



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université des Sciences et de la Technologie Mohamed BOUDIAF d'Oran  
Faculté de Génie Mécanique  
Département de Génie Maritime

---



Polycopié de

---

*Dimensionnement L'APPARIEL  
GOUVERNAIL*

---

*Dr ZOUBAI ElHadi*

*Septembre 2022*

# SOMMAIRE

<i>Sommaire</i> .....	
<i>Liste des figures</i> .....	
<i>Liste des tableaux</i> .....	
<i>Introduction générale</i> .....	

## CHAPITRE I: GENERALITE SUR L'APPAREILLE A GOUVERNER

I.1 Introduction .....	3
I.2 Le profil de la section .....	4
I.3 Disposition et types des safrans .....	5
I.4 Compensation .....	6
I.5 Etambot ou suspendu .....	7
I.6 Montage des safrans .....	8
I.7 Différents parties du safran .....	10

## CHAPITRE II : CHARGES APPLIQUES A L'ENSEMBLE MECHE-SAFRAN

II.1 Introduction .....	13
II.2 Charges par type du safran .....	13
II.3 Calcul des charges .....	22
II.3.1 Force sur le gouvernail .....	22
II.3.2 Moment de torsion .....	25

## CHAPITRE III : ECHANTILLONNAGE DE L'ENSEMBLE MECHE SAFRAN

III.1 Exemple de dimensionnement d'un appareil à gouverner.....	26
III.1.1 Données principales du navire .....	26
III.1.2 Gouvernail type 5.....	26
III.1.2.1 Surface du safran .....	27
<i>b) Calculs de forces sur gouvernail</i> .....	28
<i>c) Calculs le moment de torsion</i> .....	28
III.1.2.2 Moment de Flexion Maximal, en N.m Agissant sur la Mèche du Gouvernail	29
III.1.2.3 Echantillonnage de la Mèche .....	29
a) Diamètre de la mèche .....	30

b) Echantillonnage du Safran .....	30
c) Accouplements par tourteaux horizontaux .....	31
d) Gouvernail type 6.....	32
III.1.2.4 Affichage des résultats .....	35

## **CHAPITRE IV : MODELISATION NUMERIQUE DU GOUVERNAIL**

IV.1 Introduction .....	39
IV.2 Effet de la variation de la charge sur safran pour le premier cas de fixation .....	41
IV.3 Effet de la variation de la charge sur safran pour le deuxième cas de fixation .....	44
<b>CONCLUSION</b> .....	47

## **BIBLIOGRAPHI**

## CHAPITRE I

Figure I.1 : Comparaison entre deux safrans long et larges.....	04
Figure I.2 : Type des safrans.....	05
Figure I.3 : Compensation d'un safranN .....	07
Figure I.4 : Safran d'un voilier .....	07
Figure I.5 : Dériveur avec un safran .....	08
Figure I.6 : Dériveur avec une partie relevable. ....	08
Figure I.7 : Safran simple tôle.....	09
Figure I.8: Safran d'un voilier "fifty".....	09
Figure. I.9: Coupe transversal (A) et longitudinale (B) d'un safran .....	10
Figure I.10: Exemple d'accouplement entre la mèche et safran. ....	11
Figure I.11 : Démontage d'un safran.....	11

## CHAPITRE II

Figure II.1 : gouvernail de type 1.....	14
Figure. II.2 : gouvernail de type 2 .....	15
Figure II.3 : Semelle d'étambot. ....	15
Figure II.4 : Gouvernail de type 3.....	16
Figure II.5 : Gouvernail de type 4. ....	16
Figure. II.6 : Paramètres géométriques pour le calcul du moment de flexion dans la .....	17
Figure II.7 : Gouvernail type 5 .....	18
Figure II.8 : Gouvernail type 6. ....	19
Figure II.9 : Gouvernail type 7. ....	20
Figure. II.10 : Gouvernail type 8. ....	21
Figure. II.11 : gouvernail type 9 .....	21
Figure II.12 : Gouvernail type 10 .....	22
Figure II.13 : Géométrie d'un safran sans découpe.....	23

## CHAPITRE III

Figure III.1 : position de la hauteur H1 et Hc. ....	29
Figure III.2 : L'interface principale de logiciel. ....	33
Figure III.3 : Palier et mèche du safran. ....	33
Figure III.4 : Forme du safran. ....	33
Figure III.5 : Renforts du safran. ....	34
Figure.III.6: Section transversale du safran .....	34
Figure.III.7: type d'accouplement. ....	34
Figure.III.8: Les charges appliquées au safran. ....	35
Figure III.9 : Emplacement des appuis et des charges. ....	36
Figure III.10 : Efforts tranchent. ....	36
Figure III.11 : Moment fléchissant. ....	37
Figure III.12 : Valeur de $\tau_T$ obtenu par RDM6.....	38
Figure III.13 : Valeur de $\sigma_E$ obtenu par RDM6. ....	38

## CHAPITRE IV

Figure IV.1 : Installation de gouvernail sur l'étambot du navire.....	39
Figure IV.2 : Élément SOLID 185. ....	

Figure IV.3 : Mèche du gouvernail.....	40
Figure IV.4 : safran du gouvernail.....	40
Figure IV.5 : Profil du safran .....	41
Figure IV.6 : maillage du safran et de la mèche. ....	41
Figure IV.7 : Conditions aux limites. ....	41
Figure IV.8: Déformation du gouvernail pour une charge de 100 et 500 MPa.....	42
Figure IV.9 : Déplacement du gouvernail pour les charges 100 et 500 MPa. ....	42
Figure IV.10 : Concentration des contraintes normale pour les charges 100 MPa.....	43
Figure IV.11 : Concentration des contraintes normale pour les charges 500 MPa.....	43
Figure IV.12 : Variation de la contrainte équivalente pour les charges 100 MPa.....	44
Figure IV.13 : Variation de la contrainte équivalente pour les charges 500 MPa.....	44
Figure IV.14 : Déformation du gouvernail.....	45
Figure IV.15 : Variation du déplacement de gouvernail pour les charges 100 et 500 MPa. ....	45
Figure IV.16 : Variation des contraintes normales de gouvernail pour les charges.....	46
Figure IV.17 : Variation des contraintes équivalente de gouvernail pour les charges 100 et 500 MPa. ....	46

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.2 : Coefficient de navigation.....	21
Tableau II.3 : Valeurs du coefficient $r_2$ .....	22
Tableau IV.1 : Propriétés mécanique des matériaux.....	38

## **I Généralité sur l'appareille à gouverner**

### **I.1 Introduction**

Chaque navire quelque soit sa destination (sauf par exception), possède un système de gouvernail, Cet appendice très simple en apparence assure le changement de direction pour une navigation en sécurité pendant l'action du vent, des courants et de la houle.

Le gouvernail consiste essentiellement en un plan défini par « le safran », monté sur un axe vertical « mèche » qui permet de l'orienter par rapport au plan diamétral du navire.

Le safran inventé au moyen-âge à révolutionné l'art de naviguer en remplaçant l'aviron de queue. Il est devenu tellement familier qu'on a tendance à croire qu'une simple tôle plate, quelle que soit sa forme est suffisante pour assurer la direction du bateau. La vérité est bien différente, car le safran à un rôle très important sur le comportement d'une coque qui avance dans l'eau.

Il ne faut pas confondre le safran et le gouvernail qui est l'ensemble des pièces qui composent l'appareil à gouverner. Le safran, n'est qu'une de ces pièces. C'est la partie agissante dans l'eau. Les autres pièces qui composent cet ensemble sont très différentes selon le type de bateau (barre franche, à roue, etc...) mais leur rôle est toujours le même, transmettre les gestes du barreur au safran.

Comme chacun le sait, le safran est l'organe qui assure les changements de direction du bateau et lui permet de tenir une route droite (sauf dans le cas d'une propulsion par embase pivotante comme un z-drive ou moteur hors-bord). Tout ce qui suit est très important dans la conception d'un safran et est basé sur les lois de l'écoulement de fluides, vérifiées et prouvées par les essais en bassin des carènes et par l'aéronautique. L'architecture d'un safran et son écoulement dans le fluide est identique à une aile d'avion. La différence est qu'un avion dont les ailes sont mal conçues, ne vole pas ou tombe.

Un bateau dont le safran est mal conçu flotte très bien mais est pénible à diriger quand le bateau va tout droit, le safran est dans le prolongement exact de l'axe du bateau. Lors d'un changement de direction, on pivote plus ou moins le safran et les filets d'eau sont déviés. Dans le même temps, le safran oppose une résistance à l'avancement et une résistance à la main qui le fait pivoter

Cette résistance est quasiment nulle sur le bord d'attaque (à l'avant du safran) et va croissante vers le bord de fuite (vers l'arrière). A l'inverse, l'efficacité du changement de direction est très importante sur le bord d'attaque et va en diminuant vers le bord de fuite.

Il est donc très facile d'en déduire qu'un safran étroit et profond est beaucoup plus efficace et oppose beaucoup moins de résistance aux commandes de transmission. A l'inverse, un safran long sur le plan horizontal et peu profond, est très peu efficace et oppose beaucoup de résistance aux commandes.

A noter également que moins la vitesse est élevée, moins le safran est efficace, plus son safran doit-être efficace. Pour comprendre, il suffit de comparer le safran d'un voilier et celui d'un bateau à moteur à coque hydro planante [1].

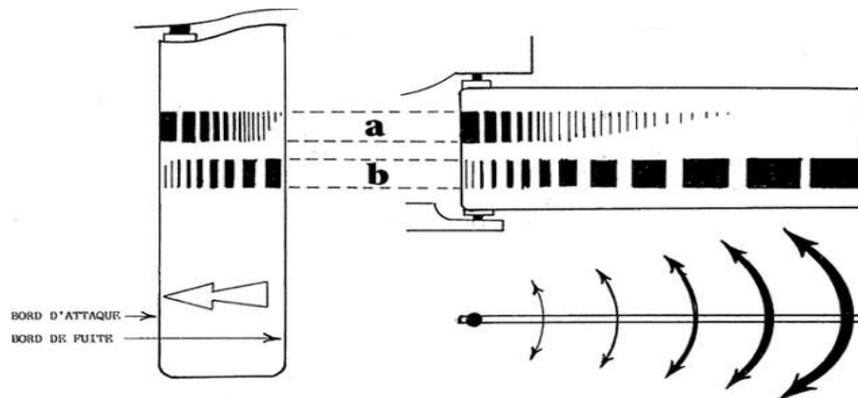


Figure I.1 : Comparaison entre deux safrans long et larges.

## I.2 Le profil de la section

Une tôle plate, ça fonctionne, mais ce n'est pas loin de là la panacée. Un safran plat génère des vibrations une traînée importante et des rappels d'eau sur la surface. Pourtant, bien des constructeurs n'en tiennent aucun compte. La dureté de la barre absorbe les vibrations[2]

Le confort du pilotage s'en trouve affecté ainsi que l'efficacité et personne ne pense à accuser la forme du safran. Le safran agit dans l'eau comme une coque. La forme idéale est la section de deux ailes d'avion collées plat contre plat. Le profil doit-être en goutte d'eau avec l'arrondi devant et le pointu vers l'arrière, comme le profilé d'un poisson vu dessus. Surtout jamais le pointu devant.

Sur un bateau à moteur, lorsqu'un safran agit en virage il dévie la poussée de l'hélice, ce qui augment son efficacité.

Cela permet également de réduire la taille. Par contre, quand le moteur est au point mort et que de bateau à de l'erre (qu'il avance sur son élan) le safran agit comme celui d'un voilier. Il n'a plus de flux à dévier, il se contente de déformer la ligne antidérive. Il agit comme un filet de vis dans un écrou.

Dans la plupart des cas, les safrans de bateau à moteur, sont trop petit pour avoir une efficacité sur l'erre. C'est dommage, car on perd alors un des principaux avantages de la ligne d'arbre sur l'embase, qui est de garder une direction active quand l'hélice ne tourne plus. Dans le cas d'un moteur hors-bord, c'est uniquement le sens de la poussée qui donne la direction. Si on arrête de pousser, il n'y a plus de direction malgré une erre parfois importante, avec les conséquences qu'on imagine lors des manœuvres. Sur le bateau à ligne d'arbre, si l'hélice arrête de tourner, le safran agit toujours.

### I.3 Disposition et types des safrans

Les 2 des safrans sont liées à la disposition des formes d'arrière. S'il existe un plan mince AR le safran est tenue à sa partie par le talon d'étambot (éventuellement à mi-hauteur par des aiguillots si le safran n'est pas composé). S'il n'existe pas de plan mince à l'arrière (arrière de croiseur par exemple).le safran n'est en général pas tenue à sa partie basse : il est soit suspendue soit tenue à mi-hauteur par une crosse : safran à aileron.

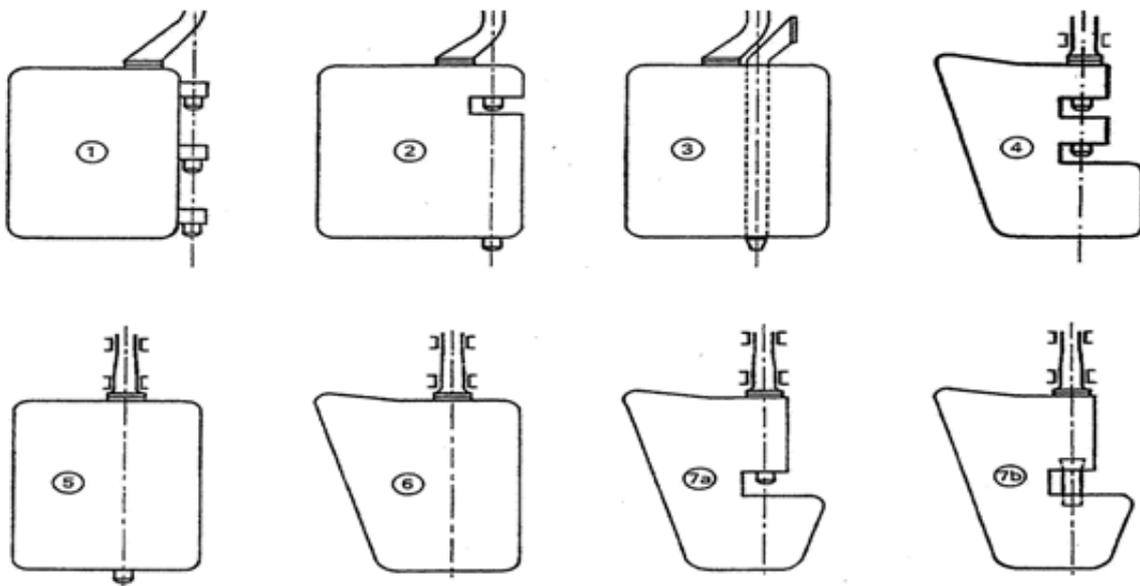


Figure I.2 : Type des safrans [3]

- |   |   |    |                            |
|---|---|----|----------------------------|
| ① | Gouvernail à trois aiguillots               | ⑥  | Gouvernail suspendu.       |
| ② | Gouvernail à deux aiguillots.               | ⑦  | Gouvernail semi- suspendu. |
| ③ | Gouvernail à genre simplex                  | ⑦a | Aiguillot simple.          |
| ④ | Gouvernail semi-suspendu à deux aiguillots. | ⑦a | Aiguillot encastré.        |
| ⑤ | Gouvernail sans aiguillot intermédiaire.    |    |                            |

#### I.4 Compensation

Sur un voilier, la barre peut devenir occasionnellement dure lors de la gîte, car la carène dynamique (penchée), devient asymétrique. Sur un bateau à moteur (qui ne déjauge pas), quand on tourne le volant ou qu'on pousse la barre, le safran dévie la poussée de l'hélice quand il n'est plus dans l'axe (en virage). L'effet est de faire tourner le bateau puisqu'une partie de poussée agit de façon oblique. Mais le safran doit résister à cette poussée pour ne pas se remettre dans l'axe.

Pour que la force à exercer sur la barre reste docile et accessible, une solution simple, est gratuit, ça ne tombe pas en panne et en plus, ça rend le safran plus efficace. C'est même adaptable en barre franche puisque la plupart des voiliers en sont équipé.

Le principe est simple, une partie du plan du safran se trouve en avant de l'axe de pivotement. Ainsi les forces se contrarient pour s'annuler à la barre qui reste docile de façon tout à fait naturelle. De plus, le flux dévié est plus important. De combien doit-on compenser ?

La formule est assez complexe pour la développer ici. Disons simplement que la partie avant ne doit jamais dépasser un quart de la partie arrière. Dans le cas contraire, le safran serait appelé à contre sens lors d'un virage et le bateau partirait tout seul au "lof" comme un voilier" [3].

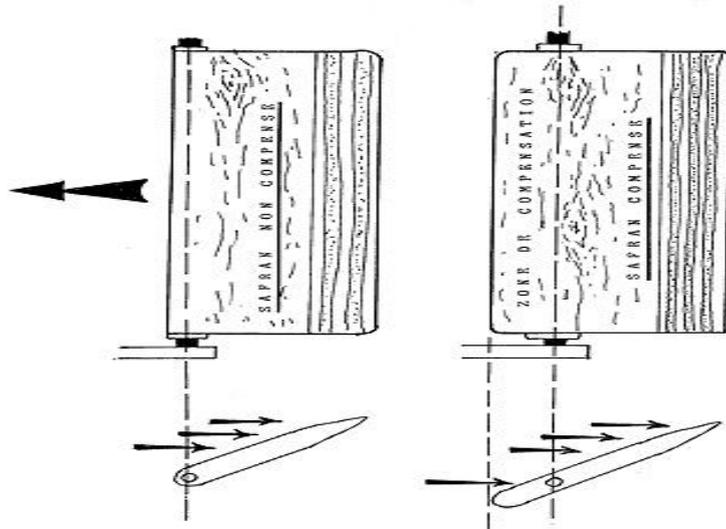


Figure I.3 : Compensation d'un safranN [3]

### I.5 Etambot ou suspendu

Le safran est un appendice qui encaisse parfois des forces terribles et le montage de certain fait frémir. Le montage le plus sérieux est sans aucun doute, le safran repris sur étambot dans sa partie basse. Par contre, les quille des bateaux fluviaux, quand elles existent sont souvent peu profondes. Dans ce cas cela limite les formes de safran préconisées plus haut [4].



Figure I.4 : Safran d'un voilier [4]

## I.6 Montage des safrans

Commençons par l'extrémité supérieure avec ce safran de voilier. Un bord d'attaque long, une compensation en avant de l'axe, une largeur qui ne permet pas à la résistance de s'amplifier. Ce n'est peut-être pas un hasard si la forme générale rappelle une nageoire de cétacé. Un appendice qui pour l'animal joue également le rôle de safran [4].



Figure I.5 : Dériveur avec un safran [4].

Un dériveur lesté avec un safran qui se relève vers l'arrière quand la dérive centrale est relevée en eau peu profonde. Avec les différentes positions possibles, le principe sur les rapports hauteur/largeur est très facile à démontrer.



Figure I.6 : Dériveur avec une partie relevable.

Un autre dériveur lesté avec seulement une partie relevable. Ici on sent bien que le paramètre solidité et protection à l'échouage l'a emporté sur l'écoulement dans le fluide.



Figure I.7: Safran simple tôle[4]

Ce vieux safran à été dessiné sur des bases empiriques et hormis la petite compensation on ne trouve pas grand chose au crédit de cette "tôle"



Figure I.8: Safran d'un voilier "fifty"[4]

Dans le concept du safran de ce voilier "fifty" (concept 50% voile, 50 % moteur) on sent bien la recherche déco un peu désuète dans le style du bateau. La forme est sympa, mais ce design empirique ne répond aucunement aux lois de l'écoulement dans les fluides, par contre, le safran est l'exemple même du mauvais safran qui s'inscrit dans la logique des idées reçues. Pas de compensation et une longueur démesurée inutile et nuisible.

### I.7 Différents parties du safran

Le safran pivote à l'aide d'une mèche qui peut tourner grâce à un système hydraulique ou électrique. La semelle ainsi que le safran munis de lunettes (Fig. I.8).

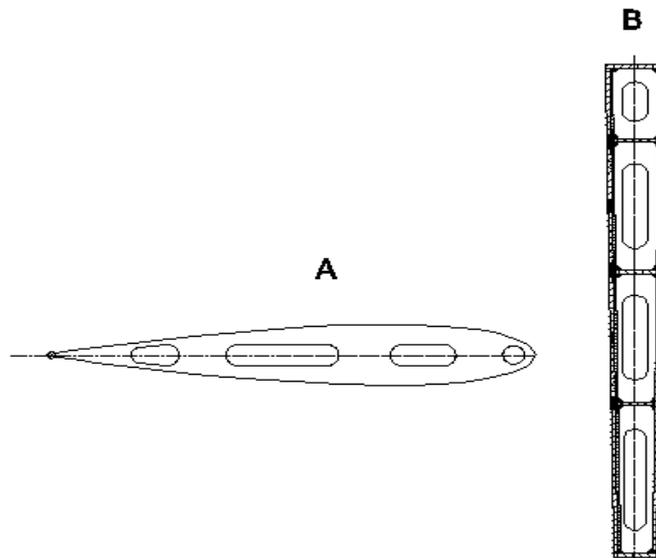
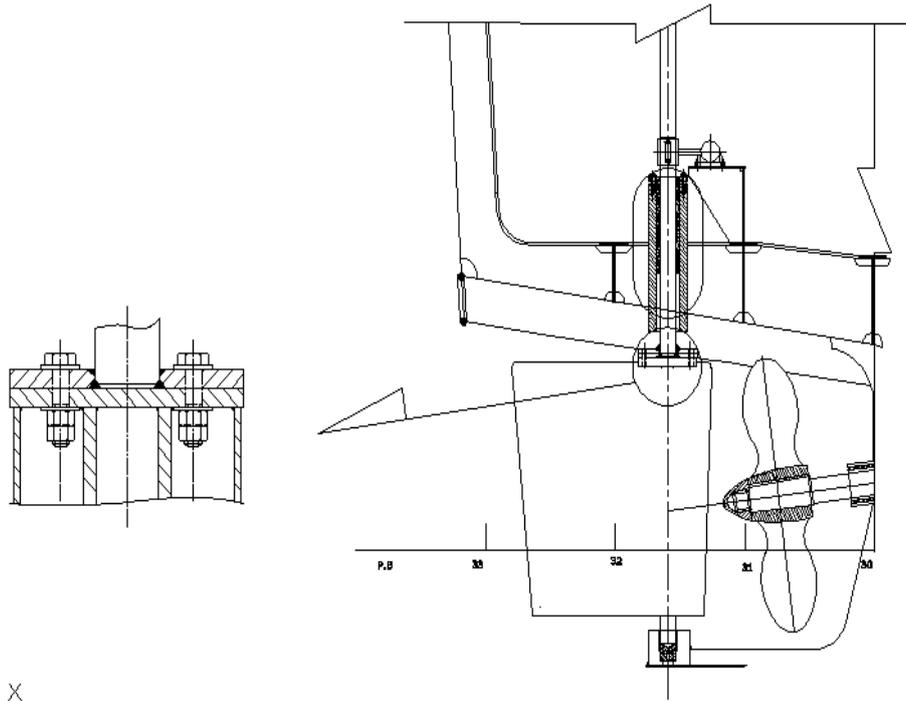


Figure. I.9: Coupe transversal (A) et longitudinale (B) d'un safran.

A travers ces lunettes qui sont placées l'une au dessus de l'autre, passe des guides les axes verticaux de la mèche sont en ligne (safran type 1 Fig. :), la jonction entre la pièce maitresse et la mèche se fait par accouplement.

Au début les accouplements verticaux en été utilisés, par contre de nos jours des accouplements horizontaux sont exclusivement préférable. Ceci du fait que pour avoir un écoulement optimal, le safran doit être le plus prés possible de la partie arrière du bateau, ce qui donne une position avec un maximum de sécurité avec un accouplement horizontal.

Les compagnies de transports maritimes demandent à ce que les brides du safran et de la mèche puissent se déplacer verticalement l'une par rapport à l'autre et ceci dans le cas du démontage du safran (Figure. I.9).



X

Figure I.10: Exemple d'accouplement entre la mèche et safran.

Dans ce cas la mèche est orienter vers le côté Tribord et le safran vers le côté Babord le safran est élevé d'une distance qui permettra au guide (Pivot) de se dégager des lunettes.

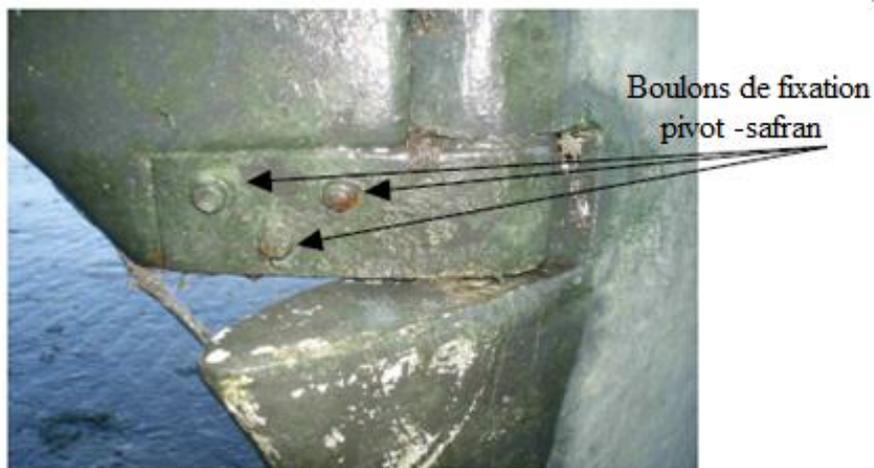


Figure I.11 : Démontage d'un safran [4]

L'accouplement lui-même est protégé d'une enveloppe ayant une forme hydrodynamique. Cette dernière est remplie d'un ciment bitumineux, elle facilite l'écoulement de l'eau et protégé l'accouplement. Le safran est donc supporté et suspendu au palier supérieur.

Le pivot inférieur situé dans le talon ne doit aucun cas être supporté par la partie métallique de la semelle. Un jeu de 5 à 10mm est suffisant au cas où le palier supérieur est usé, le safran doit déceindre et doit éventuellement être supporté par la partie métallique de la semelle. Un jeu doit être existé entre les lunettes du safran, de la semelle et des pivots à fin d'éviter l'existence d'autre force de friction.

## II CHARGES APPLIQUÉES À L'ENSEMBLE MECHE-SAFRAN

### II.1 Introduction

Pour faire le calcul d'un appareil à gouverner il faut déterminer la charge maximale que celui-ci peut supporter. Ce qui veut dire, la détermination de la force maximale est de son point d'application. Ces deux (2) facteurs déterminant la force sur la partie maîtresse et son moment maximal qui nous permettent le dimensionnement de l'appareil de gouvernail.

Il est clairement vu que le moment du safran est directement lié à la surface du safran, l'angle du safran et le carré de la vitesse.

La surface à donner aux safrans dépend du type de bâtiment. Elle est un élément essentiel de la valeur de  $\rho/L$ .

Avec :  $\rho$  : la profondeur de la carène.

L : la longueur de la carène.

On la proportionne à la surface dérive (estimer en général approximativement par le produit de la longueur par la profondeur de la carène) [5]

Le rapport :

$$\frac{S}{\Sigma} = \frac{\text{surface du safran}}{\text{surface de dérive}} \quad (\text{II.1})$$

### II.2 Charges par type de safran

En fonction de la forme du safran et du type d'assemblage des différentes parties composant le système gouvernail, dix types de gouvernail sont considérés et présentés dans ce chapitre. Les forces et les moments de torsion agissant sur le gouvernail, sont les suivants:

- Moment de flexion et moment de torsion dans la mèche de gouvernail
- Réactions d'appui
- Moment de flexion, effort de cisaillement et moment de torsion sur le corps du gouvernail

- Moment de flexion, effort de cisaillement et moment de torsion dans les crosses de gouvernail et les semelles d'étambot.

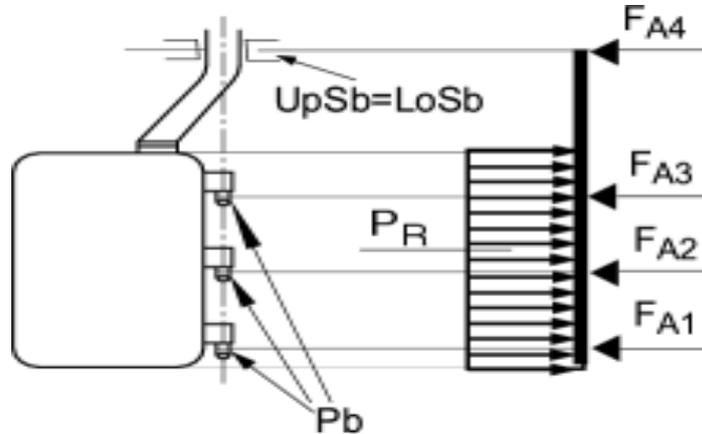


Figure II.1 : gouvernail de type 1[4].

La force par longueur unitaire  $p_R$  agissant sur le safran doit être calculée, en N/m, à partir de la formule suivante:

$$P_R = \frac{C_R}{l} \quad (II.2)$$

Où :

$l$  : Hauteur du safran, en m.

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée selon les formules simplifiées suivantes:

- ✓ pour le moment de flexion maximal, en N.m, agissant sur la mèche du gouvernail:  
 $M_B = 0$
- ✓ pour les réactions d'appui, en N:  
 $F_{A1} = F_{A2} = F_{A3} = C_R/3$   
 $F_{A4} = 0$
- ✓ pour le moment de flexion maximale, en N.m, agissant sur le safran, dans les cas des gouvernails à section profilée:

$$M_R = \frac{C_R l}{24} \quad (II.3)$$

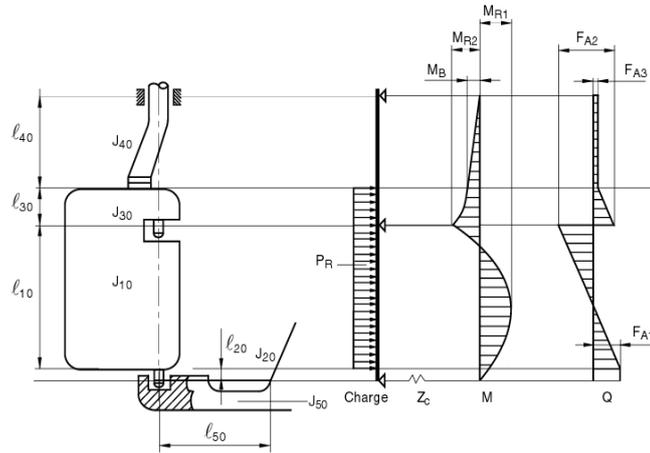


Figure. II.2 : gouvernail de type 2 [4].

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en (Fig. II.2). La force par longueur unitaire  $p_R$  agissant sur le safran doit être calculée, en N/m, à partir de la formule ( $l$ ):

Avec :

$l$  : Hauteur du safran, en m, donnée par:

$$l = l_{10} + l_{30}$$

La raideur  $Z_C$  de la semelle d'étambot (Fig. II.3) doit être calculée en conformité avec la formule suivante.

$$Z_C = \frac{3EJ_{50}}{l_{50}^3} 10^{-8} \quad (\text{II.4})$$

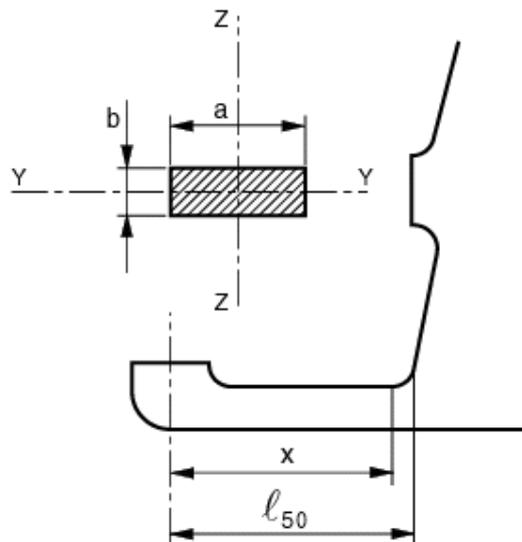


Figure II.3 : Semelle d'étambot.

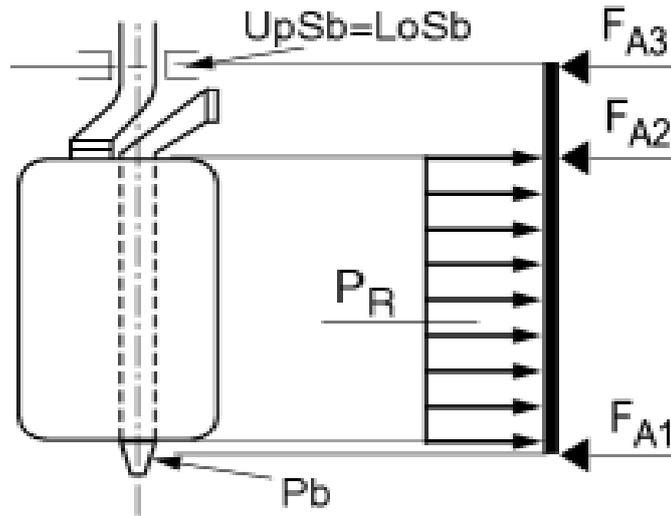


Figure II.4 : Gouvernail de type 3[4].

La force par longueur unitaire  $p_R$  agissant sur le safran doit être calculée, en N/m, à partir de la formule (I).

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée selon les formules simplifiées suivantes:

- ✓ pour le moment de flexion maximal, en N.m, agissant sur la mèche du gouvernail:

$$M_B = 0$$

- ✓ pour les réactions d'appui, en N:

$$F_{A1} = F_{A2} = C_R/2$$

$$F_{A3} = 0$$

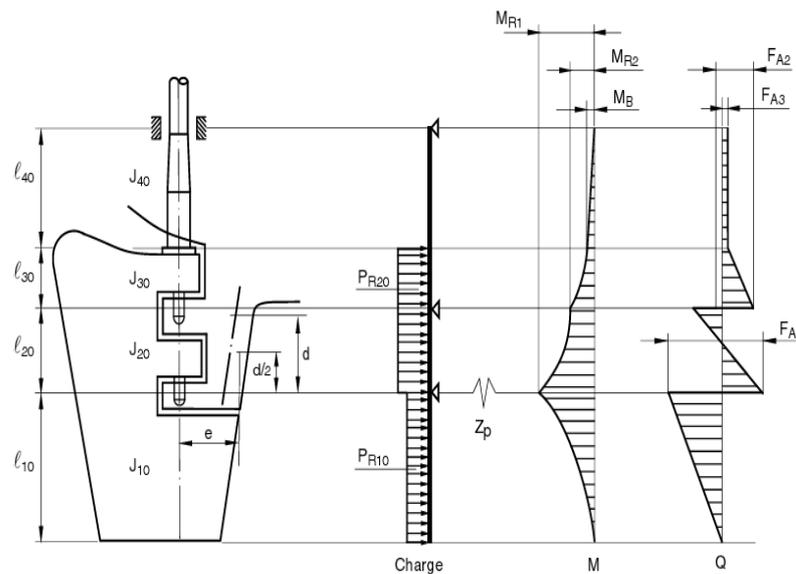


Figure II.5 : Gouvernail de type 4.

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en (Figure II.5) Les forces par longueur unitaire  $p_{R10}$  et  $p_{R20}$  agissant sur le safran doivent être calculées, en N/m, à partir de:

$$P_{R10} = \frac{C_{R2}}{l_{10}} \quad (II.5)$$

$$P_{R20} = \frac{C_{R1}}{l} \quad (II.6)$$

Où:

$$l = l_{20} + l_{30}$$

La raideur  $Z_P$  de la crosse de gouvernail doit être obtenue, en N/m, à partir de la formule suivante :

$$Z_P = \frac{1}{f_B + f_T} \quad (II.7)$$

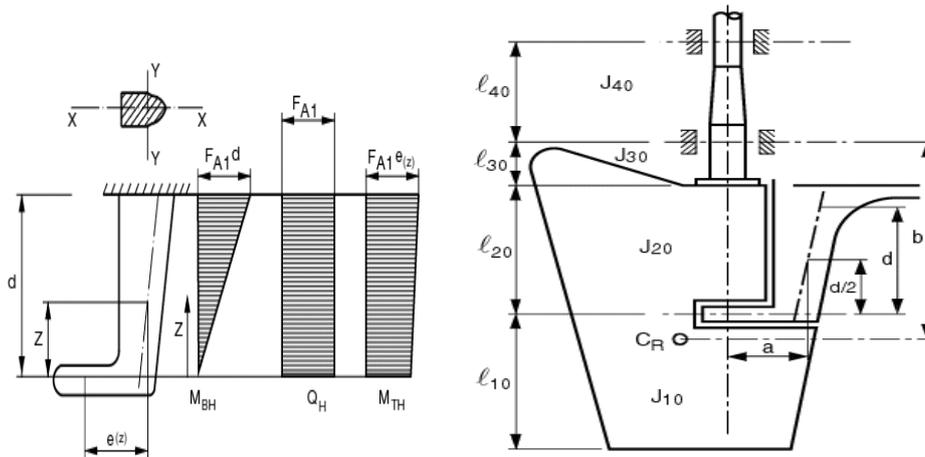


Figure. II.6 : Paramètres géométriques pour le calcul du moment de flexion dans la crosse.

Où:

$f_B$  : Déplacement unitaire de la crosse dû à une force unitaire de 1 N appliqué sur le centre de la crosse, obtenue en m/N, à partir de la formule suivante :

$$f_B = 1,3 \frac{d^3}{3EJ_N} 10^8 \quad (II.8)$$

$f_T$  : Déplacement unitaire dû à la torsion, en m/N, obtenu pour le cas d'une crosse à section creuse et fermée, à partir de la formule suivante:

$$f_T = \frac{d e^2}{4 G F_T^2} \sum_i \frac{U_i}{t_i} \quad (\text{II.9})$$

Avec :

$d$  : Hauteur de la crosse, en m, définie en Fig. II.6, Cette valeur est mesurée vers le bas, à partir de l'extrémité supérieure de la crosse, au point où la courbure devient nulle, jusqu'à la ligne médiane de l'aiguillot inférieur de la crosse

$J_N$  : Moment d'inertie de la crosse par rapport à l'axe x, en  $\text{cm}^4$ , (valeur moyenne prise sur la hauteur  $d$ )

$e$  : Bras de levier de torsion de la crosse, en m, défini en Fig. II.6, (valeur moyenne prise à  $z = d/2$ )

$F_T$  : Moyenne des aires délimitées par les contours externe et interne de la section transversale représentative de la crosse, en  $\text{m}^2$

$u_i$  : Longueur, en mm, des tôles individuelles formant la section moyenne de la crosse

$t_i$  : Epaisseur, en mm, des tôles individuelles mentionnées ci-dessus.

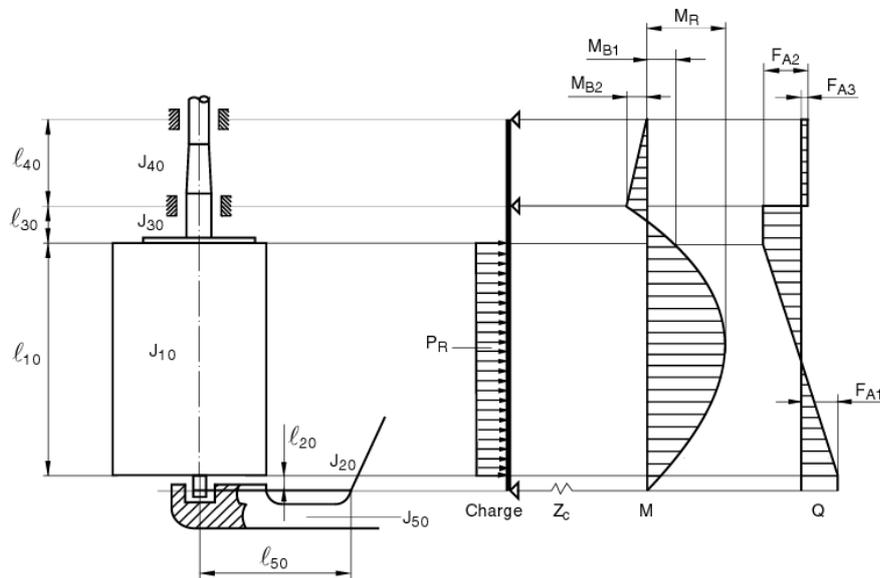


Figure II.7 : Gouvernail type 5 [6].

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en Fig. II.7.

La force par longueur unitaire  $p_R$  agissant sur le safran doit être calculée, en N/m, à partir de l'équation (II.2). La raideur  $Z_c$  de la semelle d'étambot doit être calculée en conformité avec le safran type 2.

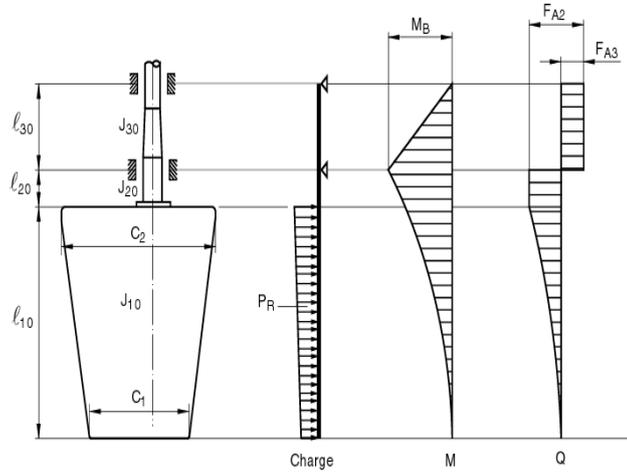


Figure II.8 : Gouvernail type 6.

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en (Fig. II.8).

La force par longueur unitaire  $p_R$  agissant sur le safran doit être calculée, en N/m, à partir de:

$$P_{Rz} = P_{R1} + \left( \frac{P_{R2} - P_{R1}}{l_{10}} \right) Z \quad (\text{II.10})$$

Où:

$Z$  : Position de la section transversale du safran, en m, prise sur la longueur  $l_{10}$

$P_{Rz}$  : Force par longueur unitaire, en N/m, obtenue pour la section transversale du safran se trouvant à la position  $z$

$P_{R1}$  : Force par longueur unitaire, en N/m, obtenue pour la section transversale du safran à  $z = 0$

$P_{R2}$  : Force par longueur unitaire, en N/m, obtenue pour la section transversale du safran à  $z = l_{10}$

Pour ce type de gouvernail, les résultats des calculs réalisés en conformité avec les diagrammes donnés en Fig. II.8 peuvent aussi être obtenus à partir des formules suivantes:

- Moment de flexion maximal, en N.m, agissant sur la mèche du gouvernail:

$$M_B = C_R \left( l_{20} + \frac{l_{10}(2C_1 + C_2)}{3(C_1 + C_2)} \right) \quad (\text{II.11})$$

Où

$C_1$  et  $C_2$  sont des longueurs, en m, définies en Fig. II.8

- réactions d'appui, en N:

$$F_{A3} = \frac{M_B}{l_{30}}$$

$$F_{A2} = C_R + F_{A3}$$

Effort de cisaillement maximal dans le corps de gouvernail, en N:

$$Q_R = C_R$$

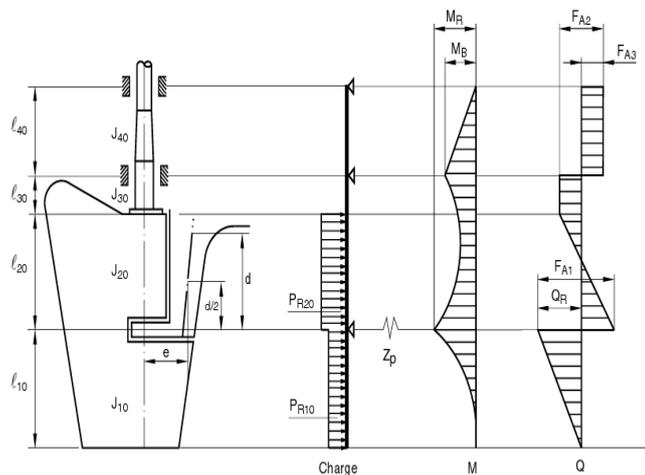


Figure II.9 : Gouvernail type 7.

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en Fig. II.9.

Les forces par longueur unitaire  $p_{R10}$  et  $p_{R20}$  agissant sur le safran doivent être calculées, en N/m, à partir des équations (II.5) et (II.6).

La raideur  $Z_p$  de la crosse doit être calculée en conformité avec le safran type 4 voir Figure II.6.

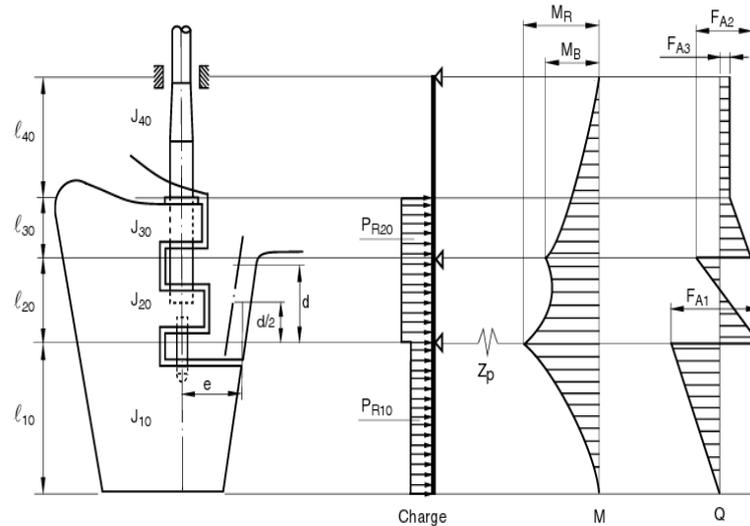


Figure. II.10 : Gouvernail type 8.

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en Figure II.10

Les forces par longueur unitaire  $p_{R10}$  et  $p_{R20}$  agissant sur le safran doivent être calculées, en N/m, à partir des équations (II.5) et (II.6).

La raideur  $Z_p$  de la crosse doit être calculée en conformité avec le safran type 4 voir Figure II.6.

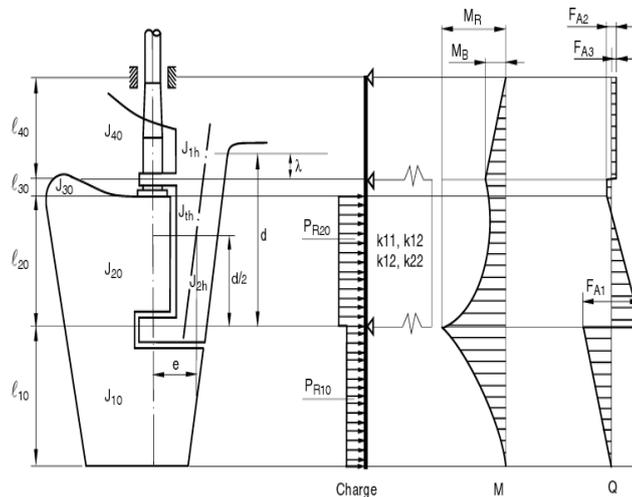


Figure. II.11 : gouvernail type 9 [6]

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en Fig. II.11.

Les forces par longueur unitaire  $p_{R10}$  et  $p_{R20}$  agissant sur le safran doivent être calculées, en N/m, à partir des équations (II.5) et (II.6).

La raideur  $Z_p$  de la crosse doit être calculée en conformité avec le safran type 4 voir Figure II.6

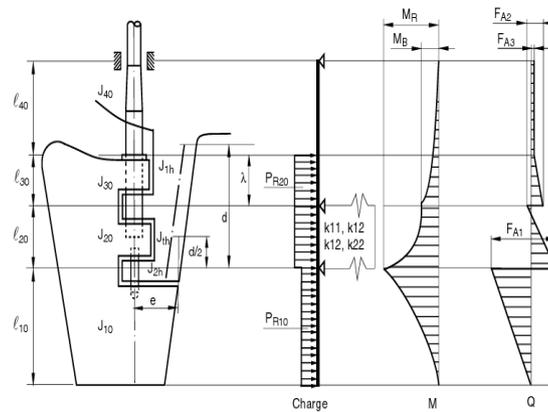


Figure II.12 : Gouvernail type 10 [6]

La structure mécanique du système gouvernail doit être calculée en conformité avec les diagrammes de chargement, d'effort tranchant et de moment fléchissant, donnés en Fig. II.12. Force par longueur unitaire  $p_{R10}$  et  $p_{R20}$  agissant sur le safran doivent être calculées, en N/m, à partir des équations (5) et (6).

La raideur  $Z_p$  de la crosse doit être calculée en conformité avec le safran type 4 voir Fig. II.6.

### II.3 Calcule des charges

#### II.3.1 Force sur le gouvernail

La force sur le gouvernail  $C_R$  est obtenue, en N, à partir de la formule suivante:

$$C_R = 132 n_R A V^2 r_1 r_2 r_3 \quad (\text{II.12})$$

Où:

$n_R$  : Coefficient de navigation, défini en Tab. II.2

$V$  :  $V_{AV}$ , ou  $V_{AD}$ , suivant la condition considérée

$V_{AV}$  : Vitesse maximale de service en marche avant, en nœuds, à la flottaison d'été en charge; si  $V_{AV}$  est inférieure à 10 nœuds, la vitesse de service maximale ne doit pas être prise inférieure à la valeur calculée à partir de la formule suivante

$$V_{MIN} = \frac{V_{AV} + 20}{3} \quad (\text{II.13})$$

$V_{AD}$  : Vitesse maximale en marche arrière, en nœuds, prise non inférieure à  $0,5 V_{AV}$ .

$r_1$  : Facteur de forme, pris égal à :

$$r_1 = \frac{\lambda + 2}{3} \quad (\text{II.13})$$

$A_T$  : Surface, en  $m^2$ , à calculer en additionnant la surface du safran A à la surface de l'étambot arrière ou de la crosse de gouvernail, s'il y a lieu, jusqu'à la hauteur h

$r_2$  : Coefficient indiqué en Tab .II.3

$r_3$  : Coefficient pris égal à

$r_3 = 0,8$  pour les gouvernails placés en dehors du jet de l'hélice (navires à gouvernail central ou à deux hélices, ou cas similaires)

$r_3 = 1,15$  pour les gouvernails placés derrière une tuyère de propulsion fixe

$r_3 = 1,0$  dans les autres cas.

h : Hauteur moyenne, en m, de la surface du gouvernail, prise égale à :

$$h = \frac{z_3 + z_4 - z_2}{2} \quad (\text{II.15})$$

$\lambda$  : Coefficient, pris égal à :

$$\lambda = \frac{h^2}{A_T} \quad (\text{II.14})$$

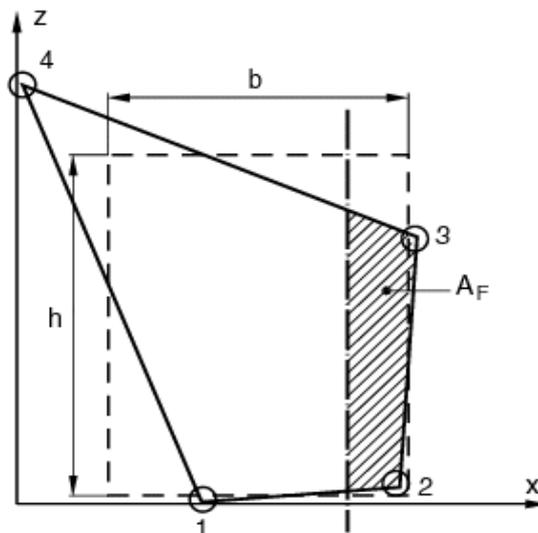
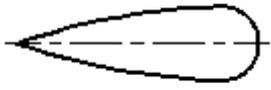
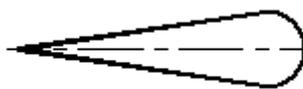
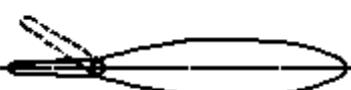


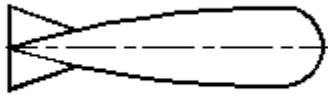
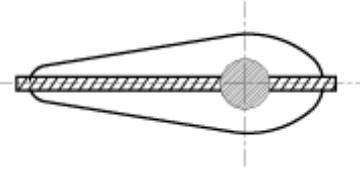
Figure II.13 : Géométrie d'un safran sans découpe

Tableau II.2 : Coefficient de navigation

Mention de navigation	Coefficient de navigation $n_R$
Unrestricted navigation	1,00
Summer zone	0,95
Tropical zone	0,85
Coastal area	0,85
Sheltered area	0,75

Tableau II.3 : Valeurs du coefficient  $r_2$

Type de profil de gouvernail	$r_2$ pour marche avant	$r_2$ pour marche arrière
NACA 00 - Goettingen 	1,10	0,80
Creux 	1,35	0,90
Bordé plat 	1,10	0,90
A portance élevée 	1,70	1,30

<p>Queue de poisson</p> 	1,40	0,80
<p>Simple tôle</p> 	1,00	1,00

### II.3.2 Moment de torsion

Le moment de torsion  $M_{TR}$ , en marche avant et en marche arrière, doit être obtenu, en N.m, à partir de la formule suivante:  $M_{TR} = C_R r$

Où:

$r$  : Levier de la force  $C_R$ , en m, égal à:

$$r = b \left( \alpha - \frac{A_F}{A} \right) \quad (\text{II.16})$$

Est pris non inférieur à 0,1 b pour la marche avant

$b$  : Largeur moyenne, en m, de la surface du safran prise égale à (voir Figure. II.13) :

$$b = \frac{X_2 + X_2 - X_1}{2} \quad (\text{II.17})$$

$\alpha$  : Coefficient pris égal à:

$\alpha = 0,33$  pour la marche avant

$\alpha = 0,66$  pour la marche arrière

$A_F$  : Aire, en  $m^2$ , de la portion de safran en avant de l'axe de mèche de gouvernail.

Figure II.13.

### III ECHANTILLONNAGE DE L'ENSEMBLE MECHE SAFRAN

#### III.1 Exemple de dimensionnement d'un appareil à gouverner

L'ensemble « Hélice - gouvernail » se compose d'une hélice et d'un gouvernail (safran) disposés derrière l'hélice. L'hélice est disposée aux P.S.

##### III.1.1 Données principales du navire

$$\begin{aligned}
 L_{HT} &= 14.5 \text{ m.} & L_{PP} &= 12.6 \text{ m.} \\
 B &= 4 \text{ m.} & T &= 1 \text{ m.} \\
 C &= 2.2 \text{ m.} & C_b &= 0.6. \\
 \Delta &= 29.23 \text{ Tonnes.} & V_{\max} &= 10 \text{ nœuds} \\
 \alpha &= -35^\circ \text{ à } 35^\circ
 \end{aligned}$$

##### III.1.2 Gouvernail type 5.

Le tableau.III.1 donne les coordonnées nécessaires pour tracer le profil du safran en fonction du cordant « c » [7].

**Tableau III.1** : Forme du safran NACA0015.

NACA0015		NACA0015	
X/c	±Z/c	X/c	±Z/c
0	0	0.3000	0.07500
0.0125	0.02367	0.4000	0.07252
0.0250	0.03267	0.5000	0.06615
0.0500	0.04442	0.6000	0.05703
0.0750	0.05249	0.7000	0.04579
0.1000	0.05852	0.8000	0.03278
0.1500	0.06680	0.9000	0.01809
0.2000	0.07170	0.9500	0.01008
0.2500	0.07424	1.0000	0.00158

### III.1.2.1 Surface du safran

$$A = \frac{T.L_{pp}}{100} \left( 1 + 25 \left( \frac{B}{L_{pp}} \right)^2 \right) = 0.445 \text{ m}^2.$$

#### a) Force sur gouvernail

La force sur le gouvernail  $F$  est obtenue, en N, à partir de la formule suivante :

$$C_R = 132 n_R A V_d^2 r_1 r_2 r_3$$

$V_d$  : Vitesse maximale de service en marche avant

$V_d = V$  pour  $V > 10$  nœuds.

$V_d = \frac{V+20}{3}$  Pour  $V < 10$  nœuds.

En marche arrière :  $V_d$  doit être égale à la vitesse maximale de service en marche arrière mais elle ne doit pas être inférieure à  $0,5V$  dans aucun cas.

$n_R$  : Coefficient de navigation, défini en Tab. II.2

$n_R = 0.85$  (coastal area).

$r_1$  : facteur de forme, pris égal à :  $r_1 = \frac{\lambda + 2}{3}$  avec  $\lambda$  : coefficient pris égal à :

$$\lambda = \frac{h^2}{A_t}.$$

$h$  : hauteur moyenne, en m, de la surface du safran.

$A_t$  : surface, en  $\text{m}^2$ , à calculer en additionnant la surface du safran  $A$  à la surface de l'étambot arrière ou de la crosse de gouvernail, s'il y a lieu, jusqu'à la hauteur  $b$  et dans un aucun cas  $\lambda$  non supérieur à 2.

$r_2$  : coefficient déterminé selon le tableau. II.3:

$r_2 = 1,1$  en marche avant et  $0,8$  en marche arrière.

Valeurs du coefficient  $r_3$  :

- 0,8 pour les gouvernails placés en d'hors du jet de l'hélice.
- 1,15 pour les gouvernails placés derrière une tuyère de propulsion fixe.
- 1 dans les autres cas.

**b) Calculs de forces sur gouvernail**

✓ **Marche avant**

$$V_d = V = 10 \text{ nœuds}$$

$$r_1 = \frac{\lambda + 2}{3}$$

$$h = 0.755m$$

$$\lambda = \frac{h^2}{A_t}$$

$$\text{Avec: } A_t = 0.467 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \lambda = 1.22$$

$$\Rightarrow r_1 = 1.07$$

$$\Rightarrow n_R = 0.85$$

$r_2 = 1,1$  en marche avant et  $0,8$  en marche arrière.  $r_3 = 1$

$$C_R = 132 \times 0.85 \times 1.07 \times 1.01 \times 0.445 \times 100 = 5876 \text{ N}$$

✓ **Marche arrière**

$$V_d = 0,5V \Rightarrow$$

$$V_d = 5 \text{ nœuds}$$

$$r_1 = 1.07 ;$$

$$r_2 = 0,80 ; r_3 = 1 ;$$

$$A = 0.445 \text{ m}^2$$

$$C_R = 132 \times 0.85 \times 1.07 \times 0.8 \times 1 \times 0.445 \times 5^2 \Rightarrow C_R = 1068 \text{ N}$$

**c) Calculs le moment de torsion**

Le moment de torsion  $T$ , en marche avant et en marche arrière, doit être obtenu, en N.m, à partir de la formule suivante:

$$MTR = C_R \cdot R$$

Avec :  $R = c \cdot (\alpha - \beta)$  (levier de la force  $F$  en m)

$\alpha = 0,33$  pour la marche avant

$\alpha = 0,66$  pour la marche arrière.

$\beta = \frac{A_f}{A}$  avec :  $A_f$  aire, en  $\text{m}^2$ , de la portion de safran en avant de l'axe de mèche de gouvernail.

Pour la marche arrière le bras de levier est pris non inférieur à  $0,1c$ .

$$\beta = \frac{0.12}{0.445} \Rightarrow \beta = 0,27$$

$c$ : largeur moyenne, en m, de la surface su safran ( $c = 0.616m$ )

✓ **Marche avant**

$$R = 0,616 (0,33-0,27)$$

$$\Rightarrow R = 0,037 \text{ m}$$

$$\Rightarrow MTR = 219 \text{ N.m}$$

✓ **Marche arrière**

$$R = 0,616 (0,66-0,27)$$

$$\Rightarrow R = 0,24 \text{ m}$$

$$\Rightarrow MTR = 256,43 \text{ N.m}$$

**III.1.2.2 Moment de Flexion Maximal, en N.m Agissant sur la Mèche du Gouvernail**

$$M_b = 8.66 \frac{HcR}{A}$$

$$H = A \cdot a_1 \cdot u \cdot H1$$

$$a_1 = 2,55 - 1,75c$$

$$c = \frac{H1}{H1 + Hc}$$

$$u = 1.1c^2 - 2.05c + 1,175$$

$$u = 0,22 ; c = 0.93 ;$$

$$a_1 = 0.91 ; H = 0.065 \text{ m}$$

$$M_b = 749 \text{ N.m}$$

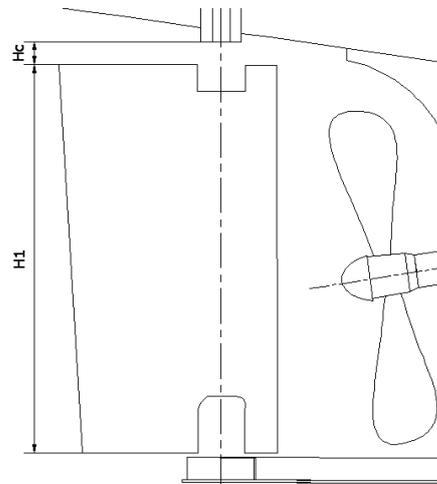


Figure III.1 : position de la hauteur H1 et Hc.

**III.1.2.3 Echantillonnage de la Mèche**

**a) Diamètre de la mèche**

Le diamètre de mèche, à la partie inférieure, ne doit pas être inférieur à la valeur, en mm, obtenue à partir de la forme suivante:

$$dTF = 4.2 (MTR \cdot K_1)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( 1 + \frac{4}{3} \left( \frac{MB}{MTR} \right)^2 \right)^{\frac{1}{6}}$$

$K_1$  : coefficient de matériau

Avec :

$$n = 0.75 \text{ pour } \sigma > 235 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 1 \text{ pour } \sigma \leq 235 \text{ N/mm}^2$$

Matériau de la mèche: acier marin grade A la limite d'élasticité = 240 N/mm<sup>2</sup>

$$REH = R_m = 0.7.353 = 247.1 \text{ N/mm}$$

$$K_1 = \left( \frac{235}{REH} \right)^n$$

$$K_1 = \left( \frac{235}{240} \right)^{0.75} \Rightarrow K = 0,98$$

$$dTF = 40.4 \text{ mm}$$

Section transversales de mèche soumise à un moment de flexion nul:

Le diamètre, en mm, d'une section de mèche soumise seulement à la torsion, en prend moment  $M_b$  égal à 0.

$$D_s = 4.2(MTR. K_1)^{1/3}$$

$$D_s = 26.6 \text{ mm}$$

Vérification de l'échantillonnage du diamètre de la mèche :

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau_T^2} = 108.77 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_B = 10^3 \frac{10.2MB}{dTF^3} = 102.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_T = 10^3 \frac{5.1.MTR}{dTF^3} = 21.18 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_E \leq \sigma_{EALL} \quad \sigma_{EALL} = 118 / K_1$$

$$\sigma_{EALL} = 118 / K_1 = 120.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_T \leq \tau_{ALL} \text{ ou } \tau_{ALL} = 68 / K_1$$

$$\tau_{ALL} = \frac{68}{K_1} = 69.38 \text{ N/mm}^2$$

Il faut que  $\sigma_E \leq \sigma_{EALL} \Rightarrow 108.77 \leq 120.4$  ; vérifier.

### b) Echantillonnage du Safran

Le bordé du safran doit avoir au moins l'épaisseur définie par la formule :

$$e = \frac{2\left(\frac{d_0}{100}\right)^2}{l} + \sqrt{\frac{4\left(\frac{d_0}{100}\right)^4}{l^2} + 1.25(E.V)^2} = 3 \text{ mm}$$

l : la plus grande largeur de safran, mesurée depuis l'axe de la mèche en m.

E : espacement en mètres des voiles horizontaux.

Les voiles intérieurs doivent avoir au moins l'épaisseur du bordé de safran. Les tôles placées au bord supérieur et à celui inférieur du safran doivent avoir une épaisseur au moins égale respectivement à 1.8 et 1.5 fois l'épaisseur de bordé.

Sera effectué par une clavette de dimensions :

- Largeur de la clavette  $B=0.25*d+3= 15.5\text{mm}$ , mention vedette la largeur=14mm.

- Epaisseur de la clavette  $E=0.16d+3= 11\text{mm}$ , mention vedette  $E= 9\text{mm}$ .

- Longueur de clavette  $L=0.9*d= 45\text{mm}$ .

**c) Accouplements par tourteaux horizontaux :**

L'épaisseur doit être au moins égale au quart du diamètre réglementaire de la partie inférieure de la mèche, la face supérieure du gouvernail doit être munie, au droit du tourteau, d'une pièce renforcée de même épaisseur que le tourteau et l'assemblage de ces deux pièces doit être réalisé au moyen de boulons ajustés dont le nombre n ne sera pas inférieur à 6.

Epaisseur des tourteaux  $E= 12\text{mm}$

$$\text{Diamètre des boulons } d_b = 0.62 \sqrt{\frac{d_1^3 k_{1B}}{n_B e_m k_{1S}}} = 13.11 \text{ mm}$$

$$k_{1S} : \text{Pour la mèche} = 0.98$$

$$k_{1B} : \text{Pour les boulons} = 1.52$$

$$n_B : \text{Nombre de boulons} = 6$$

$$e_m : 37\text{mm}$$

$$d = d_b \sqrt{\frac{K_{1S}}{K_{1B}}} = 10.52 \text{ mm}$$

On prend  $d=12\text{mm}$ .

La distance des axes des boulons au bord extérieur des tourteaux ne doit pas être inférieur de  $1.2d_B = 18 \text{ mm}$ .

**d) Gouvernail type 6.**

Pour ne pas répéter tous ces formules on a regroupé les sur un tableau Excel.

Calcul de la force et moment de torsion sur le gouvernail pour un safran type 6			
Calcul de la force sur le gouvernail			
$n_R =$	0.85	Secteur côtier	
$A =$	0.38	$At=0$	0.38
$r_2 =$	1.00		
$r_3 =$	1.00		
$V =$	9.50	4.25	Var
$Z_2 =$	-		
$Z_3 =$	0.69		
$Z_4 =$	0.69		
$h =$	0.69		
$l = h^2/At$	1.25		
$r_1 = (l + 2) / 3$	1.08		
$C_R = 132 n_R A V^2 r_1 r_2 r_3$	4 165.29	33.64	CR marche arrière
Valeur du moment de torsion			
$x_1 =$	0.02		
$x_2 =$	0.53		
$x_3 =$	0.60		
$b ( m ) = ( x_2 + x_3 - x_1 ) / 2$	0.56		
$a =$	0.33	0.66	a : marche arrière
$A_F =$	0.08		
$r = b(a - ( A_F/A ))$	0.07		
$M_{TR} ( N.m ) =$	276.19	207.9568473	MTR marche arrière
Valeur du moment de flexion de la mèche de gouvernail			
$M_b(N.m) = CR(120 + (110(2c_1 + c_2)/(3(c_1 + c_2))))$	2092.31		
120	0.073		
110	0.687		
c1	0.512		
c2	0.6		
$Q_R ( N ) = C_R$	4165.29		
$R_{eH} =$	400.00		
$n =$	0.75		
$K_1 = ( 235/R_{eH} )^n$	1.00		
$d_{TFi} =$	53.22	$ds =$	54
$d_T = 4,2 ( M_{TR} K_1 )^{1/3}$	25.62		

Utilisation de logiciel RADDR pour vérifier les résultats du safran Type 6 :

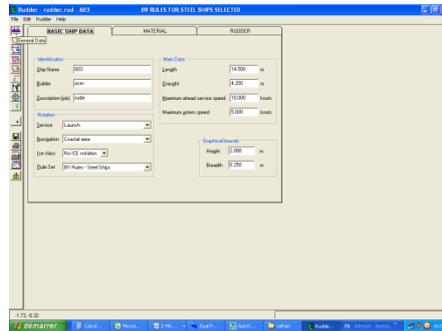


Figure III.2 : L'interface principale de logiciel.

Cette figure représente l'interface de ce logiciel où on peut faire entrer toutes les données nécessaires concernant le navire pour lequel on va installer cet appareil.

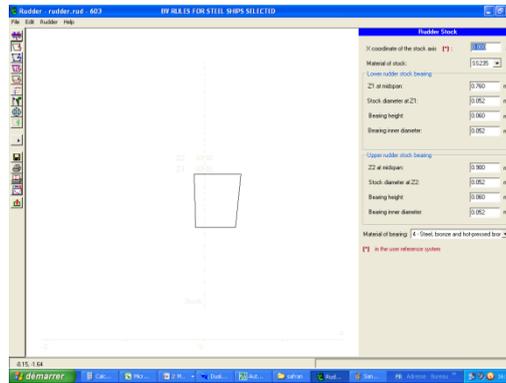


Figure III.3 : Palier et mèche du safran.

La deuxième étape est de donner les informations sur la mèche et la position des paliers.

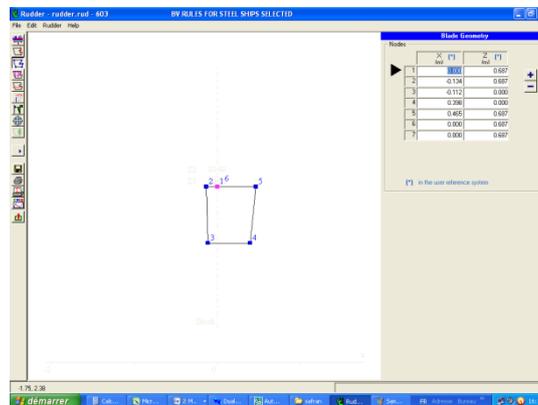


Figure III.4 : Forme du safran.

Après on va donner les coordonnées des points du safran pour donner une forme à ce dernier.

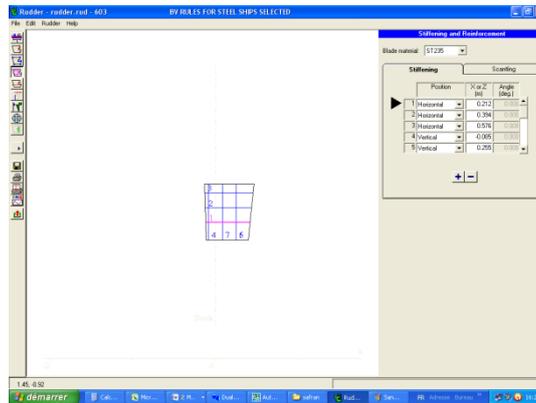


Figure III.5 : Renforts du safran.

Dans cette étape on va donnée les positions et dimensions des renforts du safran. La figure suivante décrit l'étape où on va donnée la forme transversale du ce safran

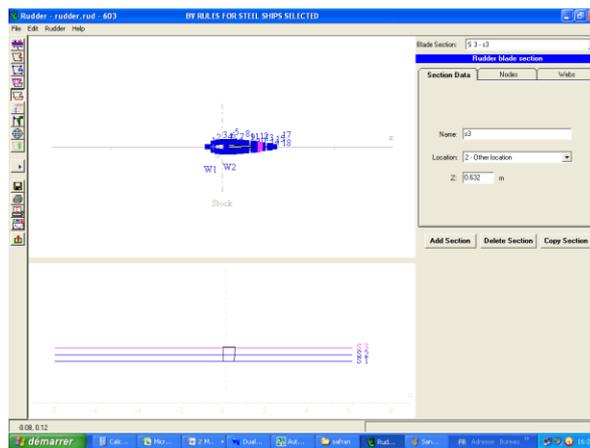


Figure.III.6: Section transversale du safran.

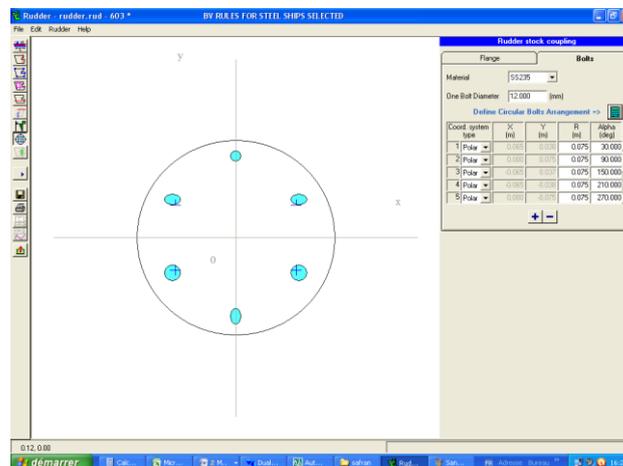


Figure.III.7: type d'accouplement.

Finalemment et avant afficher les résultats on fait entrer type d'accouplement mèche safran et ces dimensions.

### III.1.2.4 Affichage des résultats :

Suite à la première étape où on a donné les informations au logiciel on va afficher les résultats obtenus pour les comparer ensuite avec les valeurs calculées.

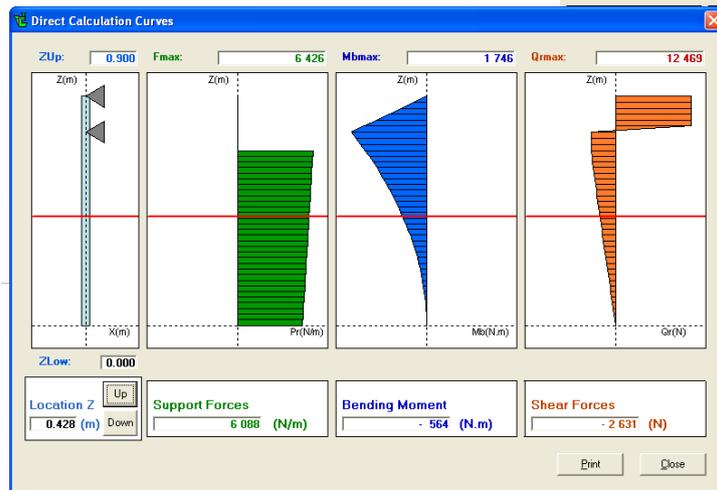


Figure.III.8: Les charges appliquées au safran.

Tableau comparatif

	valeur calculé	valeur obtenue par Rudder
CR	4165.29	4106.43
Mb	2026.62	1933
MTR	276.19	227.7
dTFi	57	54

Dans ce tableau on a comparé les résultats obtenus par calcul direct selon les formules du BV représenté dans le chapitre II, pour un safran de type 6 et les résultats obtenus par le logiciel RUDDER. Les résultats obtenus ont un bon accord avec les résultats obtenus par ce logiciel.

Utilisation de logiciel RDM 6 pour vérifier les résultats du safran Type 6 :

Pour plus de confirmation de ces résultats on va confronter les résultats obtenus par RUDDER avec un model de RDM 6.

1<sup>er</sup> Etape : on va définir l'ossature de calcul, c'est une poutre de 54mm de diamètre composé de 4 nœuds en Acier Inox comme le montre.

2<sup>eme</sup> Etape : l'emplacement des appuis et des charges, on a comme charges ; une charge réparties sur le safran calculer selon la formule II.2 où  $l = l_{10}$

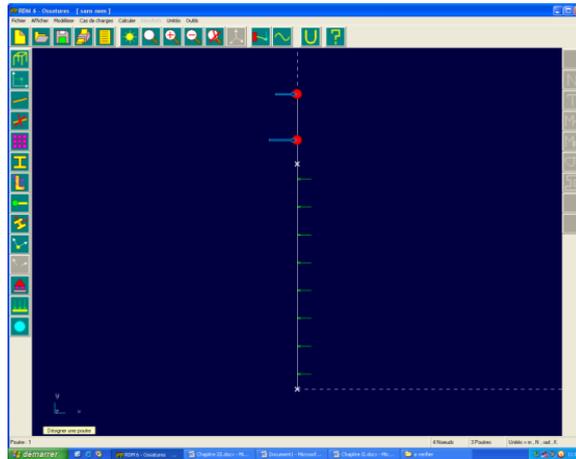


Figure III.9 : Emplacement des appuis et des charges.

Deux forces ponctuelles sont placer aux niveaux des appuis leurs valeurs calculer

comme suit :  $F_{A3} = \frac{M_B}{l_{30}} = 14471.4 \text{ N}$

$$F_{A2} = C_R + F_{A3} = 18636.7 \text{ N}$$

Avec :  $P_R = 6063 \text{ N/m}$ , 3<sup>eme</sup> Etape : Calcul et affichage des résultats.

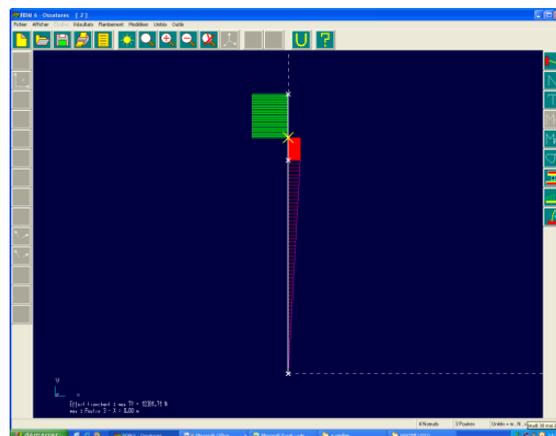


Figure III.10 : Efforts tranchants.

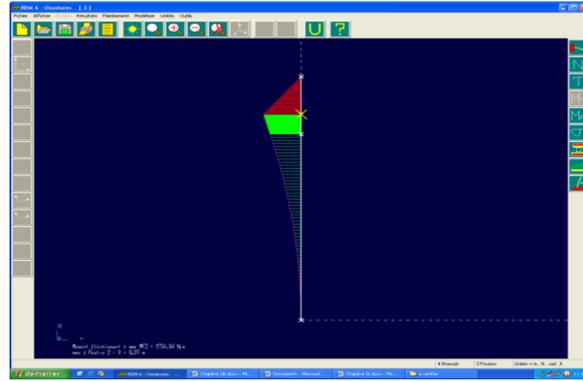


Figure III.11 : Moment fléchissant.

Tableau comparatif

	valeur obtenue par RDM 6	valeur obtenue par Rudder
$P_R$	6063	6426
$M_{bmax}$	1734.84	1746
$Q_{max}$	12391.71	12469

Vérification de la robustesse de la mèche :

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma_B^2 + 3\tau_T^2} = 117.04 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_B = 10^3 \frac{10.2MB}{dT_F^3} = 116.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_t = 10^3 \frac{5,1.MTR}{dT_F^3} = 7.56 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_E \leq \sigma_{EALL}$$

$$\sigma_{EALL} = 118/K_1$$

Avec :

$$K_1 = \left(\frac{235}{REH}\right)^n, \text{ où REH limite d'élasticité du matériau utiliser.}$$

On prend  $K_1=1$

$$\sigma_{EALL} \geq \sigma_E$$

$$\tau_T \leq \tau_{ALL} \text{ ou } \tau_{ALL} = 68/K_1$$

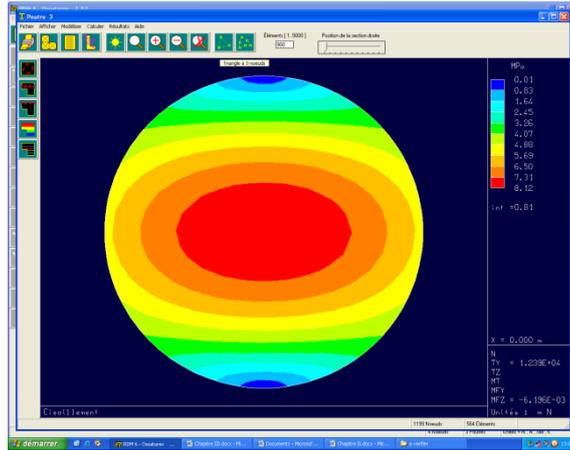


Figure III.12 : Valeur de  $\tau_T$  obtenu par RDM6

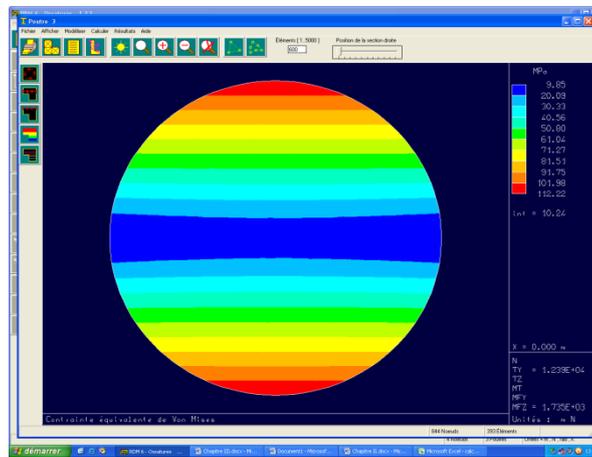


Figure III.13 : Valeur de  $\sigma_E$  obtenu par RDM6.

Tableau comparatif

	valeur obtenue par RDM 6	valeur calculé
$\sigma_E$	112.22	116.3
$\tau_T$	8.14	7.56

## IV MODELISATION NUMERIQUE DU GOUVERNAIL

### IV.1 Introduction

Un ensemble de gouvernail de navire est constitué d'un safran monté sur un axe vertical appelé « mèche », laquelle aboutit dans le local de barre à travers un alésage appelé « trou de jaumière » pratiqué dans les formes arrière de la coque.

A l'extrémité supérieure de la mèche, et suivant les types d'appareils à gouverner couramment utilisés, on monte [8]:

- Soit une traverse (clavetée) reliée à des pistons de presse : appareils à presses ;
- Soit un moteur hydraulique : appareils à tiroir rotatif ;
- Soit un pignon denté claveté sur la mèche du safran : appareils à vérin crémaillère.

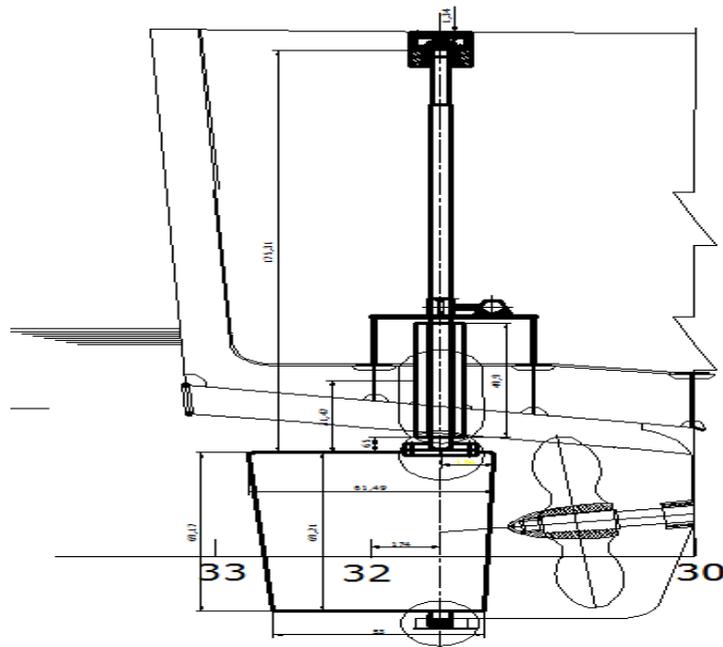


Figure IV.1 : Installation de gouvernail sur l'étambot du navire

L'appareil à gouverner doit assurer :

- Une grande démultiplication ;
- Une transmission irréversible, qu'il doit permettre le déplacement du safran mais qu'une action (effort) sur ce dernier ne doit pas déplacer l'appareil à gouverner.

Dans le présente travaille une simulation numérique a l'aide de code du calcul ANSYS 12.0 a été effectué.

Afin d'assurer un rapport conforme entre la rigidité et poids, on a tenté de varier l'intensité de la charge sur la paroi extérieure de safran, type de fixation de la mèche à l'étambot ainsi que le remplissage du safran.

Parmi les éléments disponibles dans la bibliothèque ANSYS, l'élément SOLID 185 est conçu pour la modélisation des structures en 3D. L'élément SOLID185 huit nœuds avec trois degrés de liberté à chaque nœud: trois translations dans les axes x, y, et l'axe z (Figure IV.1).

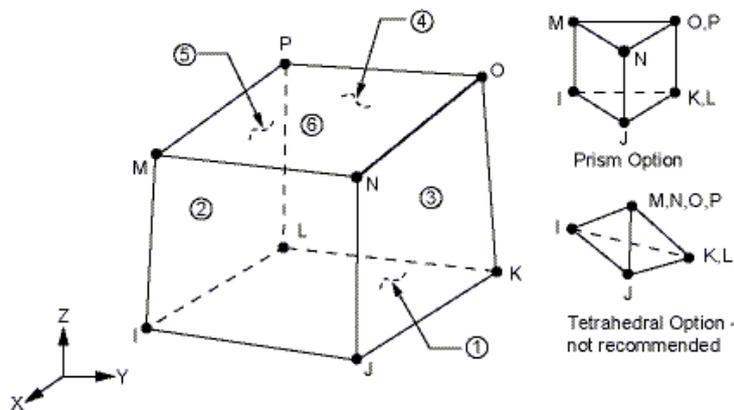


Figure IV.2 : Elément SOLID 185.

Pour nos applications, les caractéristiques géométriques de la mèche ainsi que de safran données par les figures IV.2, IV.3 ainsi que le profil du safran et donnée par la figure IV.4

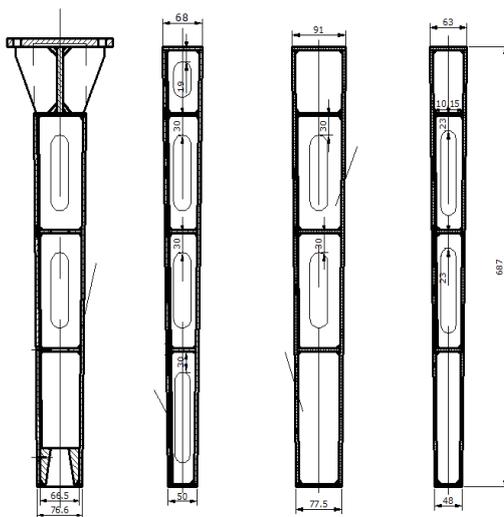


Figure IV.3 : Mèche du gouvernail.

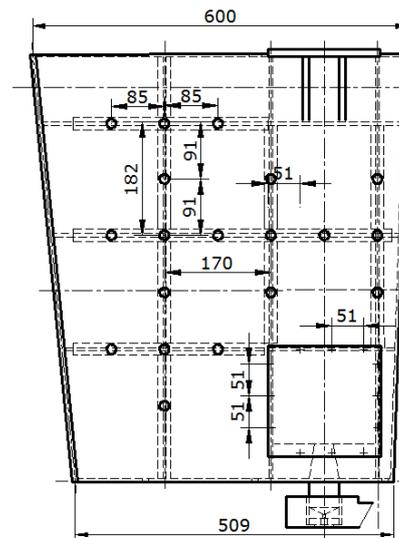


Figure IV.4 : safran du gouvernail

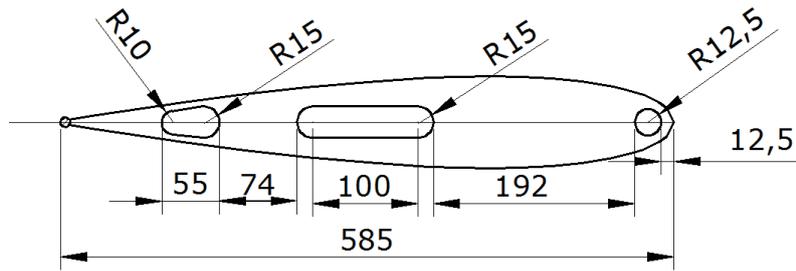


Figure IV.5 : Profil du safran

On a conservé le même maillage (Figure III.5).

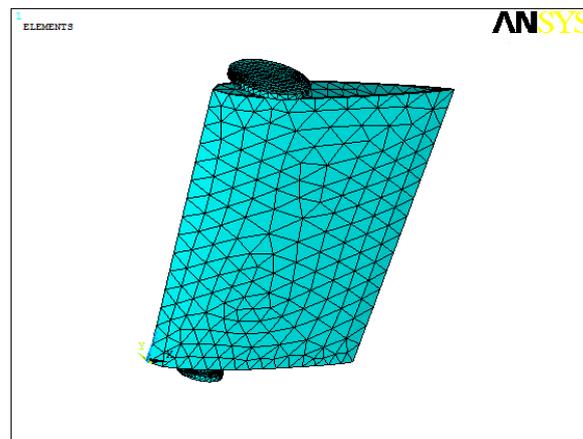
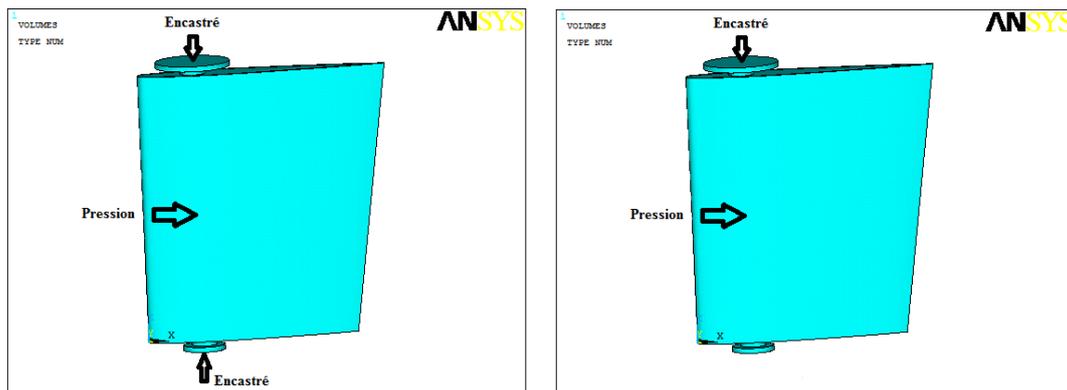


Figure IV.6 : maillage du safran et de la mèche.

Les deux cas des conditions aux limites sont donnés par la figure IV.6.



a)

b)

Figure IV.7 : Conditions aux limites.

Les tableaux IV.1, montre les propriétés des matériaux de safran et de la mèche ainsi que le remplissage du safran de la résine.

Tableau IV.1 : Propriétés mécanique des matériaux

matériaux	E1 (MPa)	N
Résine	3000	0.33
Acier	$2. 10^5$	0.3

#### IV.2 Effet de la variation de la charge sur safran pour le premier cas de fixation :

Dans la présente application, le safran et la mèche est en acier. On a rempli le safran par la résine avec les propriétés mécanique données par le tableau IV.1, La charge sur la paroi du safran est considérée comme variables. On a représenté les déformations les déplacements et les contraintes tangentielles et équivalentes pour différents cas de charges (100, 200, 500 N/mm<sup>2</sup>). La figure IV.

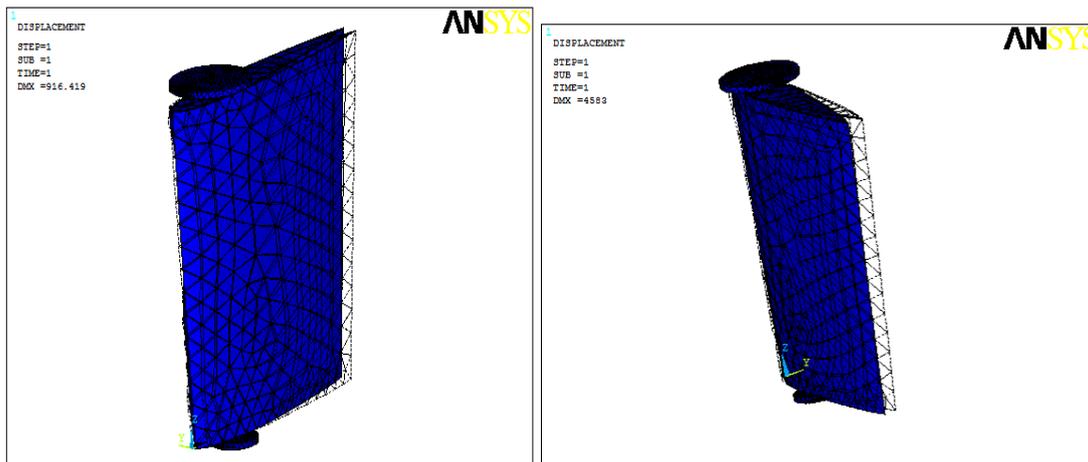


Figure IV.8: Déformation du gouvernail pour une charge de 100 et 500 MPa.

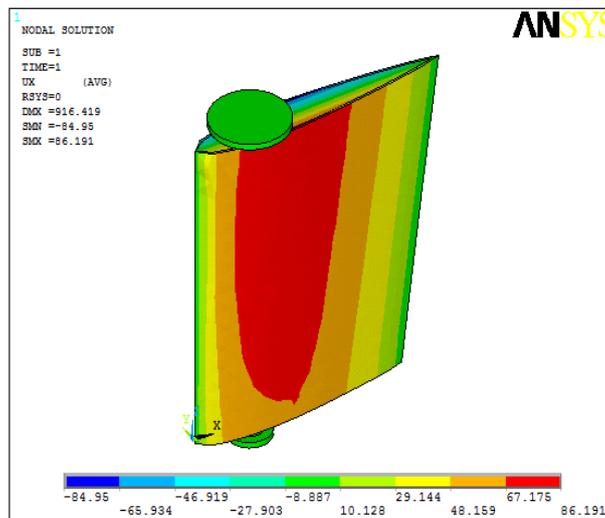


Figure IV.9 : Déplacement du gouvernail pour les charges 100 et 500 Mpa.

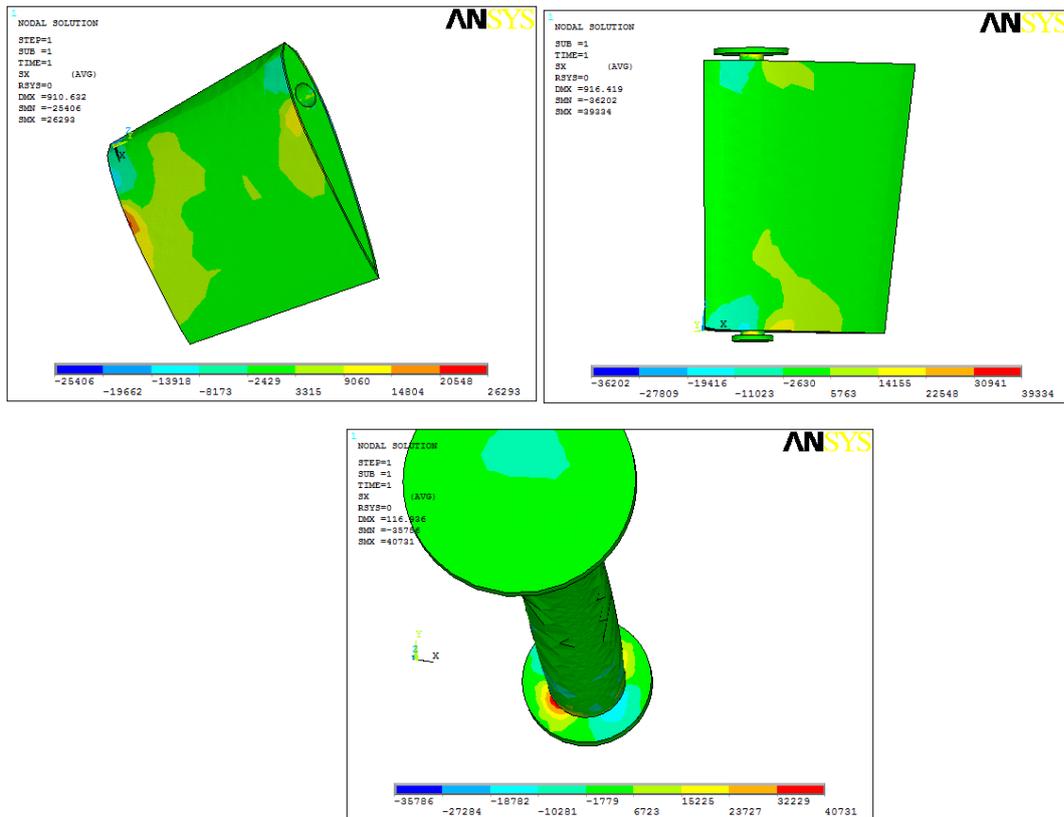


Figure IV.10 : Concentration des contraintes normale pour les charges 100 MPa.

On peut noter que les contraintes sont plus élève dans la mèche que dans le safran. La figure IV.8 montre la concentration de la contrainte normale et de Von Mises sur le safran et la mèche.

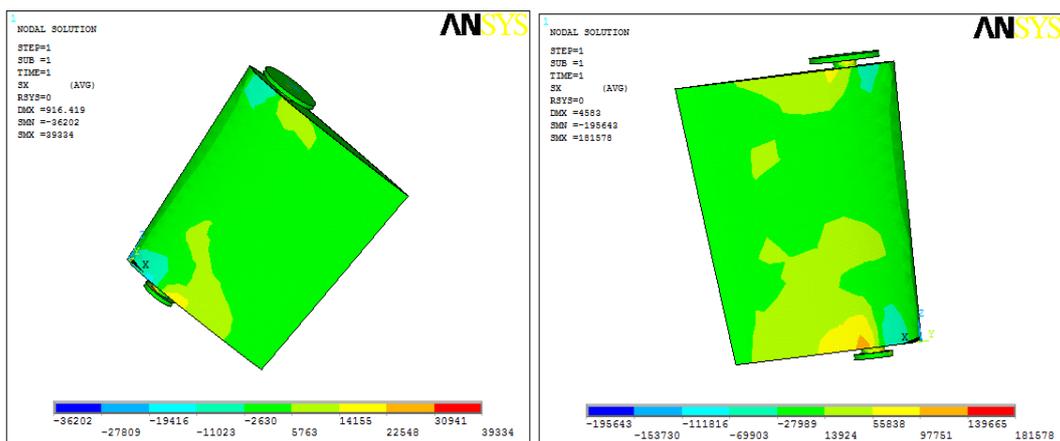


Figure IV.11 : Concentration des contraintes normale pour les charges 500 MPa.

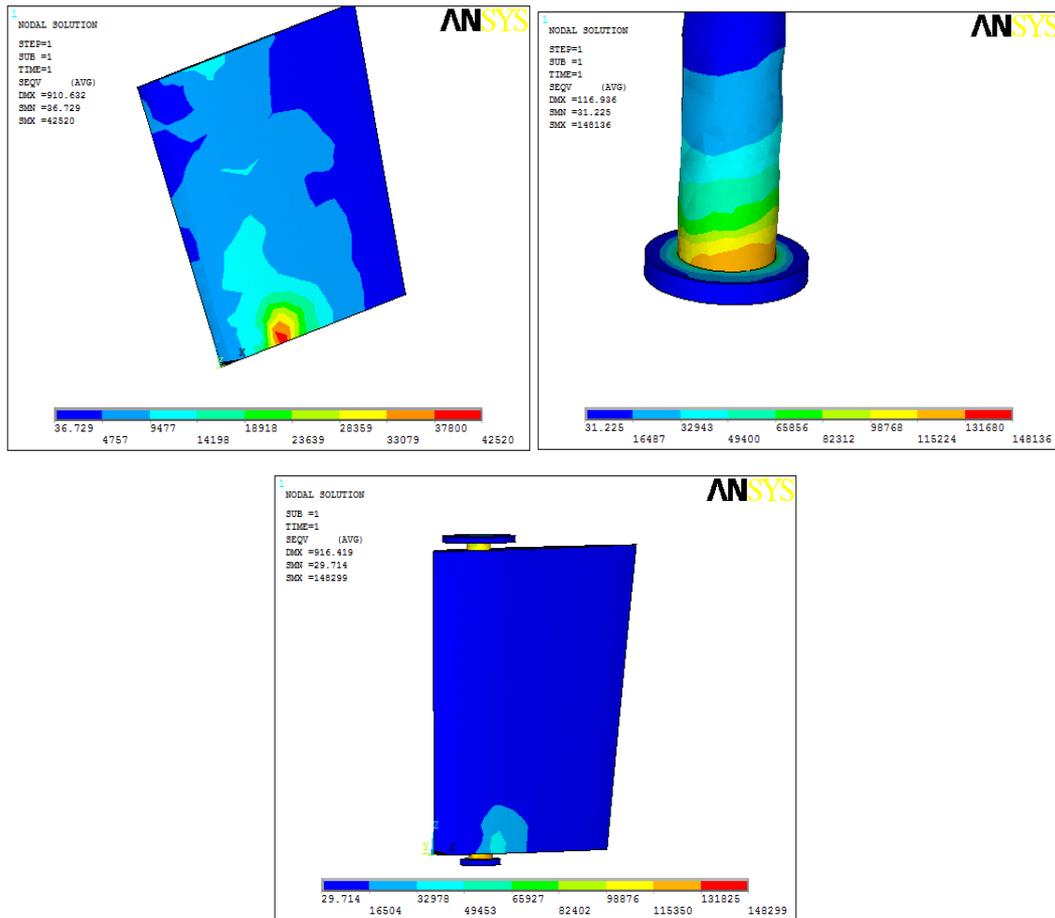


Figure IV.12 : Variation de la contrainte équivalente pour les charges 100 MPa.

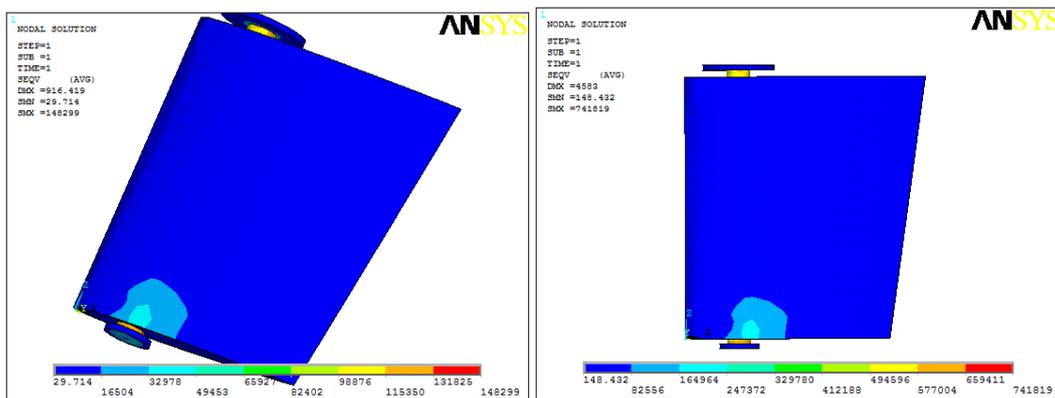


Figure IV.13: Variation de la contrainte équivalente pour les charges 500 MPa.

Il est clair que les contraintes normale les contraintes équivalentes sont plus importantes pour la charge maximale. Donc, on peut dire que la concentration des contraintes est localisée au niveau de la mèche.

### IV.3 Effet de la variation de la charge sur safran pour le deuxième cas de fixation

Le deuxième cas de chargement, le safran et la mèche est en acier. On prend les mêmes cas pour les propriétés mécaniques, le type de fixation et donnée par figure III.6.b), la charge sur la paroi du safran est considérée comme variables. Nous avons représenté les déformations les déplacements et les contraintes normale et équivalentes pour différents cas de charges (100 et 500 N/mm<sup>2</sup>). La figure III.10 représente la déformation du gouvernail. La variation du déplacement est donnée par la figure III.11. On voit clairement que les déplacements sont plus importants pour une charge de 500 MPa.

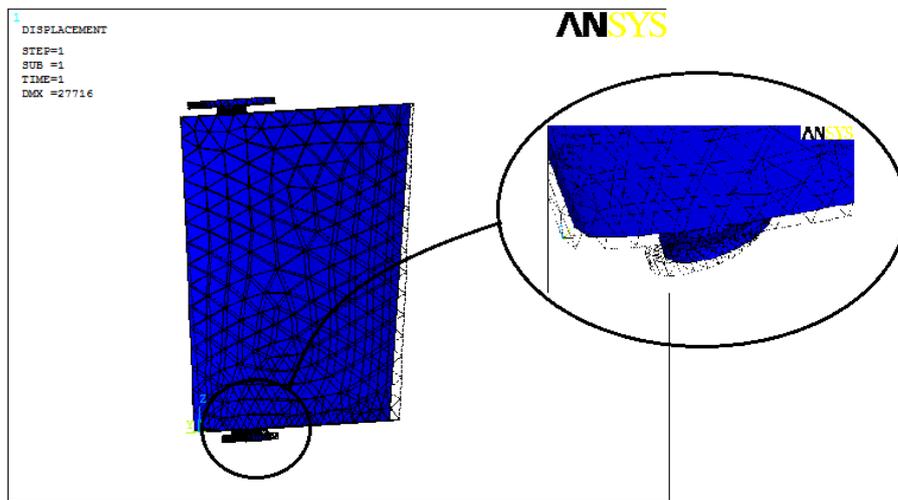


Figure IV.14 : Déformation du gouvernail

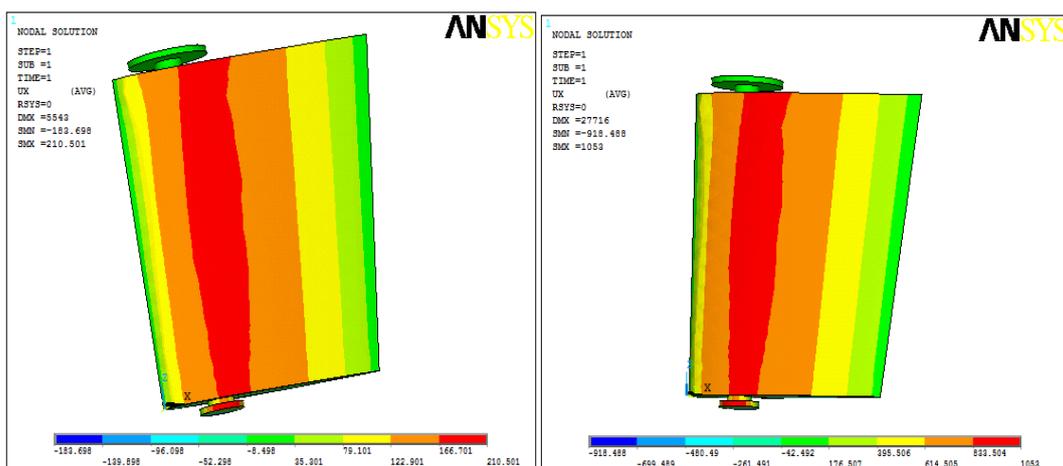


Figure IV.15 : Variation du déplacement de gouvernail pour les charges 100 et 500 Mpa.

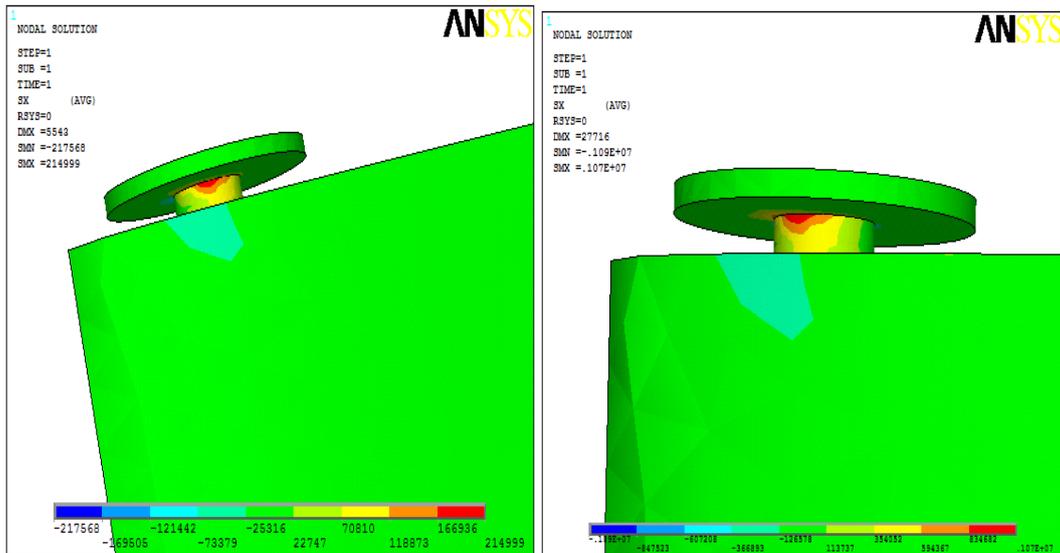


Figure IV.16 : Variation des contraintes normales de gouvernail pour les charges 100 et 500 Mpa.

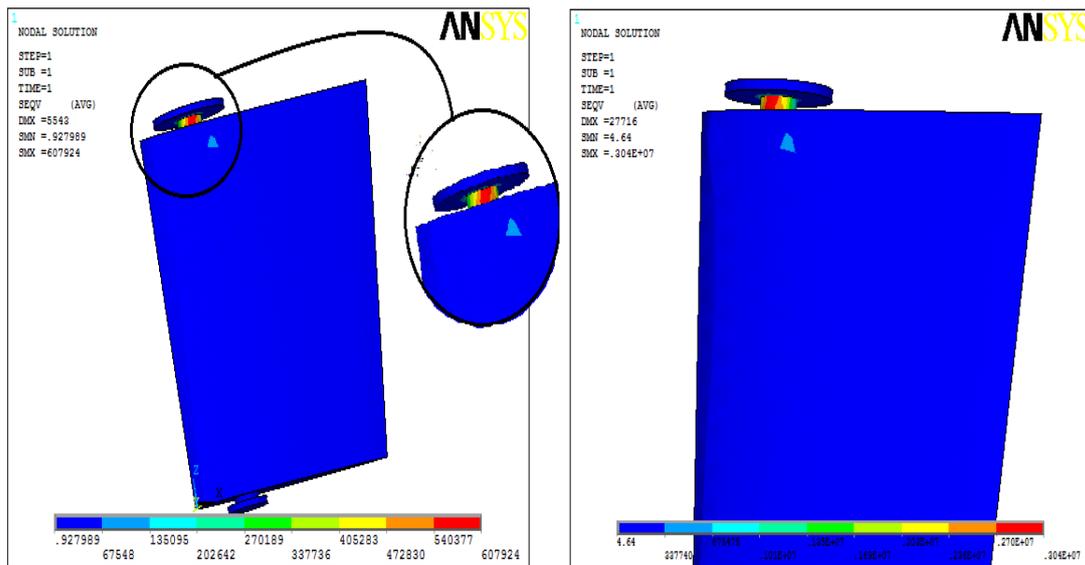


Figure IV.17 : Variation des contraintes équivalente de gouvernail pour les charges 100 et 500 Mpa.

## CONCLUSION GENERALE

Le navire se déplace à la frontière de deux éléments qui constituent son environnement: l'atmosphère et la mer. Il faut Souvent y ajouter un troisième élément, notamment en ce qui concerne les manœuvres d'approche des ports: la terre.

Pour prévoir le mouvement du navire, il est nécessaire d'avoir une connaissance des règles élémentaires de la manœuvre ainsi que la connaissance des forces que cet environnement exerce sur le navire, et des moyens dont on dispose pour y faire face.

Ces forces peuvent être classées en deux catégories:

- Les forces que le manœuvrier subit du fait des mers, des vents, des courants.
- Les forces que le manœuvrier met en action, c'est à dire les moyens de manœuvre du navire et les efforts que ceux-ci peuvent développer pour permettre au manœuvrier de garder le contrôle des mouvements du navire.

Les moyens dont on dispose pour contrôler les mouvements du navire sont parfois insuffisants, en particulier en ce qui concerne les manœuvres de port. Dans ce cas, la vitesse est réduite et les forces extérieures prennent une importance considérable. On fait alors appel à des moyens extérieurs au navire: les remorqueurs.

La connaissance du navire et de son environnement va nous permettre de dégager un certain nombre de règles simples pour expliquer le comportement du navire, prévoir ses réactions et pour rester maître de celles-ci. Mais en fait, la manœuvre du navire est une affaire complexe basée essentiellement sur l'observation, la pratique et l'expérience.

Le choix de l'appareil à gouverner se fait à travers des critères et des paramètres déduits des calculs élaborés fut à mesure les essais expérimentaux ainsi que les normes de conception représentées par les bureaux de classification tel que le BUREAU VERITAS, tel qu'il est pris en considération dans notre cas.

Le choix de l'appareil a gouvernail ne ce fait pas par hasard mais a partir d'une étude approfondie ainsi que les normes de BV.

Même s'il y a eu plein de propulseurs qui fonctionnent sans safran, l'ancien système reste le plus utilisé.

Pour assurer un rendement optimal du gouvernail il faut qu'il soit construit en respectent la réglementation « échantillonnage » bien spécifique pour chaque type de navire

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIE

- [1] kostia roncín, « simulation dynamique de la navigation de deux voiliers en interaction », Thèse de DOCTORAT Université de Nantes 2002.
- [2] Manœuvres de port et amarrages, vent du large – école de croisière
- [3] J. M. AUZON, « MANOEUVRE DES NAVIRES », E.N.M.M. MARSEILLE 1999.
- [4] SEBASTIEN Prothin, « Interaction entre un tourbillon et une couche limite Application au contrôle d'écoulement ». Thèse de Doctorat.
- [5] Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, (Journal officiel du 6 août 2008)
- [6] Pietro Salvini, « Analisi Statica E Modale Di Un'elica Navale ».
- [7] PHILPPE LOUSSOUARN, « Un gouvernail démontable », Rapports 2002.
- [8] E.C.R.N, Chantier naval, Marssa Elkebir. 2012.