

INNOVATION TECHNOLOGIQUE ET ÉCO-CONCEPTION

Étude de l'implantation des ailes rigides OceanWings



- **Présentation de l'étude et questionnaire**..... pages 24 à 26
- **Documents techniques**..... pages 27 à 31
- **Documents réponses** pages 32 à 34

Mise en situation

Alors qu'il constitue une ressource inépuisable en mer, le vent reste encore difficile à exploiter pour le transport maritime à grande échelle.

Energy Observer, en tant que navire expérimental, s'est fixé pour mission de tester toutes les solutions disponibles et prometteuses. Ainsi en 2019, le navire a testé un tout nouveau système : des propulseurs éoliens appelés OceanWings® (voir **DT.S1**). Ces propulseurs éoliens sont des voiles rigides escamotables semblables à des ailes d'avion. Elles sont installées, comme représentée sur la photo page précédente, sur les deux flotteurs du navire. Elles vont démultiplier les performances du navire en permettant :

- d'accroître la vitesse, en complément des moteurs électriques ;
- de réduire les dépenses énergétiques, lorsqu'elles viendront soulager les moteurs électriques ;
- d'augmenter la production d'énergie pendant les navigations grâce à la production d'énergie hydrolienne (inversion des moteurs électriques en hydrogénérateurs).

Deux propulseurs éoliens sont implantés, un sur chaque flotteur. La liaison entre le flotteur et le propulseur doit :

- supporter les efforts ;
- permettre la rotation des propulseurs autour de leur axe vertical ;
- permettre l'implantation des chaînes de puissance (rotation du propulseur éolien autour de son axe, affalage et réglage de sa courbure).

Travail demandé

Partie A : quels sont les efforts engendrés par le vent sur un propulseur éolien ?

Question A.1 | Les **DT.S1** et **DT.S2** présentent les propulseurs éoliens. **Relever** les caractéristiques de hauteur et de surface de la voile.
DT.S1,
DT.S2 | **En déduire** la largeur de cette voile qui est assimilée à un rectangle.

Le propulseur éolien utilise le principe des ailes d'avions. L'écoulement de l'air autour d'une forme d'aile génère deux actions mécaniques : une portance et une trainée (voir **DT.S3**). La somme de ces deux vecteurs s'appelle la résultante aérodynamique.

Pour connaître l'intensité maximale de cette résultante aérodynamique, une simulation de l'écoulement de l'air autour de celle-ci est réalisée. Les résultats sont donnés document **DT.S3**.

La vitesse maximale d'utilisation du propulseur éolien est de $61 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

Question A.2 | **Calculer** la vitesse maximale d'utilisation en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. **Trouver** l'incidence de la voile qui permet d'obtenir la résultante aérodynamique la plus grande. **Relever** sur le graphique, l'intensité maximale de cet effort.
DT.S3

Partie B : quels sont les efforts supportés par la liaison entre un propulseur éolien et un flotteur ?

Le **DT.S2** représente une étude préliminaire de l'implantation du mât 1 d'un propulseur éolien dans un flotteur latéral du bateau :

- le flotteur 7 et son bras de fixation 1 sont percés pour laisser passer le mât 4 ;
- le support supérieur 2 et le support inférieur 3 servent à guider le mât dans le flotteur respectivement en A et B ;
- un chapeau 8 permet de bloquer la translation verticale du mât ;
- les supports 2 et 3 sont encastrés sur le flotteur par un collage adapté aux matériaux du navire (composite en fibre de carbone).

Afin de déterminer l'effort supporté par les pièces 2 et 3, la liaison est modélisée comme indiqué sur le **DR.S1** par une liaison linéaire annulaire en A et une liaison rotule en B.

Rappel : un guidage est considéré comme court si le rapport entre la longueur du guidage L et le diamètre D est inférieur à 1,5.

$L/D > 1,5 \Rightarrow$ guidage long $L/D < 1,5 \Rightarrow$ guidage court

Question B.1 DT.S2 DR.S1	<p>Justifier la modélisation de chacune des deux parties de la liaison représentée sur le DR.S1.</p> <p>Compléter le tableau du bilan des actions mécaniques extérieures du DR.S1 pour l'action entre le support 3 et le mât 4.</p>
--	---

La masse de l'ensemble {voile + mât} est de 200 kg, l'accélération de la pesanteur est de $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Question B.2 DR.S1	<p>Calculer le poids de l'ensemble {voile + mât} et compléter dans le tableau DR.S1, la modélisation de l'action mécanique de la pesanteur.</p> <p>Tracer ensuite le vecteur correspondant à cette action.</p>
------------------------------	--

L'incidence de l'aile par rapport au vent est prise dans le cas le plus favorable

Question B.3 DR.S1	<p>À partir des données fournies dans le bilan des actions mécaniques sur DR.S1, tracer le vecteur correspondant à l'action mécanique de l'air sur l'aile dans la vue correspondant au plan Oxy.</p>
------------------------------	--

La simulation donne les résultats suivants pour les composantes des actions décrites en **DR.S1** :

$Y_A = -39000 \text{ N}$, $Z_A = 1137 \text{ N}$, $X_B = 2000 \text{ N}$, $Y_B = 31000 \text{ N}$, $Z_B = -1137 \text{ N}$, $C_m = 3680 \text{ N}\cdot\text{m}$,

Question B.4	<p>À l'aide des résultats de simulation, calculer l'intensité de la résultante entre la pièce support supérieur 2 et le mât 4. Préciser si c'est le poids de l'ensemble {voile + mât} ou l'action de l'air sur l'aile qui a le plus d'incidence sur cette intensité, justifier votre réponse.</p>
--------------	--

Partie C : quelle solution constructive mettre en œuvre pour la liaison entre le support supérieur 2 et le mât 4 ?

Afin de vérifier la tenue aux efforts de la pièce support supérieur 2, une simulation à l'aide d'un logiciel adapté a été faite.

Question C.1 | **Compléter** le tableau du **DR.S2**, en désignant la nature des surfaces S2 et S3. **Justifier** les conditions aux limites appliquées aux surfaces S1, S2 et S3.
DR.S2

Les résultats de la simulation sont donnés **DT.S4**. Le matériau utilisé pour cette pièce est un composite de résine époxy et de fibre de verre non tressé. Le matériau est considéré comme isotrope. Le coefficient de sécurité utilisé sur ce type de pièce dans la marine est de 4.

Question C.2 | **Calculer** le coefficient de sécurité de la pièce support supérieure 2. **Conclure** sur la validation de cette pièce.
DT.S4

La liaison entre le mât 4 et la pièce support supérieure 2 ne peut pas être à contact direct, car le matériau composite risque de s'user rapidement. Le choix est fait d'intercaler un coussinet à collerette métallique. Un extrait de catalogue constructeur et la méthode de choix d'un coussinet est donnée dans le **DT.S5**.

- L'intensité de l'effort radial du mât 4 sur la pièce support supérieur 2 retenue pour cette étude est de 40000 N.
- Le cas de charge est dynamique.
- Le coefficient de sécurité est de 4.

Question C.3 | À l'aide du plan d'ensemble **DT.S2** et du catalogue **DT.S4**, **choisir** la référence du coussinet à utiliser. **Expliquer** votre démarche.
DT.S2,
DT.S4

Le document réponse **DR.S3** montre une vue en coupe de la pièce 2 et du mât 4.

Question C.4 | Sur le document **DR.S3**, **dessiner** à main levée le coussinet tel qu'il doit être assemblé. **Spécifier** sur cette esquisse les cotes manquantes pour la définition complète du coussinet.
DR.S3

DT.S1 : OceanWings

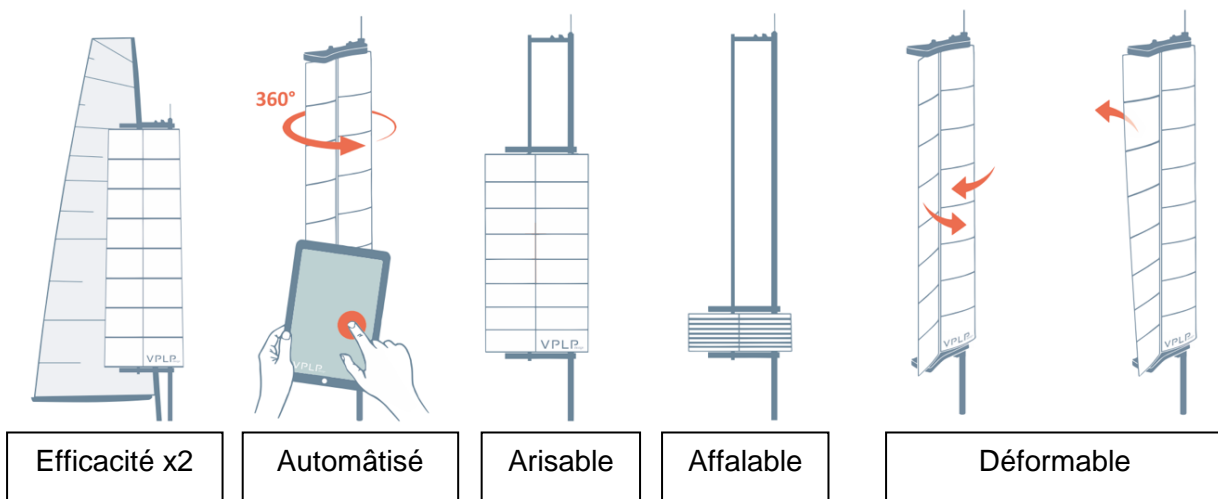
Les Oceanwings® sont le fruit d'un concept breveté par **VPLP design** co-développé en partenariat avec **CNIM** où elles sont assemblées.

VPLP Design puise son inspiration et son expérience des ailes rigides de l'America's Cup dont l'efficacité aérodynamique est bien supérieure aux voiles traditionnelles. Une raison fondamentale a néanmoins limité leur développement : leur rigidité. Une nouvelle architecture de ces ailes (système breveté) permet maintenant de passer au-delà de cette limite.

Ces voiles rigides sont construites sur le même principe que les ailes d'avion et exploitent les effets de l'écoulement d'air autour d'un solide (principe de Bernoulli). La portance et la traînée générées par cet écoulement permettent de propulser le navire. L'intensité de ces deux actions mécaniques dépend de la courbure de l'aile et de son orientation de l'aile face au vent.

Les principales caractéristiques de ces voiles sont les suivantes :

- Il est possible de les ariser (réduire la surface au vent) et même de les affaler (ranger complètement).
- Afin d'être facilement utilisable par un marin novice, l'aile est complètement automatisée.
- Ces ailes rigides ont une bien meilleure efficacité que les voiles traditionnelles puisqu'à performance égale elles nécessitent deux fois moins de surfaces.
- Elles sont orientables à 360° pour profiter de toutes les directions de vent relatif possibles.
- Il est possible de les vriller verticalement pour affiner leurs performances.

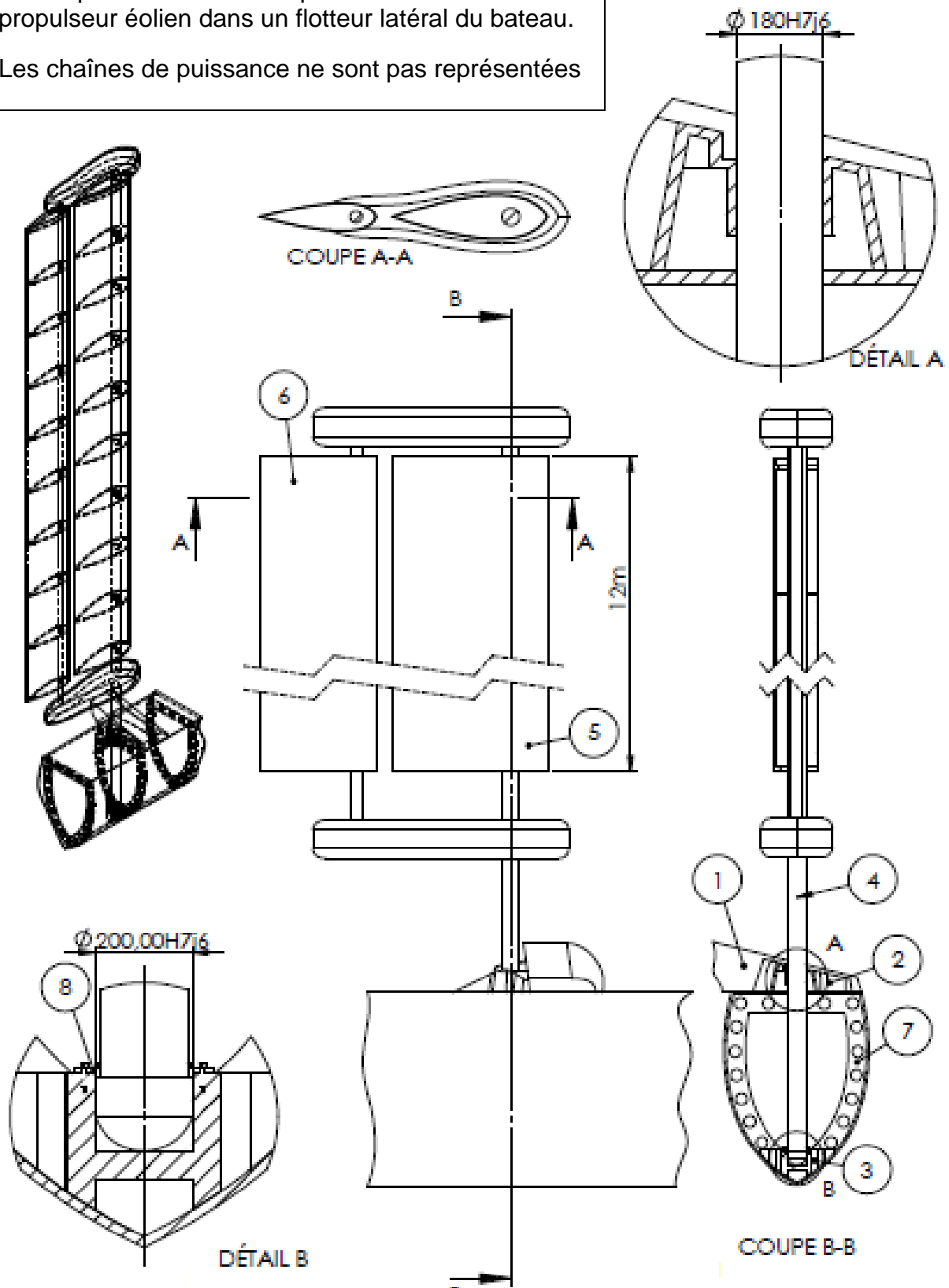


Sur Energy Observer ces ailes auront une surface de 31,5 m² chacune.

La voile doit être affalée si le vent dépasse 61 km·h⁻¹

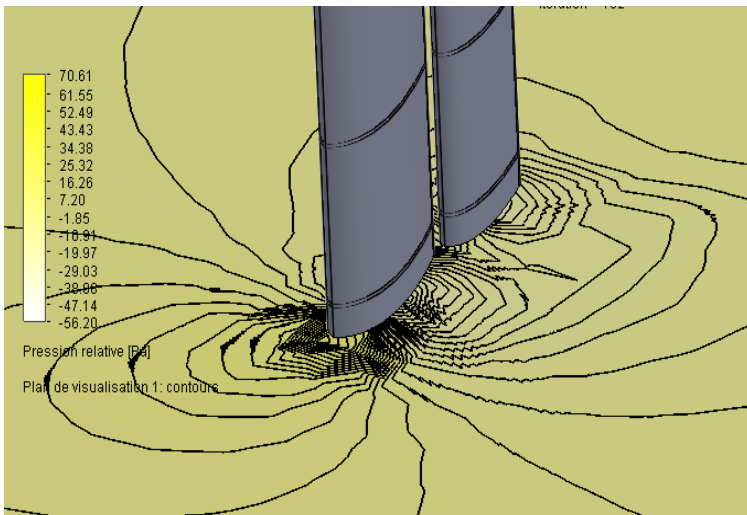
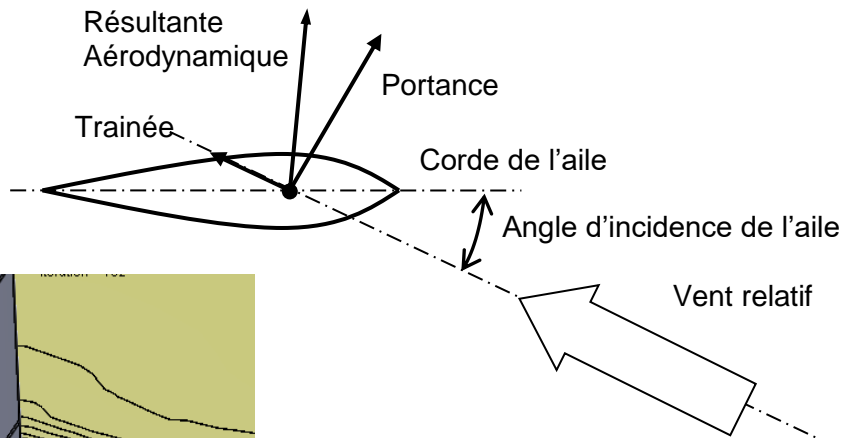
DT.S2 : implantation des mâts.

Étude préliminaire de l'implantation du mât 4 d'un propulseur éolien dans un flotteur latéral du bateau.
Les chaînes de puissance ne sont pas représentées



DT.S3 : résultat de la simulation d'écoulement de l'air sur la voile

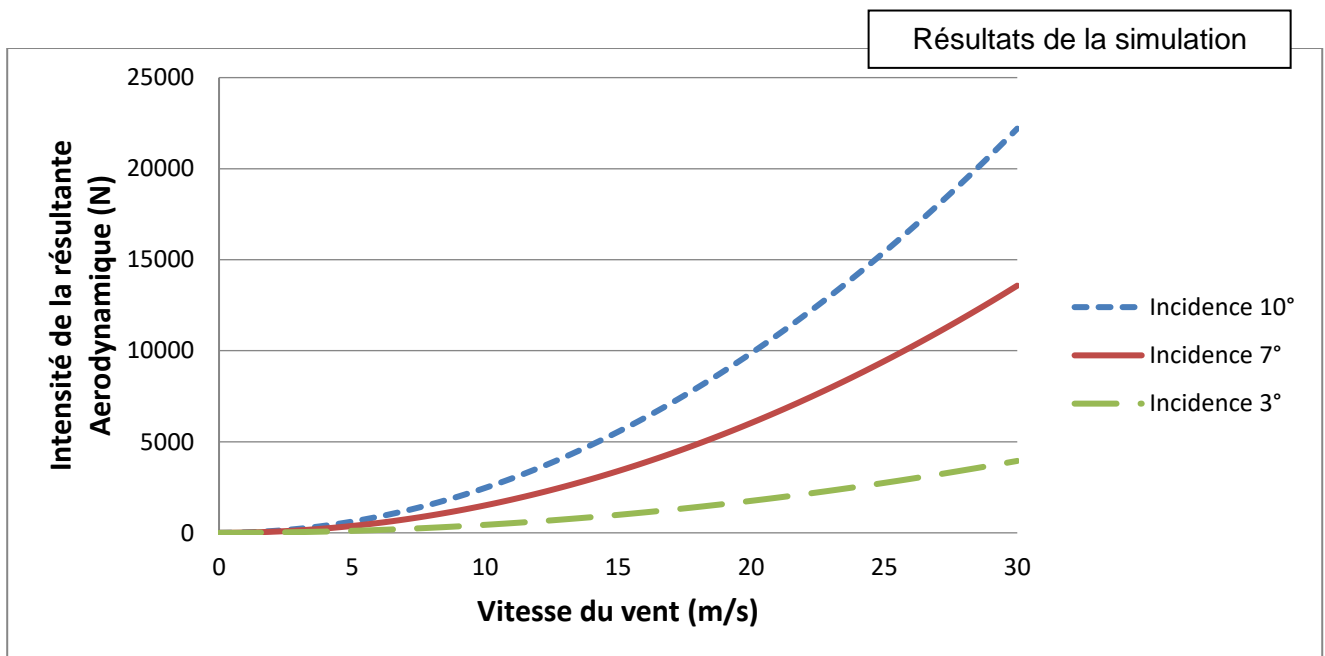
Le théorème de Bernoulli montre qu'un fluide qui s'écoule autour d'un solide génère sur celui-ci une résultante aérodynamique. L'intensité de cette résultante dépend de la vitesse du fluide, mais aussi de l'incidence du profil par rapport à la direction de l'écoulement. L'angle d'incidence est l'angle formé entre la corde de l'aile et la direction du vent relatif comme indiqué sur la figure ci-dessous.



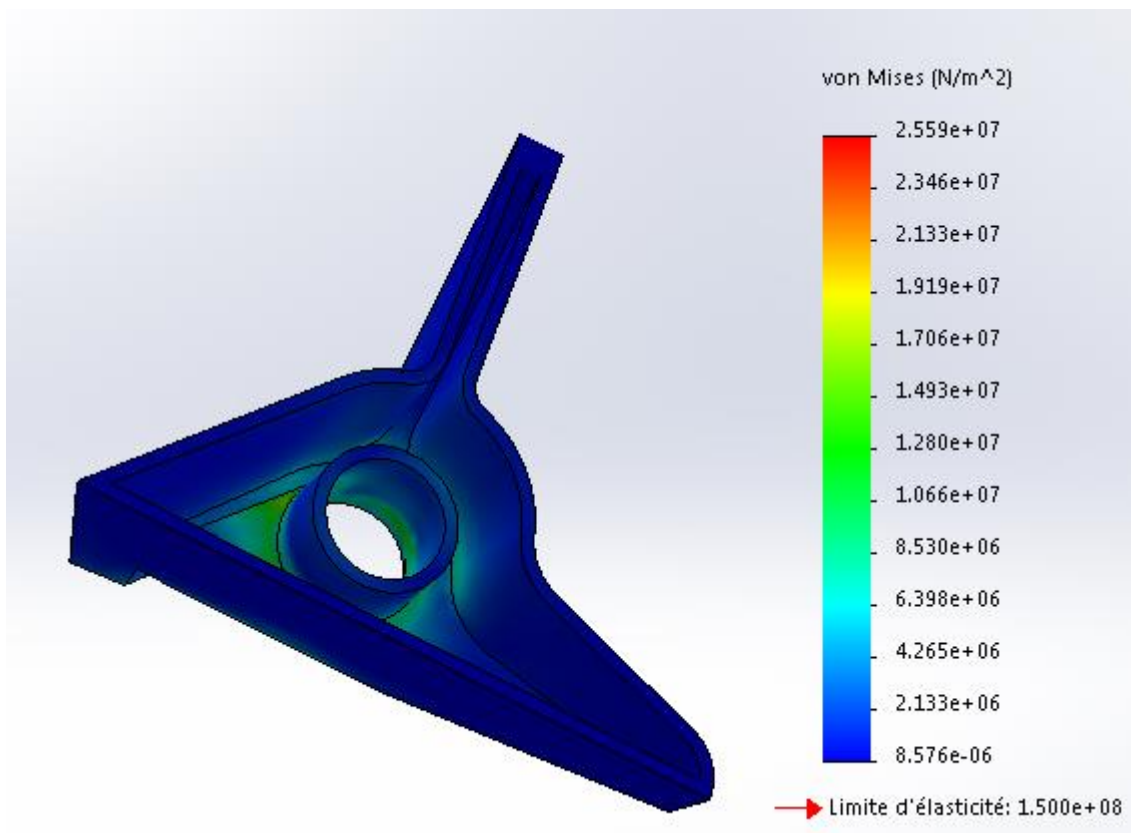
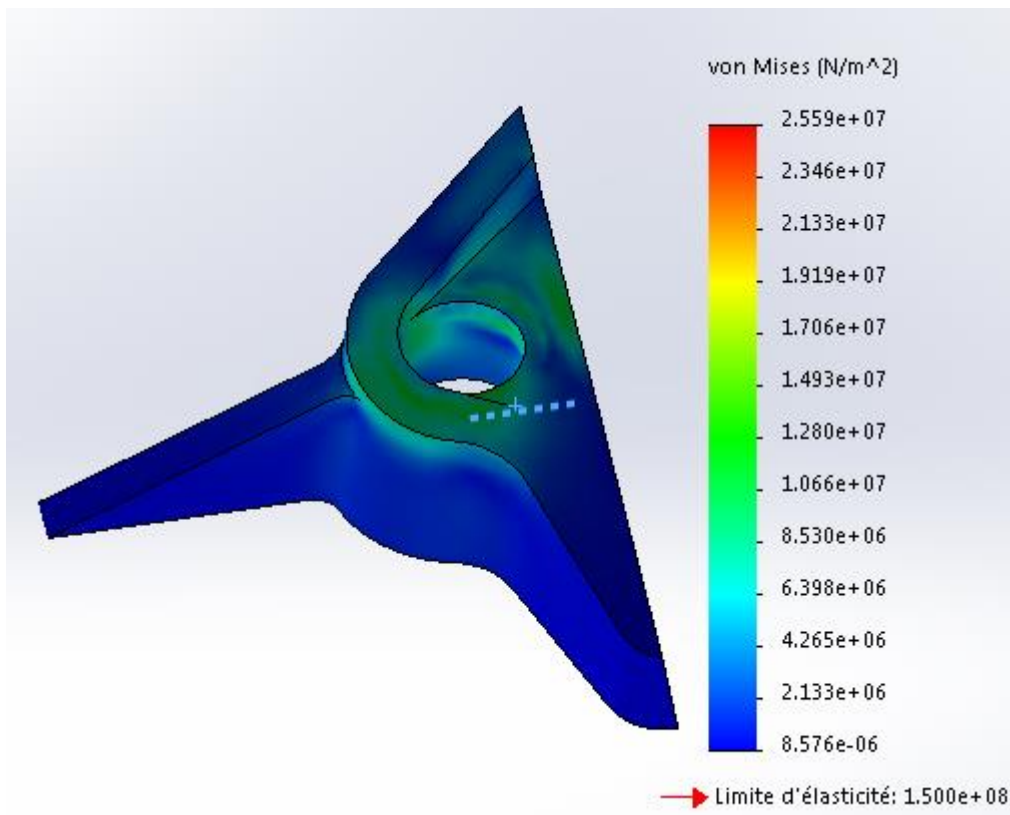
Simulation de l'écoulement du fluide autour du propulseur éolien.

La vitesse du vent est variée entre 0 et 30 m/s.

Trois incidences de voile sont testées : 10°, 7° et 3°.

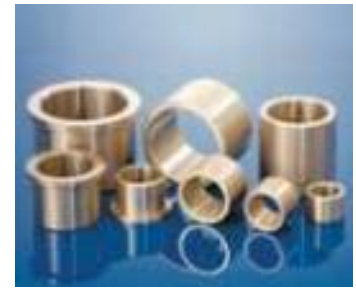


DT.S4 : résultats de simulation de la pièce 2



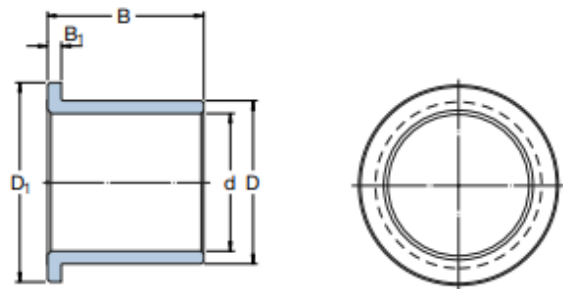
DT.S5 : extrait de catalogue de coussinets à collerette

SKF bronze massif – Coussinets à collerette	
Charge dynamique admissible, N·mm ⁻²	25
Charge statique admissible, N·mm ⁻²	45
Vitesse de glissement admissible, m·s ⁻¹	0,5
Coefficient de frottement	0,08 < μ < 0,15



Système de désignation

PBMF	20	28	16
	d	D	B
	Avec collerette		
	Métrique		
	Bronze massif		
	Coussinet		



Désignation	d mm	D mm	B mm	D ₁ mm	B ₁ mm
PBMF 15017070 M1G1	150	170	70	185	10
PBMF 150170100 M1G1	150	170	100	185	10
PBMF 16018070 M1G1	160	180	70	195	10
PBMF 160180100 M1G1	160	180	100	195	10
PBMF 17019070 M1G1	170	190	70	205	10
PBMF 170190100 M1G1	170	190	100	205	10
PBMF 18020070 M1G1	180	200	70	215	10
PBMF 180200100 M1G1	180	200	100	215	10
PBMF 19021080 M1G1	190	210	80	225	10
PBMF 190210120 M1G1	190	210	120	225	10
PBMF 20022080 M1G1	200	220	80	235	10
PBMF 200220120 M1G1	200	220	120	235	10
PBMF 21023080 M1G1	210	230	80	245	10
PBMF 210230120 M1G1	210	230	120	245	10
PBMF 220240100 M1G1	220	240	100	255	10
PBMF 220240140 M1G1	220	240	140	255	10
PBMF 230250100 M1G1	230	250	100	265	10
PBMF 230250140 M1G1	230	250	140	265	10
PBMF 240260100 M1G1	240	260	100	275	10
PBMF 240260140 M1G1	240	260	140	275	10
PBMF 250270100 M1G1	250	270	100	285	10
PBMF 250270140 M1G1	250	270	140	285	10

Tolérances de l'arbre

e7-e8

Tolérances du logement

H7

Rugosité de l'arbre (μm)

0 < Ra < 1,0

Dureté de l'arbre, HB

165 -400

Choix d'un coussinet à collerette :

Surface projetée : $S = B \times d$

Pression diamétrale : $P = F / S$

$F =$ Effort radial

Condition de résistance dynamique :

$P \times s < \text{charge dynamique}$

Condition de résistance statique :

$P \times s < \text{charge statique}$

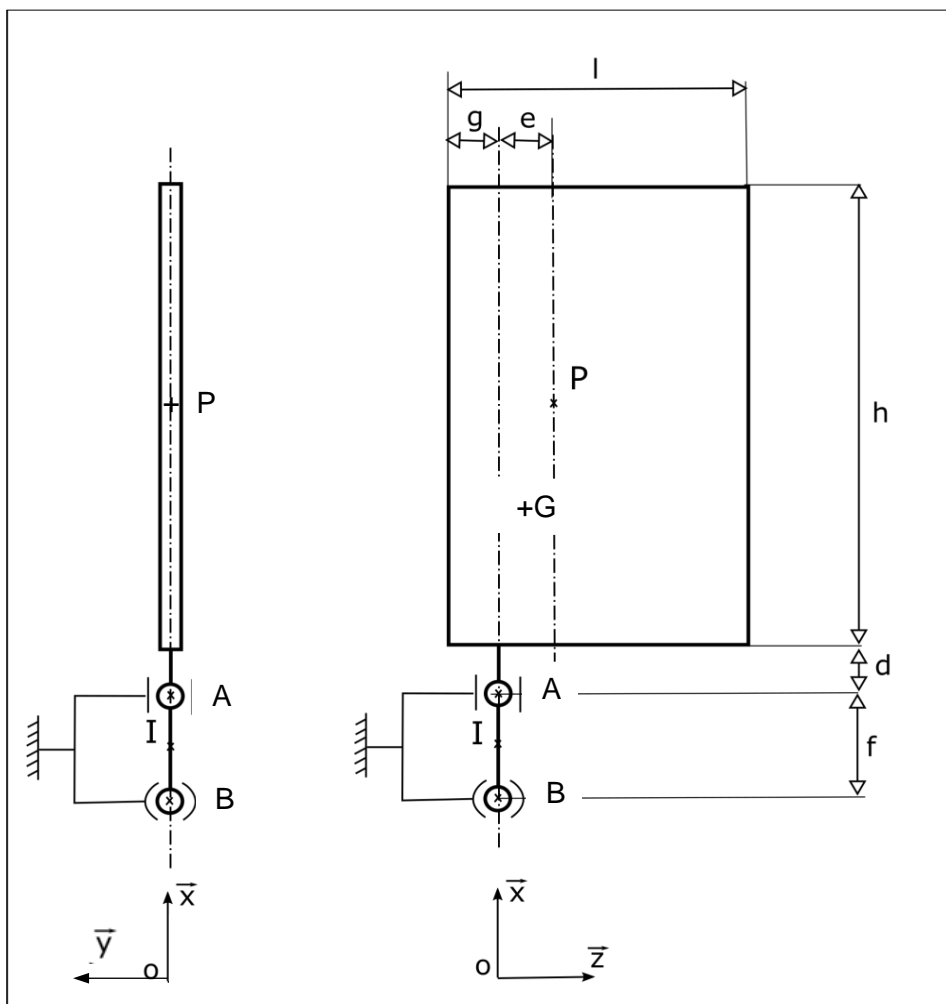
$s =$ coefficient de sécurité

DOCUMENT RÉPONSES DR.S1

Dimensions (m)	
l	2,625
h	12
e	0,46
g	0,4
f	1,6
d	1

Échelle :

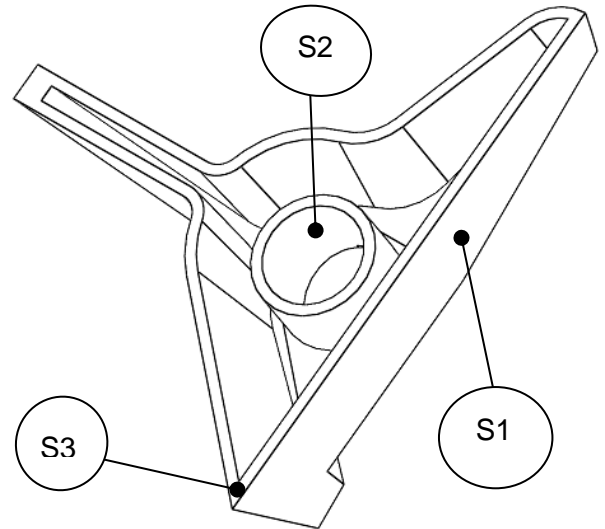
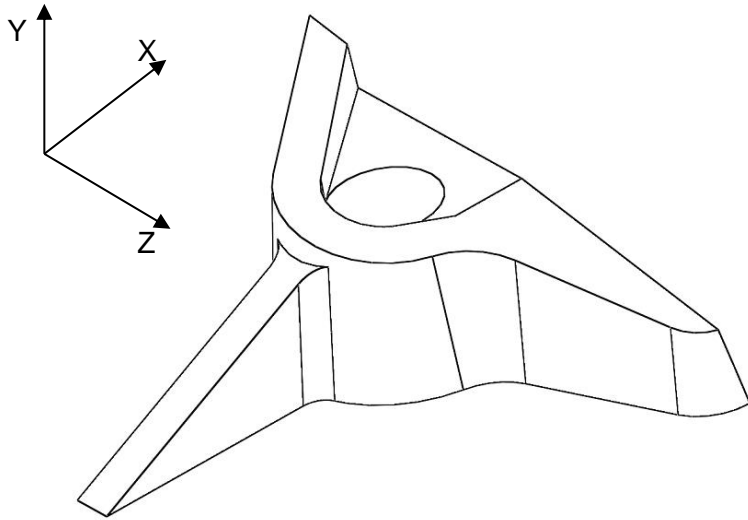
1cm = 2000 N



Dans le tableau ci-dessous, les inconnues statiques sont données sous la forme X, Y ou Z avec pour indice la lettre du point d'application de l'action mécanique (exemple : Y_A et Z_A pour l'action en A entre 2 et 4)

Bilan des actions mécaniques extérieures							
Nom	Point	Résultante			Moment		
		x	y	z	x	y	z
Action de la pièce 2 sur 4	A	0	Y_A	Z_A	0	0	0
Action de la pièce 3 sur 4	B						
Air sur aile	P	0	8000 N	0	0	0	0
Motorisation sur 4	I	0	0	0	Cm	0	0
Pesanteur	G						

DOCUMENT RÉPONSES DR.S2



Surface	Nature des surfaces	Conditions aux limites
S1	Plan	Fixe
S2		Force intensité 39016 N
S3		Fixe

