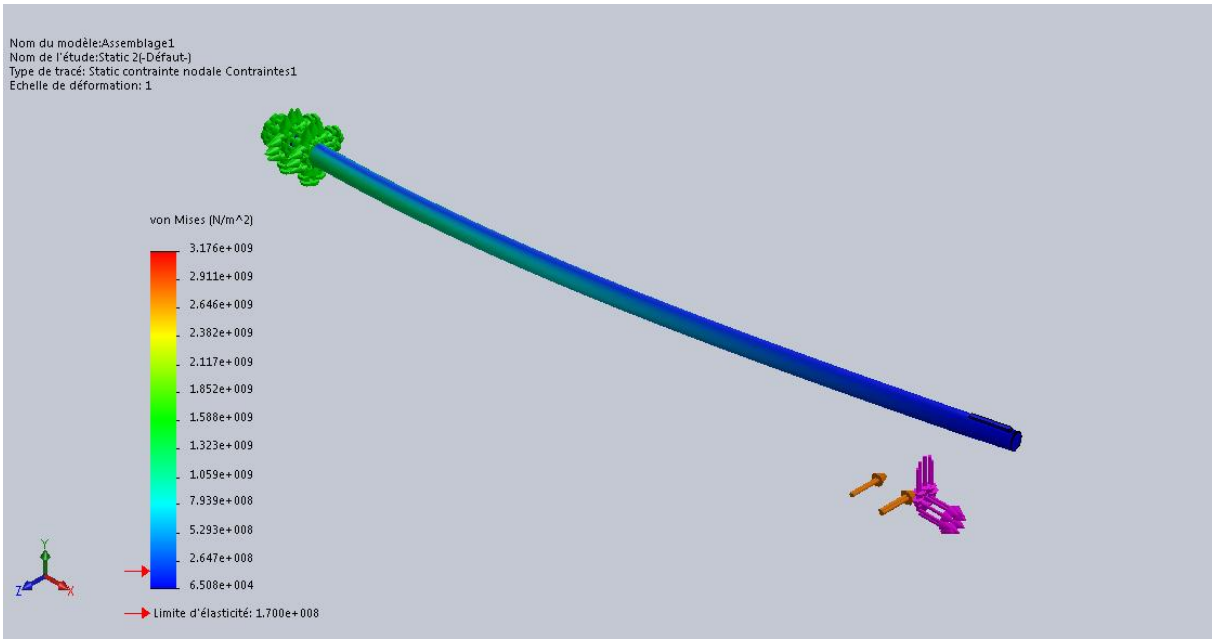


Figure 31 : Diagramme de Contrainte.

- **Interprétation :**

Cette simulation permet d'analyser les contraintes d'un arbre de transmission, pour un matériau en acier inoxydable. **La Figure 31,** montre une déformation de l'arbre, Nous voyons dans la partie de l'encastrement une zone de couleur vert, ce qui explique que le matériau choisi ou les dimensions de la pièce sont largement grandes et résistantes en toutes contraintes appliquées sur l'arbre de transmission.

iv. Résultats obtenue de déplacement :

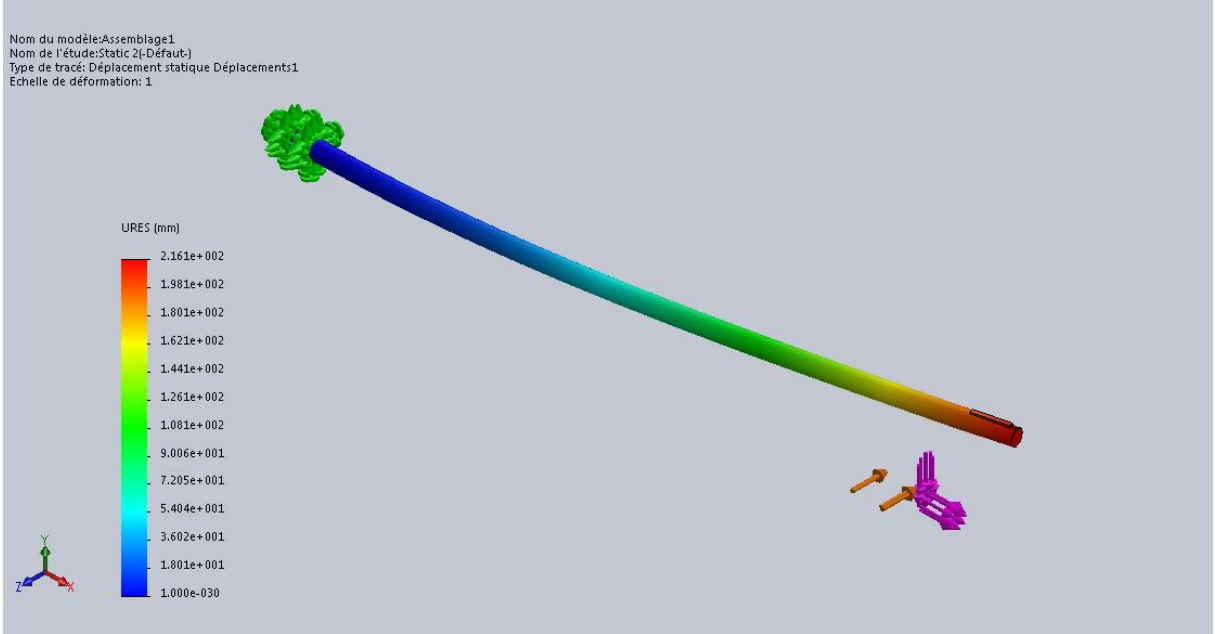


Figure 32 : Diagramme de déplacement.

- **Interprétation:**

La figure ci-dessus montre le résultat obtenu du déplacement, nous avons remarqué que la forme de l'arbre a changé et la région où les forces ont été exercées à l'extrémité de l'arbre devient rouge mais la valeur de déplacement maximum reste toujours dans un champ élastique.

v. Résultats obtenue de déformation :

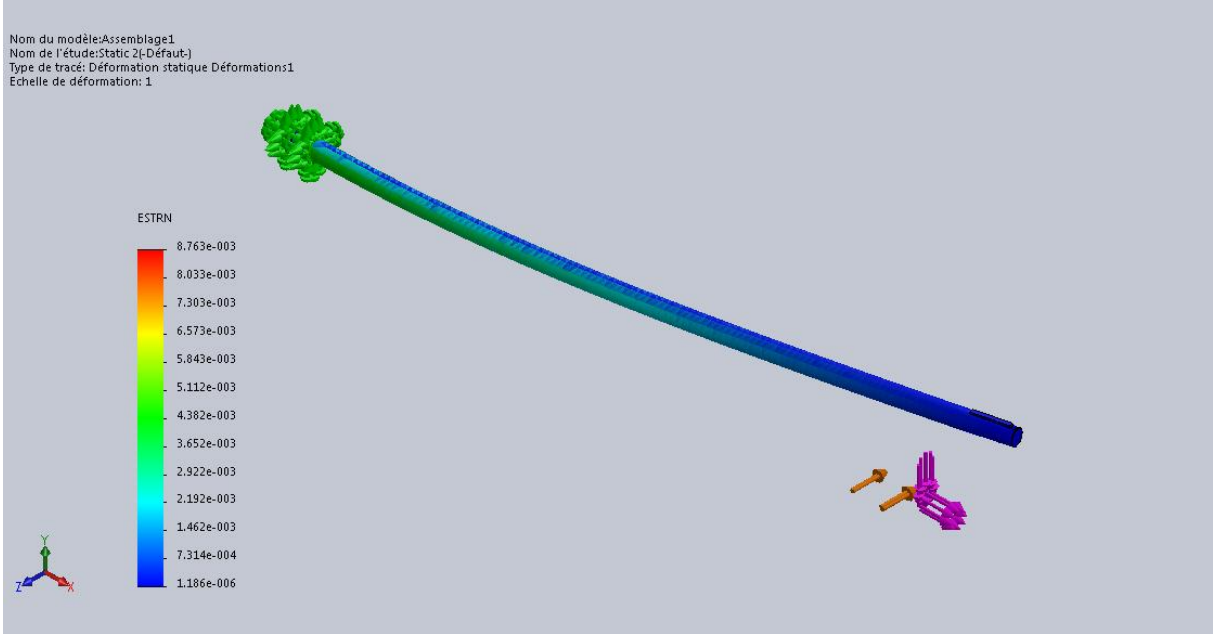


Figure 33 : Diagramme de déformation.

- **Interprétation:**

La figures ci-dessus montre que l'arbre subit des déformations aux point d'application des efforts, ces déplacements sont toujours dans la zone de sécurité (zone bleu) mai le corps résiste toujours en tout sécurité, ce qui valide notre choix de matériau (acier inoxydable) qui as pour valeur physique et mécanique plus large, donc il résiste bien ou effort de déformation.

vi. Coefficient de sécurité :

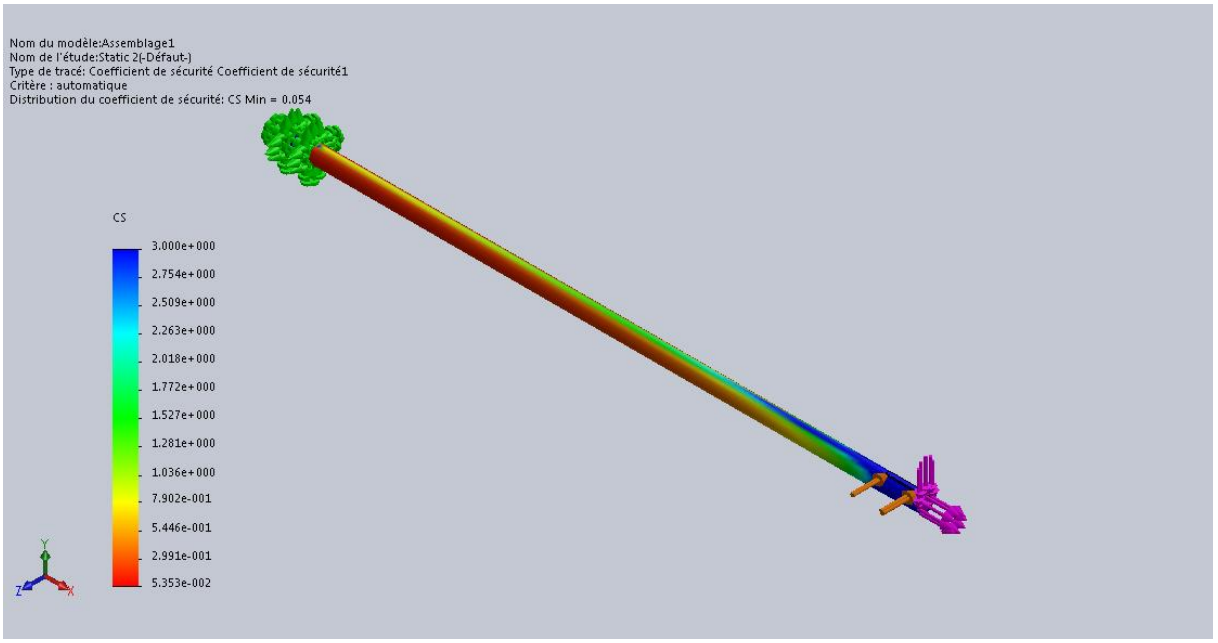


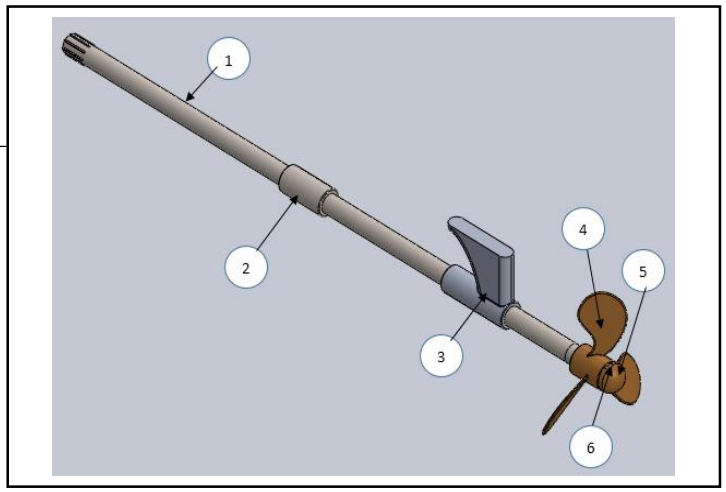
Figure 34 : Diagramme de coefficient de sécurité.

La figure 34 ci-dessus montre que le coefficient de sécurité choisi (coif = 0,054) net pas bon, donc il est nécessaire de changer cette valeur.

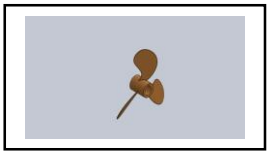
vii. Assemblages :

Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage associant, deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). Dans une certaine mesure, ces associations de contraintes s'apparentent aux liaisons mécaniques entre les pièces. Le mécanisme monté, s'il possède encore des mobilités, peut être manipulé virtuellement. On peut alors aisément procéder à des réglages à l'aide des différents outils disponibles (déplacement de composants, détection de collision ou d'interférence, mesure des Jeux, etc.). **Figure 35**

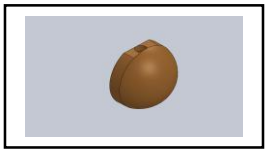
viii. Définition de chaque pièce assemblée :



Système de propulsion arbre port hélice.

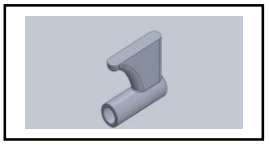


4. Hélice: Alliage de cuivre

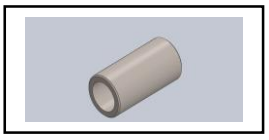


5. Farine hélice : Alliage de cuivre

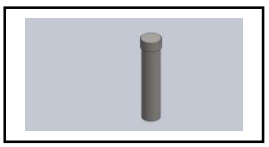
1. Arbre de transmission: Acier inoxydable



3. Chaise palier: AL5083H111



2. Tube d'étambot: Acier inoxydable



6. Vis : Acier inoxydable

Figure 35 : Organigramme pour le système de propulsion.

Conclusion :

Après avoir évalué et traiter les résultats, on a constaté que le système et fiable, et on peut le placé sans risque, même les matériaux qu'on a choisie pour les pièces assemblés, résiste bien dans le milieu de fonctionnement, soit de la cavitation pour l’hélice ou les réactions physique dans la mère.

Chapitre III : Etude de la plaque mince du pont.

Chapitre III : Etude de la plaque mince du pont.

On va étudier dans ce chapitre la résistance d'une partie du pont (une plate-forme raidie par des éléments de structure longitudinaux et transversaux généralement placés en dessous, construite pour empêcher l'envahissement de l'eau dans le navire ou supporter les charges.) en forme de plaque (1500 mm de longueur, 590 mm de largeur et épaisseur de 6 mm), le matériau de la plaque est : AL5083H11.

Comme nous le savons tous les corps solides sont doués, dans telle ou telle mesure, de propriétés de résistance et de rigidité, c'est-à-dire peuvent, dans certaines limites, réagir à l'action des forces extérieures sans qu'il y ait rupture ou variation sensible des dimensions géométriques.

La résistance des matériaux étudie, comme son nom l'indique, la résistance et la rigidité des éléments de construction mécanique.

Ses méthodes servent aux calculs pratiques et à la détermination des dimensions requises des pièces de machine et de différentes constructions.

Ce chapitre est composé deux parties :

Partie 1 : théorique

Les principes fondamentaux de la résistance des matériaux reposent sur les lois et les théorèmes de la mécanique générale et, en premier lieu, sur les lois de la statique.

a. Définition d'une plaque :

Une plaque est définie comme étant un solide délimité par deux plans parallèles appelés faces et dont l'épaisseur est petite par rapport aux deux autres dimensions. Les plaques sont généralement employées pour modéliser des structures minces, car seule une dimension est faible par rapport aux deux autres.

Pour l'étude de la flexion, on considère que la charge est perpendiculaire aux faces et la plaque est fixée en quatre bords.

b. Champs des déformations - Relations cinématiques :

Nous intéressons en premier lieu à la géométrie des déformations. Les relations déformation-déplacement peuvent s'écrire comme suit :

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \;;\; \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \;;\; \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial \mu}{\partial y} \qquad \text{(III. 1)}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0 \quad ; \gamma_{xz} = \frac{\partial \mu}{\partial z} + \frac{\partial \omega}{\partial x} = 0 \quad ; \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} = 0$$

Les déformations γ_{xz} et γ_{yz} étant nulles, nous pouvons donc écrire :

$$\omega = \omega(x, y) \qquad \text{(III. 2)}$$

$$\mu = -z\frac{\partial w}{\partial x} \quad ; \nu = -z\frac{\partial w}{\partial y}$$

En remplaçant les expressions de l'équation (III.2) dans les équations (III.1) nous obtenons:

$$\varepsilon_x = -z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad ; \varepsilon_y = -z\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad ; \gamma_{xy} = -2z\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \qquad \text{(III. 3)}$$

c. Champs des contraints :

Dans le cas général d'un état de contraintes tridimensionnelles, les contraintes et les déformations sont liés par la loi de Hooke généralisée, valable pour un matériau isotrope homogène:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\right] \quad ; \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)\right] \quad ; \gamma_{xz} = \frac{\tau_{xz}}{G} \qquad \text{(III. 4)}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\right] \quad ; \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G}$$

Dans ces équations : $\tau_{ij} = \tau_{ji}(i, j = x, y, z)$. Les constantes E, ν et G représentent le module d'élasticité, le coefficient de Poisson et le module de cisaillement élastique, respectivement. La relation entre ces quantités s'écrit :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad \text{(III. 5)}$$

d. Equations d'équilibre d'une plaque :

Les composantes des différentes contraintes (et leurs résultantes) varient généralement d'un point à l'autre d'une plaque chargée. Ces variations sont gouvernées par les équations

d'équilibre de la statique. Considérons un élément d_x, d_y de la plaque uniformément chargée de la **figure 36**.

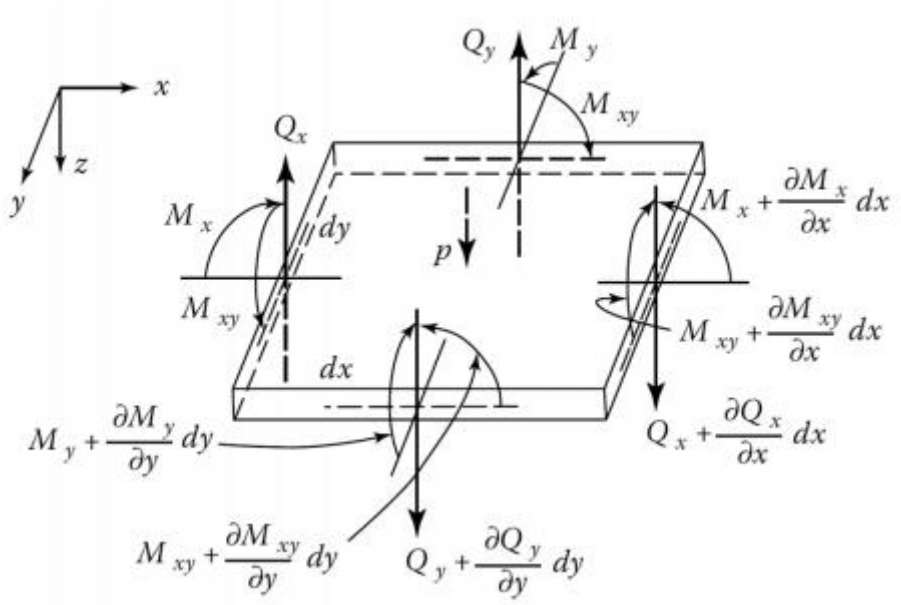


Figure 36 : Résultantes positives et charge sur un élément de plaque.

La somme des forces dans la direction z est nulle, ce qui s'écrit :

$$\frac{\partial \mathbb{Q}x}{\partial x} d_x d_y + \frac{\partial \mathbb{Q}y}{\partial x} d_x d_y + p\, d_x d_y = 0 \qquad \text{(III. 6)}$$

Ce qui se traduit par :

$$\frac{\partial \mathbb{Q}x}{\partial x} + \frac{\partial \mathbb{Q}y}{\partial x} + p = 0 \qquad \text{(III. 7)}$$

L'équilibre des moments autour de l'axe x s'écrit :

$$\frac{\partial \mathcal{M}_{xy}}{\partial x} d_x d_y + \frac{\partial \mathcal{M}_y}{\partial y} \mathrm{dxdy} - \mathbb{Q}_y \mathrm{dxdy} = 0 \qquad \text{(III. 8)}$$

Ce qui donne :

$$\frac{\partial \mathcal{M}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{M}_y}{\partial y} - \mathbb{Q}_y = 0 \qquad \text{(III. 9)}$$

Dans ces expressions, le produit des quantités infinitésimales, comme le moment du à p et le moment due à la variation de $\mathbb{Q}_y$ sont omis.

De la même manière, l'équilibre des moments autour de l'axe y, nous permet d'écrire que :

$$\frac{\partial \mathcal{M}_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{M}_x}{\partial x} - \mathbb{Q}_y = 0 \qquad \text{(III. 10)}$$

Finalement, en introduisant les expressions de $\mathbb{Q}_x$ et $\mathbb{Q}_y$ nous obtenons :

$$\frac{\partial^2 \mathcal{M}_x}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 \mathcal{M}_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \mathcal{M}_y}{\partial y^2} = -p \qquad \text{(III. 11)}$$

Cette expression représente l'équation différentielle de l'équilibre des plaques minces.

e. Equation gouvernante de la flexion des plaques :

L'équation différentielle qui gouverne la flexion des plaques peut être obtenue en utilisant les résultats des sections précédentes. Introduisons les expressions de$\mathcal{M}_x$, $\mathcal{M}_y$ et $\mathcal{M}_{xy}$ dans l'équation (III.11), nous obtenons :

$$\frac{\partial^4 \mathrm{w}}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \mathrm{w}}{\partial y^4} = \frac{p}{D} \qquad \text{(III. 12)}$$

Cette équation présentée par Lagrange en 1811, peut s'écrire sous la forme compacte suivante:

$$\nabla^4 \omega = \frac{p}{D} \qquad \text{(III. 13)}$$

L'équation de Lagrange est l'équation différentielle gouvernante de la flexion des plaques minces. Pour déterminer la flèche w, il est nécessaire d'intégrer cette équation en utilisant les conditions aux limites appropriées.

f. Méthode d'analyse le problème des plaques :

En dehors de quelques configurations simples de chargement et de forme, comme pour des plaques circulaires avec chargement axisymétrique, l'équation gouvernante de la flexion des plaques,$\nabla^4 \omega = \frac{p}{D}$ reste difficile à résoudre. Il est courant d'envisager une résolution par la méthode inverse. La méthode inverse repose sur l'établissement d'une solution supposée pour la flèche w qui vérifie l'équation gouvernante et satisfait les conditions aux limites. Certains cas peuvent être traités en considérant une expression polynomiale pour la flèche avec des coefficients à déterminer. L'utilisation des séries de

Fourier est aussi envisageable. Les méthodes énergétiques sont aussi couramment utilisées, Ces méthodes peuvent même être utilisées pour développer des solutions sous la forme de séries infinies.

g. Remarque :

Dans notre cas les déplacements, les déformations est les contraintes de cette plaque encastrée en quatre bord ne peut pas être calculé analytiquement. On utilise un logiciel de simulation dont la méthode de calcul est basée sur les éléments finis.

La méthode d'analyse par éléments finis (MEF) constitue une technique numérique fiable d'analyse de conception. Le processus commence par la création d'un modèle géométrique. Pour l'analyse, le modèle doit être subdivisé en petites entités de formes simples (éléments), interconnectées en des points communs (nœuds). Les programmes d'analyse par éléments finis considèrent le modèle comme un réseau d'éléments discrets interconnectés.

La méthode par éléments finis (MEF) permet de prévoir le comportement du modèle en combinant les informations obtenues à partir de tous les éléments qui le constituent.

h. L'élément finis pour la flexion des plaques :

- **Forces nodales et déplacements :**

Exemple Pour la résolution de ce type de problème utilisons l'élément rectangulaire à quatre nœuds Chaque nœud a trois degrés de liberté ; deux rotations θ_x, θ_y et flèche transversale W.

La rotation autour de l'axe des x est :

$$\theta_x = \frac{\partial \omega}{\partial y} \qquad \text{(III. 14)}$$

La rotation autour de l'axe des y est :

$$\theta_y = \frac{\partial \omega}{\partial x} \qquad \text{(III. 15)}$$

Puisque nous avons quatre nœuds est que chacun possède trois degrés de liberté on aura au total douze degrés de liberté pour l'élément, à savoir, douze composantes de déplacement nodaux

Qu'on peut représenter par un vecteur de déplacement $\{\delta\}$:

$$\{\delta\}^t = (w_1, \theta_{x1}, \theta_{y1}, w_2, \theta_{x2}, \theta_{y2}, w_3, \theta_{x3}, \theta_{y3}, w_4, \theta_{x4}, \theta_{y4})$$

D'autre part pour chaque nœud le système de charge correspondant consiste en deux moments$\mathcal{M}_X$ et $\mathcal{M}_Y$et une force de cisaillement P_Z (**Figure 37**).

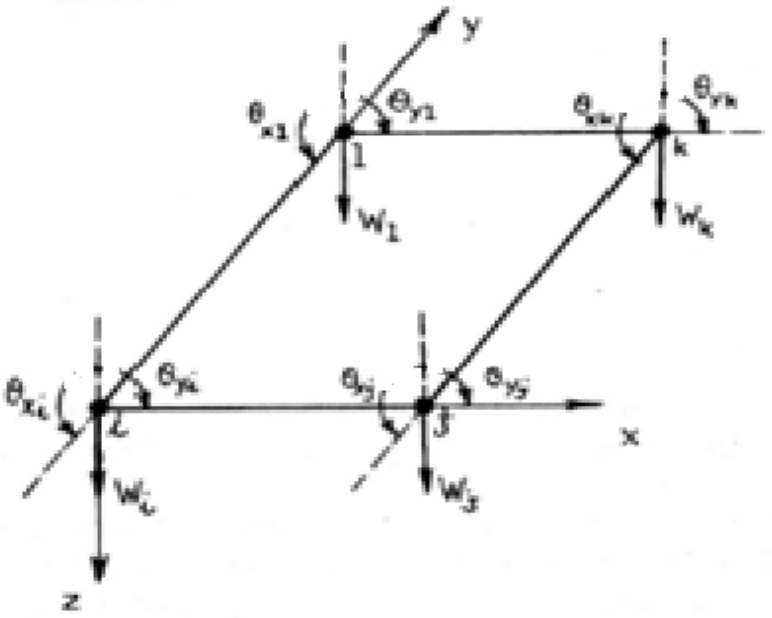


Figure 37 : Système de charge correspondant.

Le système de charges de la figure 3 peut être représente par un vecteur {P} :

$$\{P\} = (P_{z1}, \mathcal{M}_{x1}, \mathcal{M}_{y1}, P_{z2}, \mathcal{M}_{x2}, \mathcal{M}_{y2}, P_{z3}, \mathcal{M}_{x3}, \mathcal{M}_{y3}, P_{z4}, \mathcal{M}_{x4}, \mathcal{M}_{y4})$$

Les forces nodales et les déplacements locaux sont reliés par :

$$\{P\} = [K].\{\delta\} \qquad \text{(III. 16)}$$

Après assemblage, on obtient une équation globale qui s'écrit :

$$\{P_G\} = [K_G].\{\delta\} \qquad \text{(III. 17)}$$

Partie 2 : simulation

Dans cette partie on fait une vérification de la plaque qui constituée dans le pont à partir de la simulation à l'aide de deux logiciels : SOLID-WORKS et ANSYS.

La simulation avec SOLIDWORKS et ANSYS a permis de vérifier le matériau choisi et sa résistance, aussi de tester plusieurs coefficients de sécurité, de savoir plusieurs résultats sans faire des essais expérimentaux et aboutir à sa destruction, donc perte de matière, perte de temps ce qui influe sur le cout et le prix de reviens de la pièce intégrée. L'objectif de la simulation est de faire plusieurs tests sur différents matériaux afin de choisir le plus adéquat à une conception plus économique.

On commence par un dessin de deux démontions, pour obtenir une plaque de trois dimension on clique sur l'icône de bossage extrudé, voir la **figure 38** et la **figure 39**

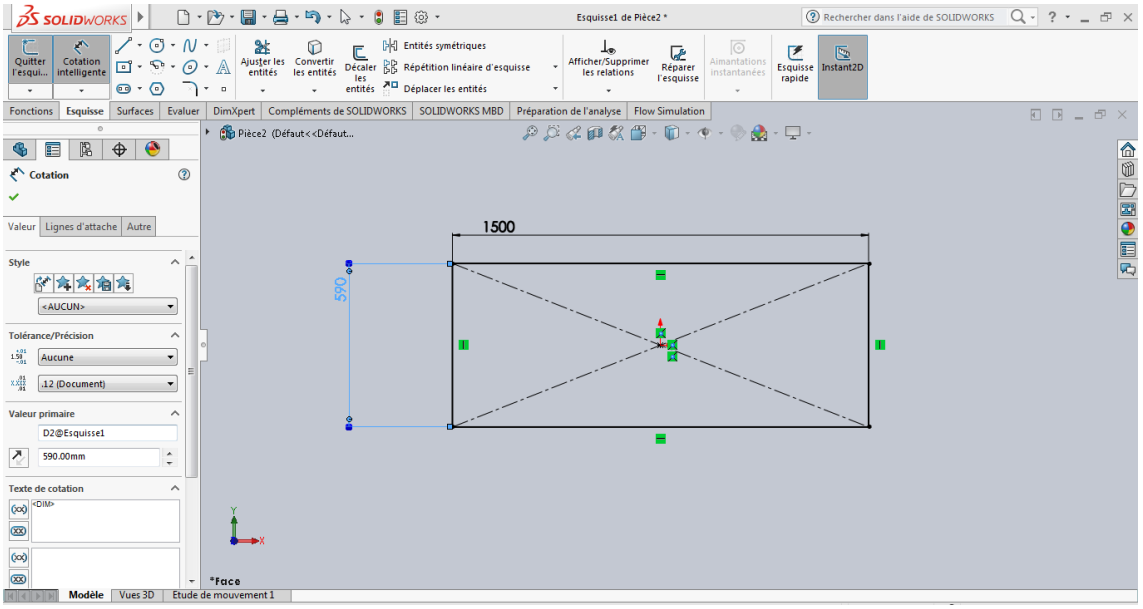


Figure 38 : Conception de la plaque2D. SOLIDWORKS

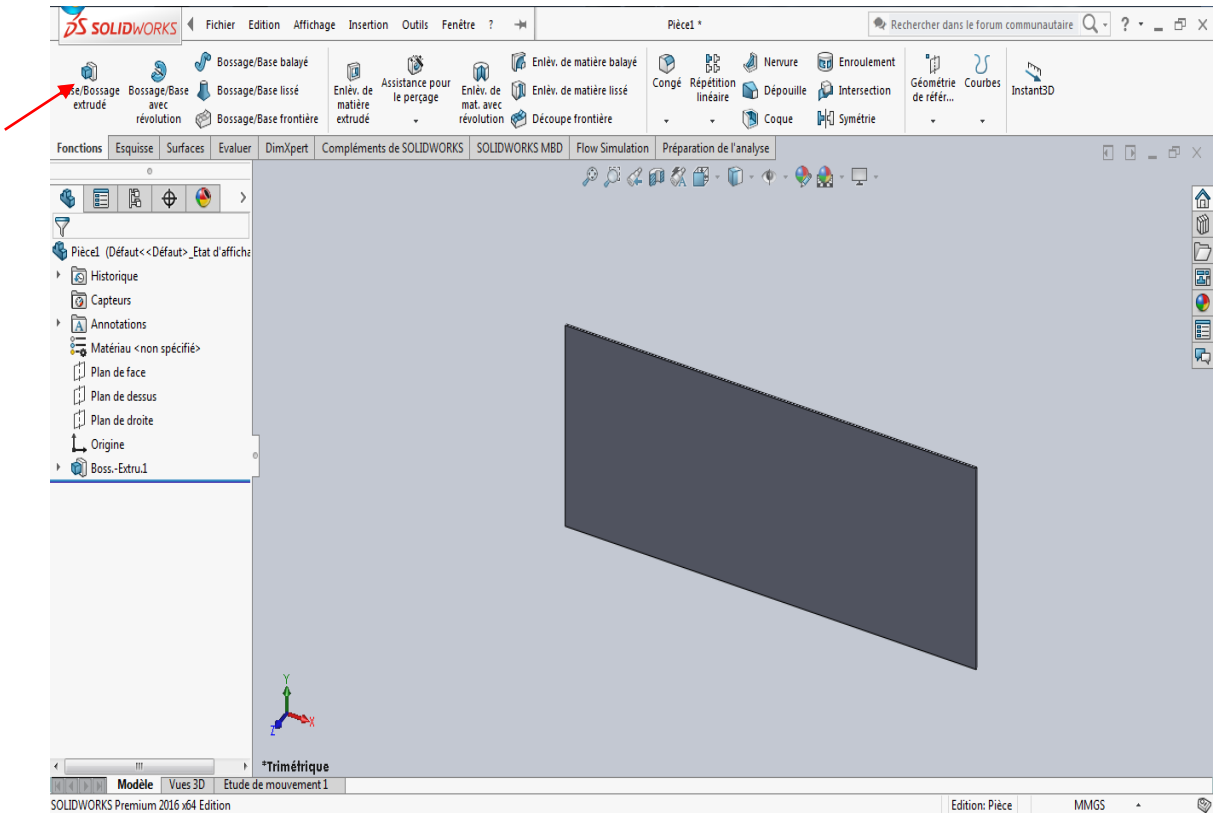


Figure 39 : Conception de la plaque3D. SOLIDWORKS

a. Données relatives de matériau :

- **AL5083H111 :**

Tableau 12 : Constants de matériaux AL5083H111.

Masse volumique	2,69e-006 kg mm^-3
Chaleur spécifique	9,1e+005 mJ kg^-1 C^-1
Module de compressibilité MPa	58330
Module de cisaillement MPa	26920

- **Elasticité isotrope :**

Tableau 13 : Elasticité isotrope.

Module de Young MPa	Coefficient de Poisson	Module de compressibilité MPa	Module de cisaillement MPa
69500	0,33	68137	26128

b. Géométrie :

Tableau 14 : Constants de géométrie.

Longueur suivant X	1500, mm
Longueur suivant Y	590, mm
Longueur suivant Z	6, mm
Propriétés	
Volume	5,31e+006 mm³
Masse	14,284 kg
Coord. X du centre de gravité	750, mm
Coord. Y du centre de gravité	295, mm
Coord. Z du centre de gravité	3, mm
Moment d'inertie Ip1	4,1439e+005 kg·mm²
Moment d'inertie Ip2	2,6783e+006 kg·mm²
Moment d'inertie Ip3	3,0926e+006 kg·mm²
Statistiques	
Nœuds	226
Eléments	24

c. Systèmes de coordonnées :

Tableau 15 : Système de coordonnée.

Vecteurs directionnels	
Données de l'axe X	[1, 0, 0]
Données de l'axe Y	[0, 1, 0]
Données de l'axe Z	[0, 0, 1]

d. Maillage :

Le maillage est une étape fondamentale de l'analyse de conception. Le meilleur automatique du logiciel génère un maillage s'appuyant sur une taille d'élément globale, une tolérance globale ainsi que sur les spécifications locales de contrôle du maillage. Le contrôle du maillage permet de définir différentes tailles d'élément pour les composants, faces, arêtes et sommets. On a choisi un maillage de forme carré, voir dans **la figure 40**

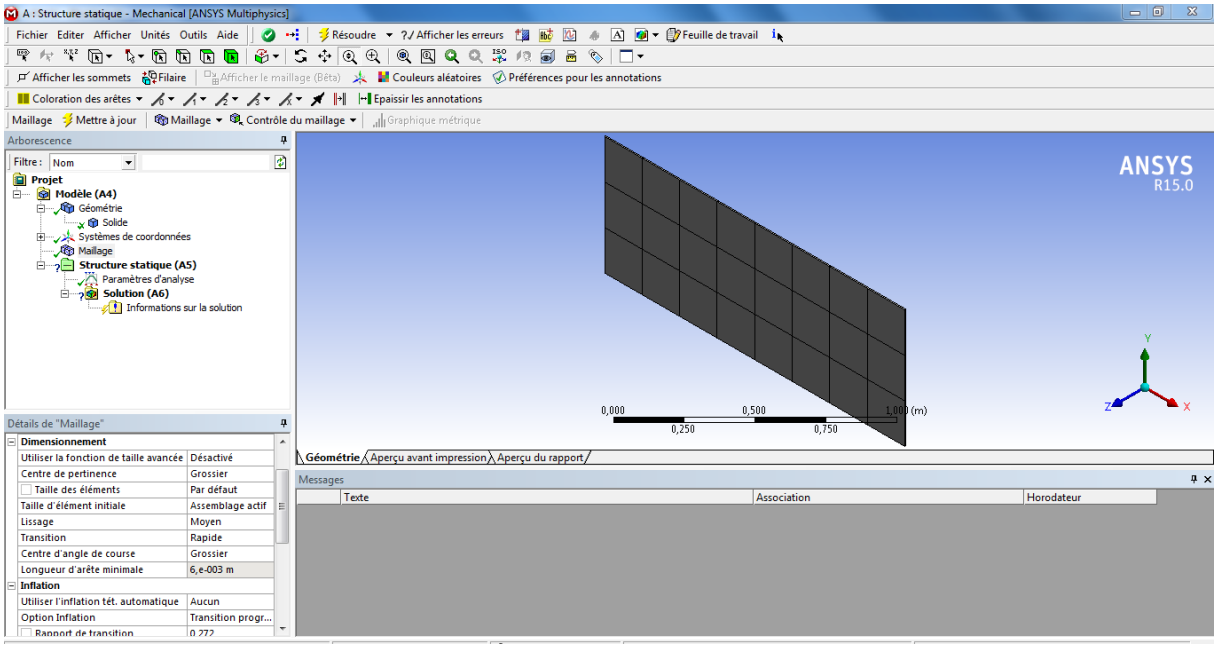


Figure 40 : Maillage de la plaque. ANSYS

Tableau 16 : Maillage.

Dimensionnement du maillage	
Taille des éléments	200,0 mm
Epaisseur maximale	6, mm
Angle maximum	90,0 °

e. Structure statique :

Tableau 17 : Structure statique.

Type	Support fixe	Force
Défini par	4 faces	Vecteur
Intensité		882, N (exprimé sous forme de rampe)
Direction		Ver l'axe Z

Après avoir tracée le maillage on passe à la structure statique pour appliquer sur la plaque les forces et défini la partie de l'encastrement par une géométrie fixe voir la **figure 41.**

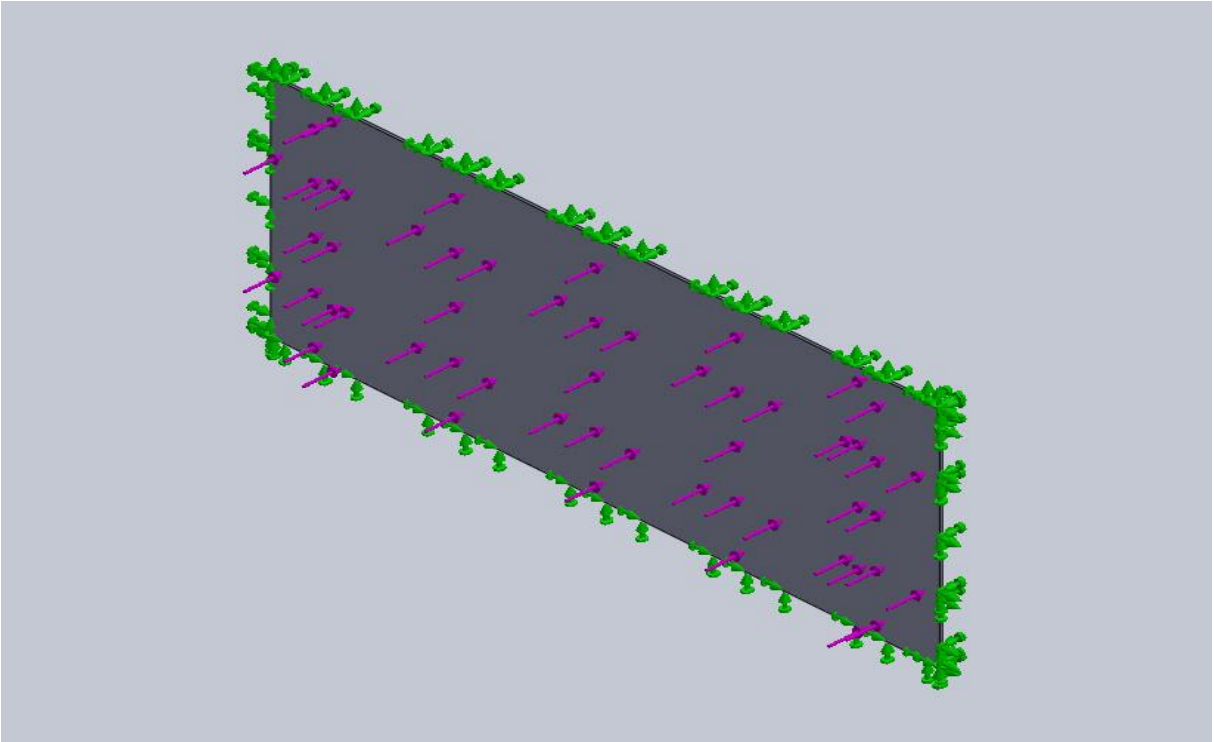


Figure 41 : La force supposée sur la plaque et l'encastrement en quatre bords.

f. Solution :

Tableau 18 : Résultat.

	Déplacement total	Déplacement sur l'axe x	Déplacement sur l'axe y	Déplacement sur l'axe z	Déformation élastique équivalente
Min	0 mm	-1,5883e-003 mm	-3,2802e-003 mm	-1,4911e-004 mm	2,1059e-007
Max	0,19544 mm	1,5846e-003 mm	3,2697e-003 mm	0,19544 mm	3,9336e-005

Tableau 19 : Suite Résultat.

	Déformation élastique principale maximale	Déformation élastique principale minimale	Déformation élastique normale	Déformation plastique équivalente	Déformation totale équivalente	Contrainte équivalente
Min	-1,4406e-006	-3,7902e-005	-1,9694e-005	0	2,1059e-007	3,1293e-003 MPa
Max	3,8261e-005	5,6406e-007	1,775e-005	0	3,9336e-005	2,6829 MPa

- **Résultats contrainte :**

Tableau 20 : Résultats de contrainte.

	Contrainte principale maximale	Contrainte principale minimale	Contrainte normale	Erreur structurale	Energie de déformation
Minimum	-1,6546 MPa	-3,6578 MPa	-2,0002 MPa	1,6028e-010 Mj	1,3606e-008 mJ
Maximum	3,8707 MPa	1,821 MPa	1,8573 MPa	0,32651 mJ	0,124 mJ

- **Moment de réaction :**

Tableau 21 : Moment de réaction.

Temps [s]	Moment de réaction (X) [N·mm]	Moment de réaction (Y) [N·mm]	Moment de réaction (Z) [N·mm]	Moment de réaction (Total) [N·mm]
1,	-0,35848	-0,36748	-4,3101e-003	0,51339

g. Résultats obtenue de contrainte (Von mises) :

Cette simulation permet d'analyser les contraintes d'Une plaque, pour un matériau en AL5083H111. **La figure 42**, montre une déformation de la plaque, Nous voyons dans la partie de l'encastrement une zone de couleur rouge qui signifie que dans cet endroit la résistance de la plaque est faible, on remarque que la contrainte Max sur la plaque Très proche à la limite élastique donc il faut soit changer l'épaisseur ou renforcée cette plaque.

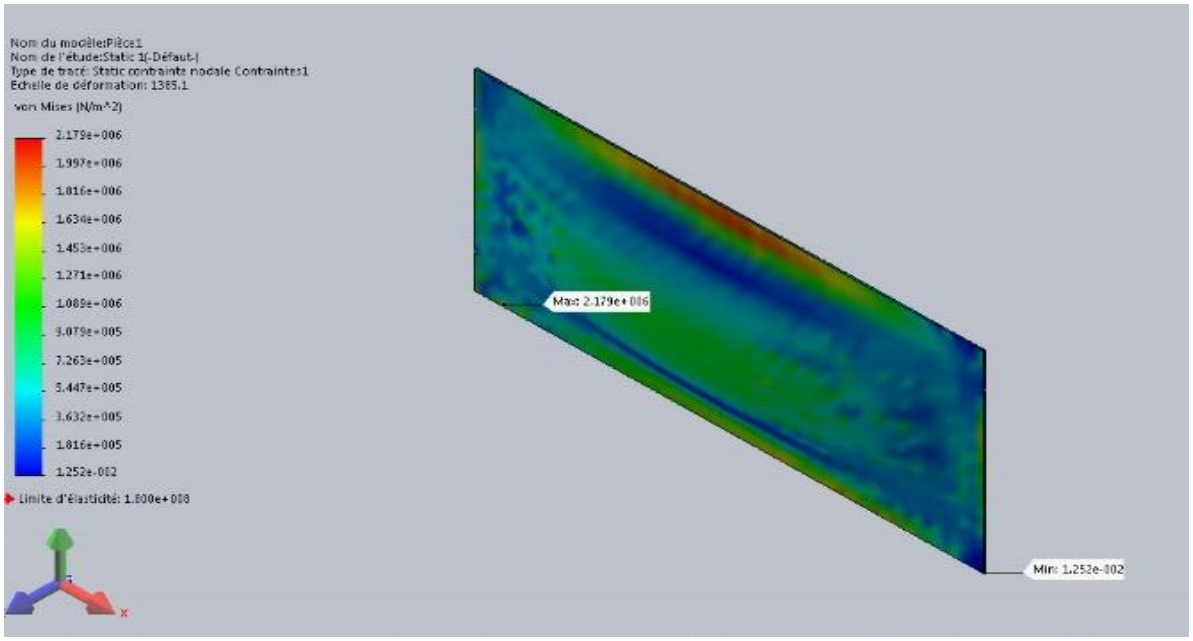


Figure 42 : Contrainte de la plaque.

h. Résultats obtenue du déplacement :

La figure 43 au-dessous montre le résultat obtenu du déplacement, nous avons remarqué que la forme de la plaque a changé mais il est toujours dans la zone jaune, ce qui permet de déduire que le matériau AL5083H11 résiste aux efforts appliqués et le déplacement est rassuré.

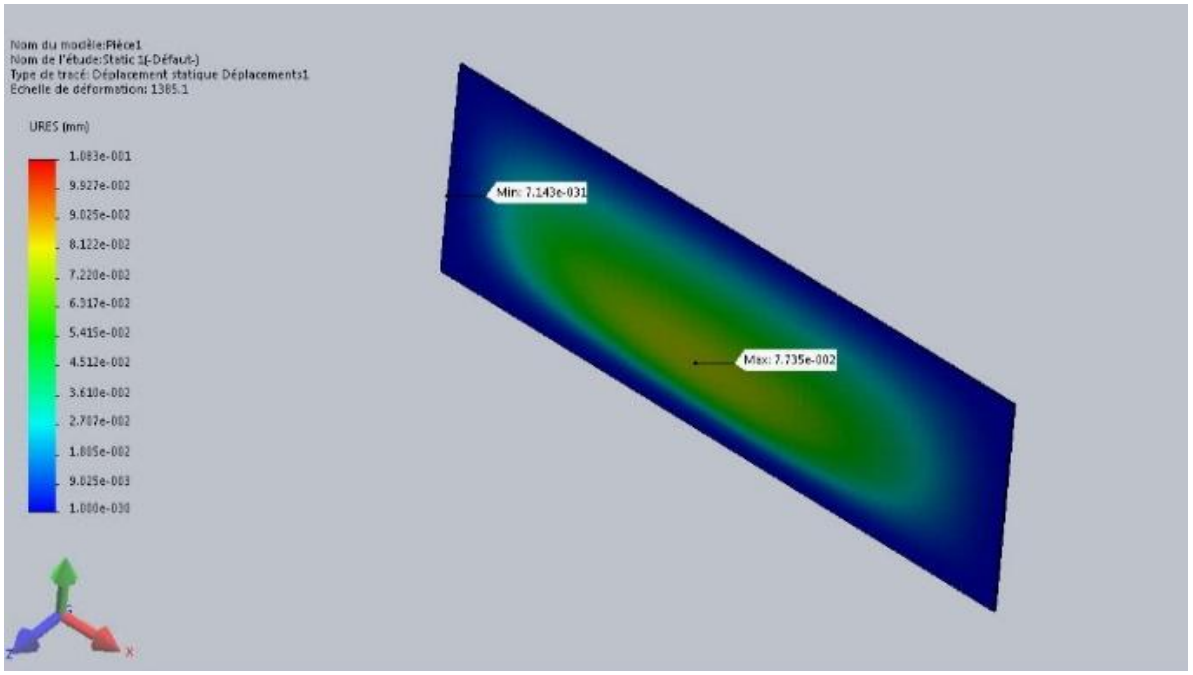


Figure 43 : Déplacement de la plaque.

i. Résultats obtenue de la déformation :

La figures 44 au-dessous montre que la plaque a subit des déformations aux point d'application de charge, ces déplacements sont toujours dans la zone de sécurité (zone bleu) mais le corps (la plaque) résiste toujours en toutes sécurité, ce qui valide notre choix du matériau qui as pour valeurs physiques ou mécanique plus large, donc il résiste bien aux efforts de déformation.

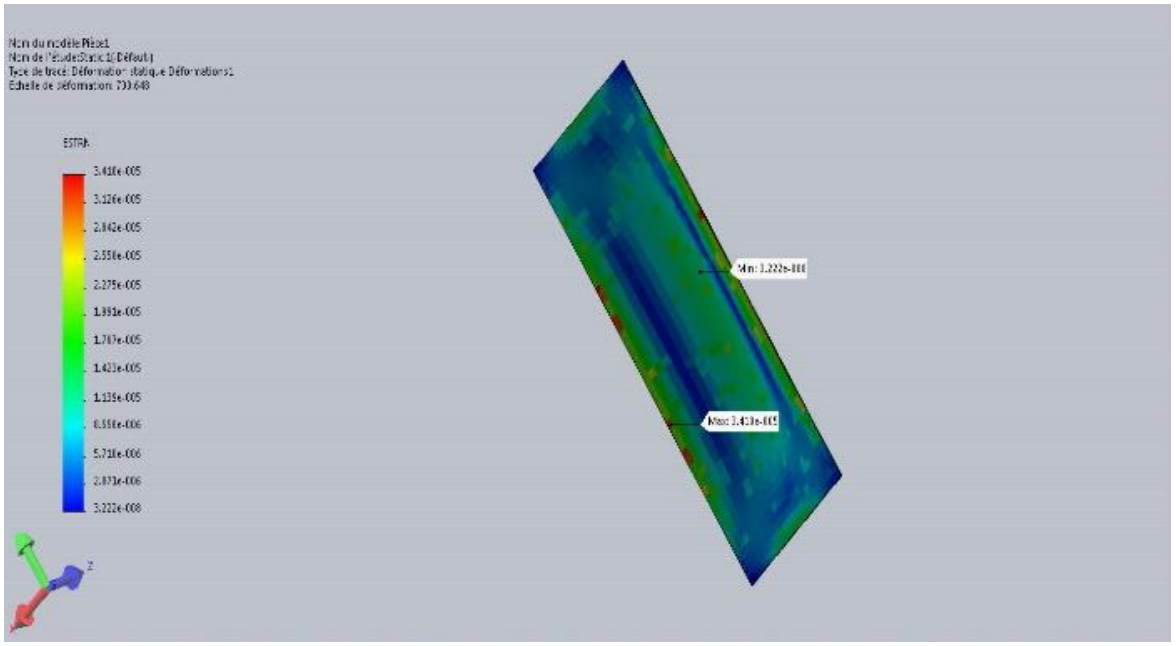


Figure 44 : Déformation de la plaque.

Conclusion :

L'étude du comportement des plaques, est un sujet très important dans le domaine de calcul des structures, il occupe une place aussi vaste dans la recherche scientifique depuis des siècles, avec le développement des outils informatique très puissants et l'apparition des logiciels de calcul très performants, la modélisation des plaques comme d'autres domaines de modélisation des structures est devenue très efficace et très rationnelle, c'est à dire on peut arriver à comprendre leurs comportement avec des modèles numériques et atteint des résultats plus correctes. Apres l'analyse des résultats, nous constatons que cette plaque ne peut pas supporter le poids qu'on a défini, par ce que l'épaisseur de 6 mm et trop petit par rapport la longueur et la largeur de cette plaque, il faut la renforcé ou dessous par des renforce, voir la **Figure 45** et **Figure 46**.

Figure 45 : Structurer longitudinal

Figure 46 : Structurer transversal

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le mémoire a pour objectif l'étude et la vérification des éléments d'un nouveau navire anti-pollution (dépollueur) réalisé par l'entreprise de réparation et construction navale (ERENAV)

La démarche de cette étude repose sur trois axes principaux.

Une présentation descriptive des éléments de L'engin (navire antipollution dépollueur) a été présentée.

Nous nous sommes intéressés à l'étude de l'arbre de transmission du dépollueur. C'est un axe soumis à une sollicitation composée (flexion, traction, torsion). La conception et la simulation de l'arbre a été réalisée via les deux logiciels de conception SoliWorks® et ANSYS.

Nous avons également vérifié à la résistance un élément constitutif du pont du navire (plaque mince) en utilisant les mêmes logiciels.

Enfin, comme perspectives, une étude approfondie des autres éléments du dépollueur doit être envisagé avant la réalisation de ce navire.

Annexe :

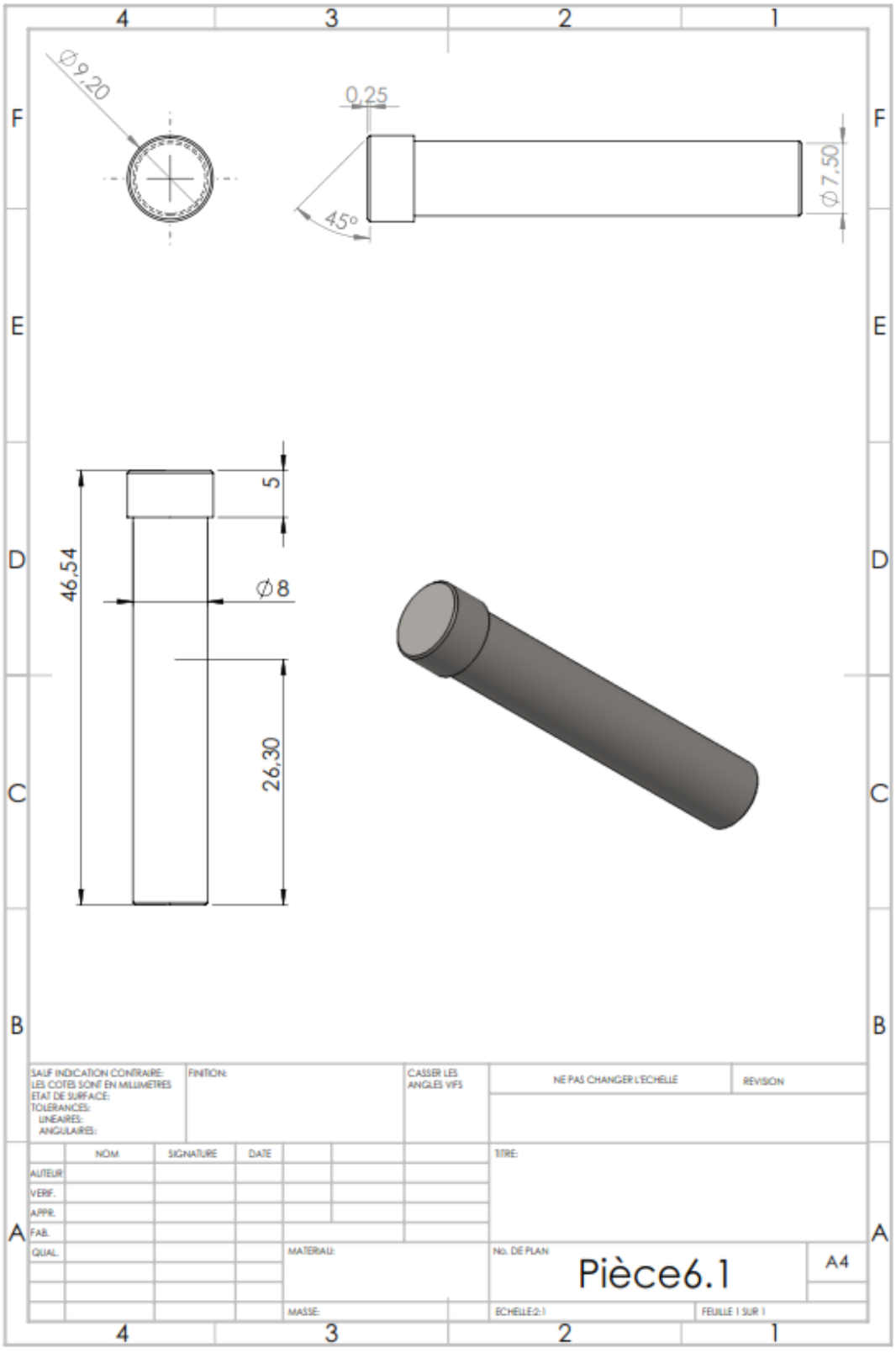


Figure 47: Mise en plan le vis.

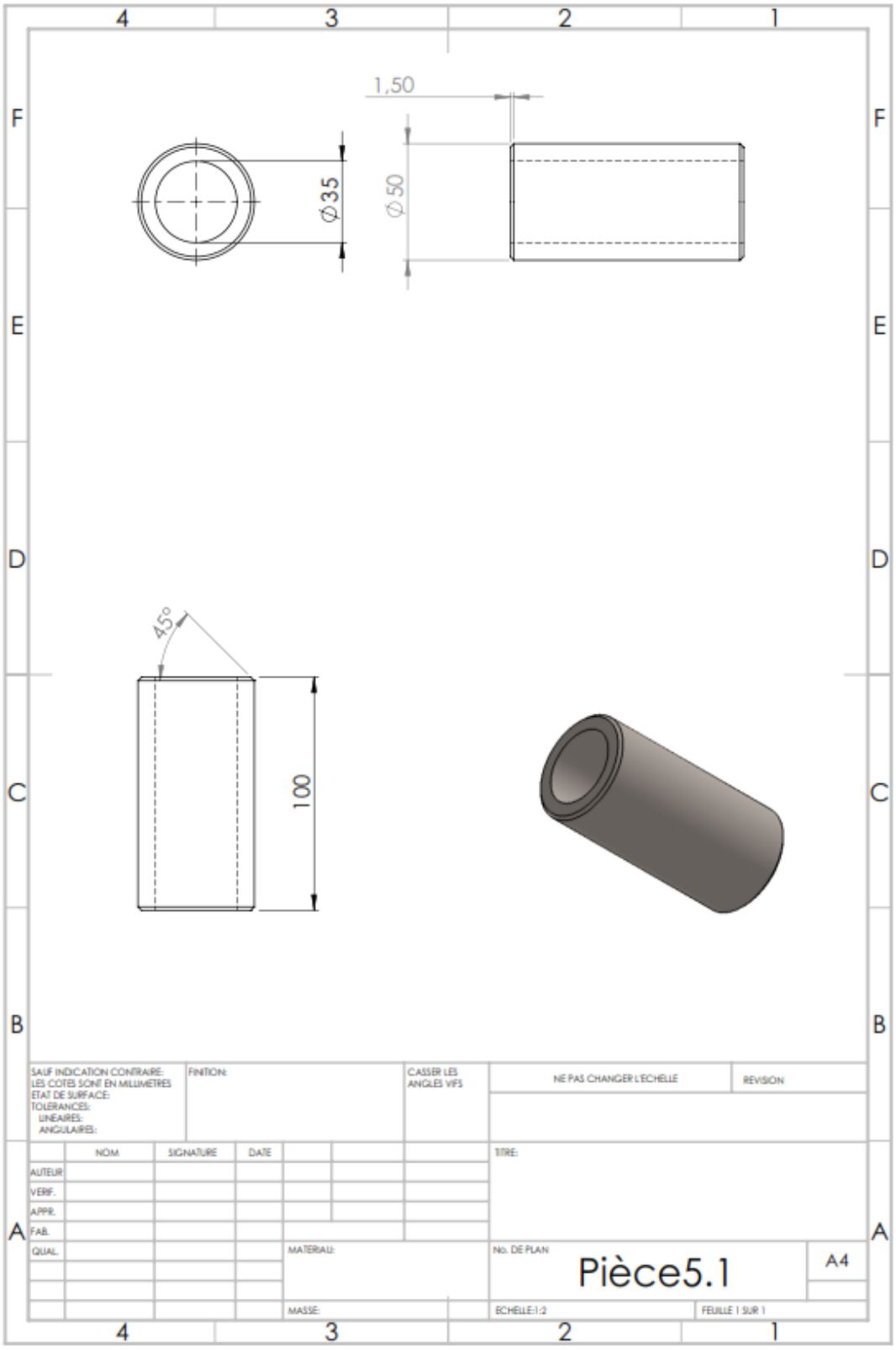


Figure 48: Mise en plan le tube d'étambot.

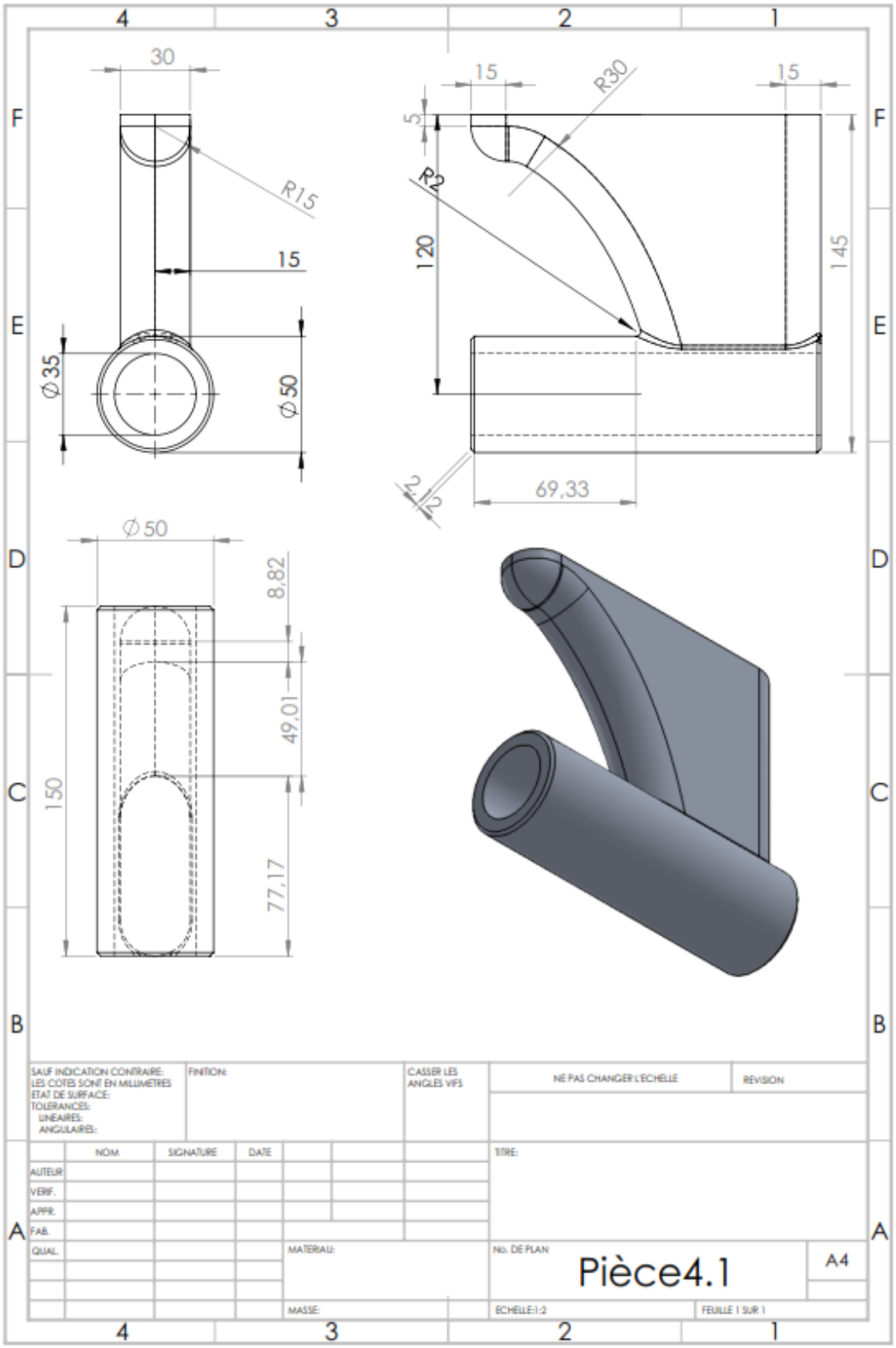


Figure 49 : Mise en plan la chaise palier.

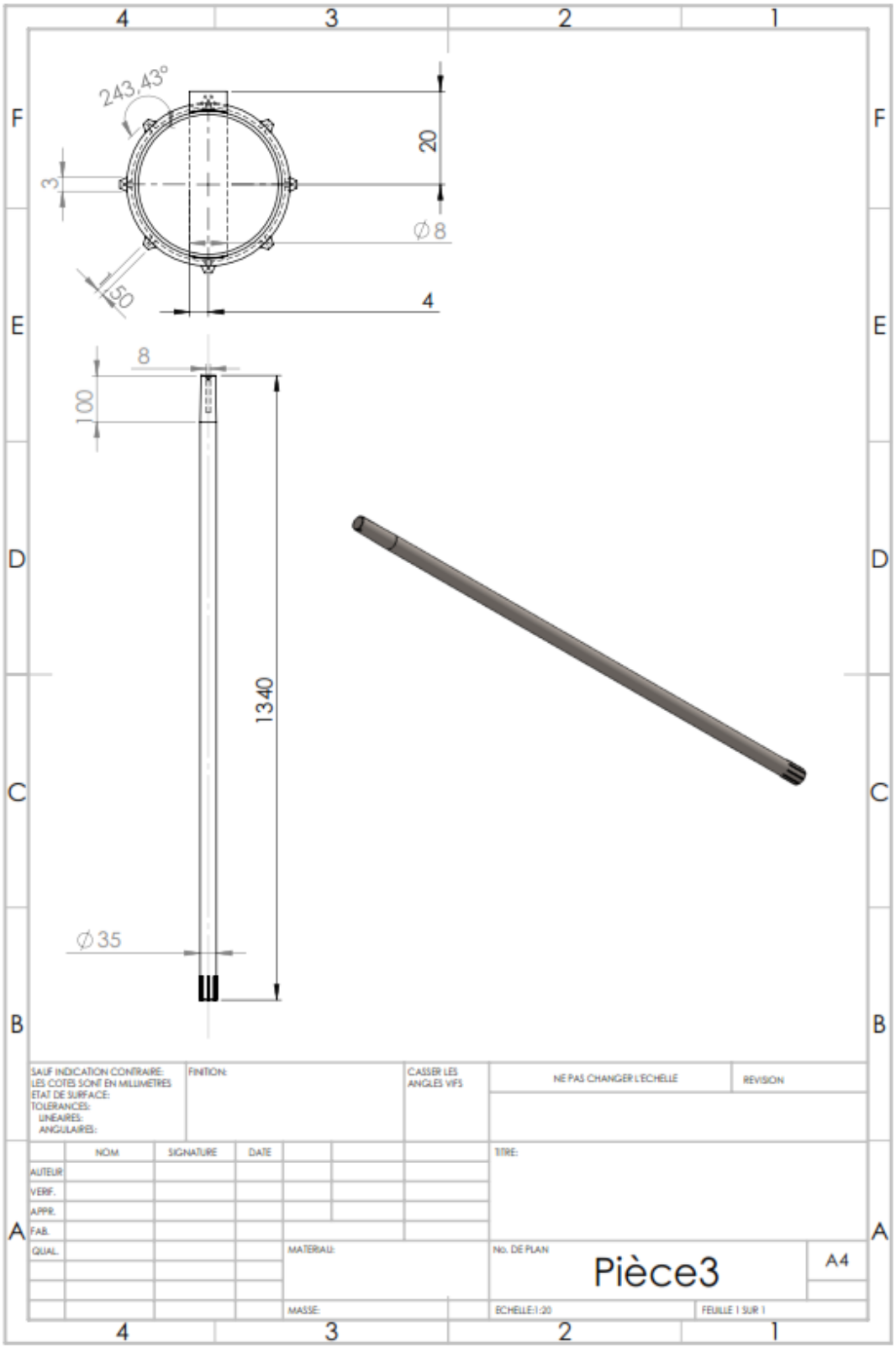


Figure 50: Mise en plan l'arbre de transmission.

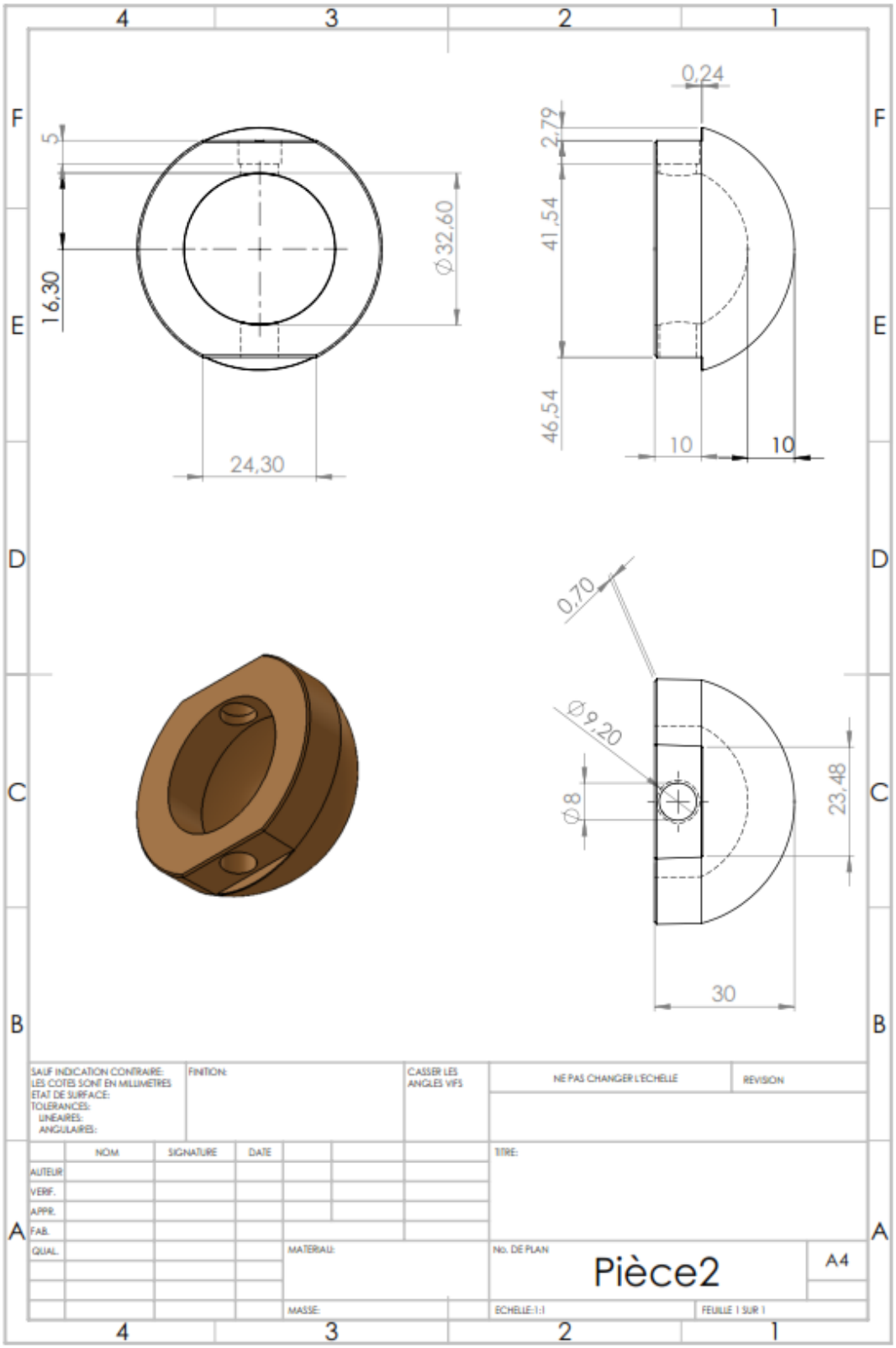


Figure 51: Mise en plan le frein l'hélice.

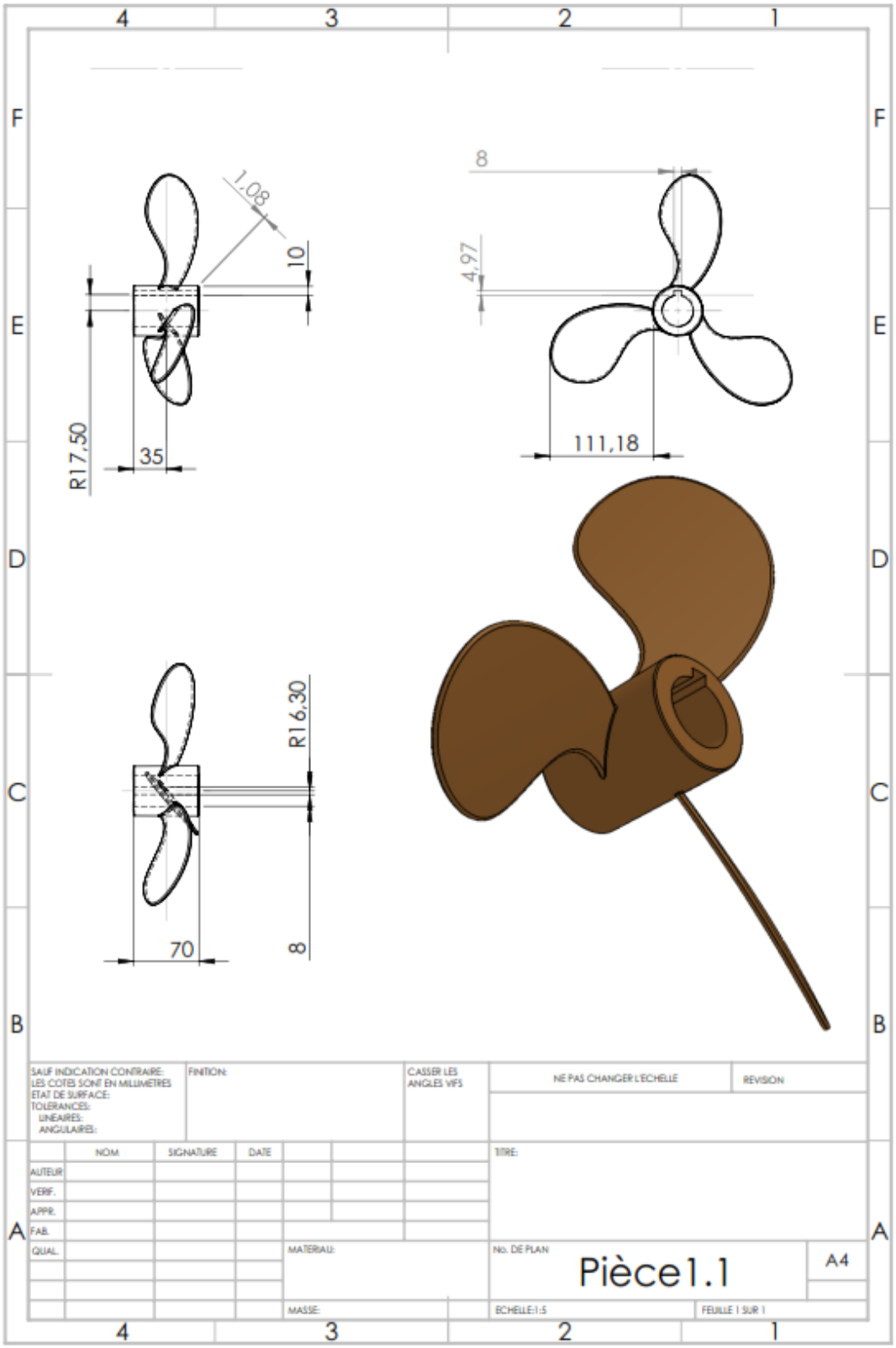


Figure 52: Mise en plan l'hélice.

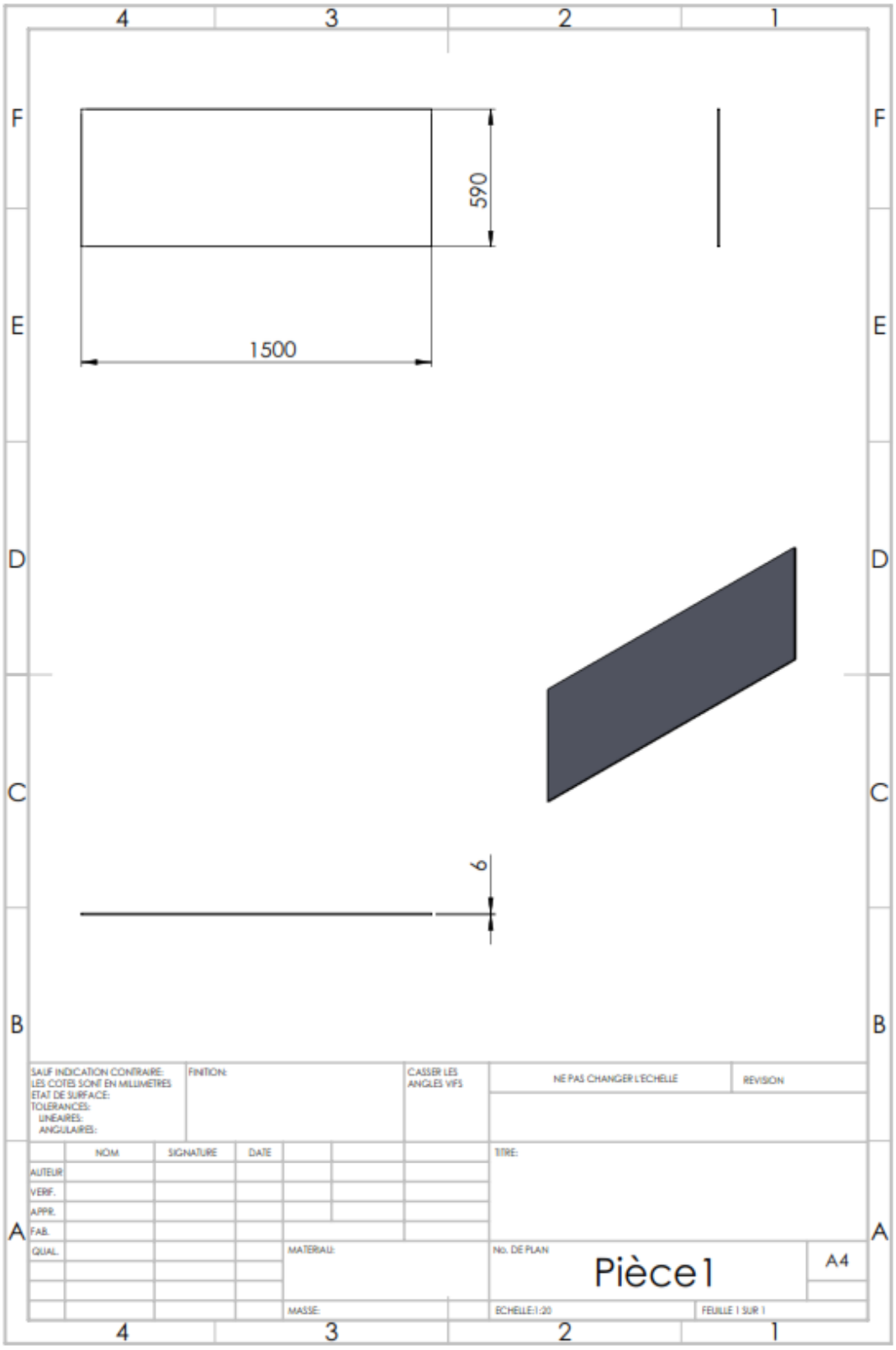


Figure 53 : Mise en plan la plaque.

Références bibliographique :

[1] V.FEDOSSIEV, Résistance des matériaux, Flexion et torsion des barres.

[2] S.Timoshenko, Swoinowsky-krieger, Théorie des plaques minces et coques.

[3] O.Rahmani,S.Khebdani , Elements finis pour la flexion des plaques.

[4] Bel Hadj Ali Nizar, Théorie générale de la flexion des plaques (pdf).

Site web:

[4] https://www.solidworks.com/fr

[5] https://www.ansys.com

[6] https://www.haropaports.com/fr/rouen/green-bateau-depollueur-au-port-de-rouen.