

td	td ST 6.4	TS11 (Période 5)
	Dimensionnement (guidage)	1h
	Cycle 9 : Statique	5 semaines

- ANALYSER** Isoler un système et justifier l'isolement.
- ANALYSER** Justifier le choix d'un matériau et/ou d'un procédé.
- MODELISER** Caractériser les grandeurs associées utiles à la modélisation.
- MODELISER** Proposer une modélisation des liaisons avec leurs caractéristiques géométriques.
- MODELISER** Modéliser une action mécanique.
- RESOUDRE** Déterminer les actions mécaniques en statique.
- CONCEVOIR** Dimensionner un composant des chaînes fonctionnelles.

Objet de l'étude :

L'étude porte sur un aérogénérateur, encore appelé éolienne dont une photographie est donnée. Un aérogénérateur produit de l'électricité sans avoir recours à des fluides sous pression ou à une température élevée, sans émission de polluants gazeux, liquides ou solide, sans rejets de chaleur ou de déchets.

Un aérogénérateur est particulièrement bien adapté comme générateur électrique pour des sites isolés d'un réseau de distribution de toute autre source d'énergie.



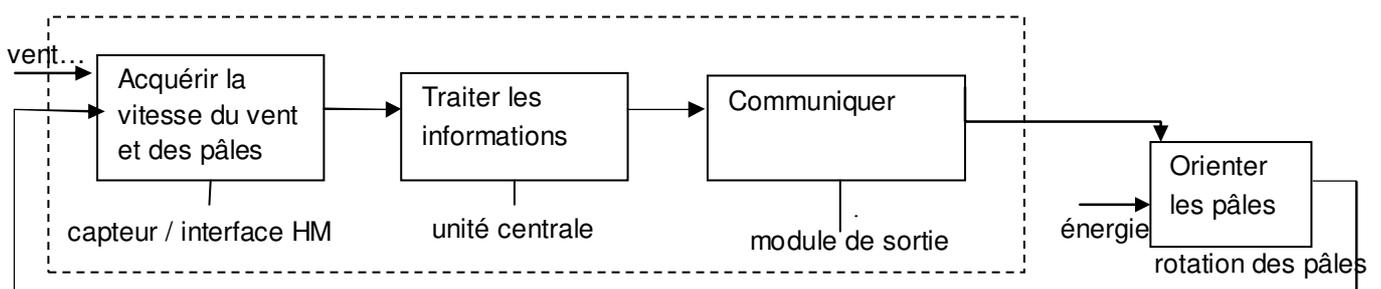
Un aérogénérateur comprend

- une hélice comportant l'ogive et les deux pales.
- une nacelle orientable par rapport au mât supportant la génératrice électrique.
- un safran permettant l'orientation dans le vent de l'aérogénérateur.
- un mât haubané.

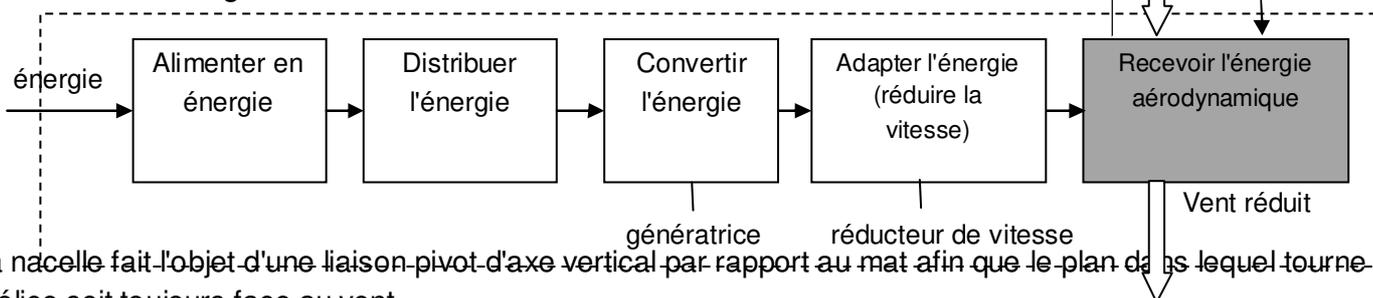
Schéma bloc de l'éolienne avec son système d'asservissement :

Le bloc grisé est celui concerné par la liaison étudiée dans ce TD : liaison pivot de l'hélice avec la nacelle.

Chaîne d'information



Chaîne d'énergie



La nacelle fait l'objet d'une liaison-pivot-d'axe vertical par rapport au mât afin que le plan de l'hélice soit toujours face au vent.

L'hélice fait l'objet d'une liaison pivot d'axe horizontal par rapport à la nacelle.

Extrait du cahier des charges de l'éolienne

Fonction	Critère	Valeur
Fournir de l'énergie électrique	Puissance nominale	$P=1,2 \text{ KW}$
	Tension	$U=220\text{V ou }380\text{V}$
	Fréquence	$f=50 \text{ Hz}$
Recevoir l'énergie aérodynamique	Vitesse du vent nominale	$v=11 \text{ m/s}$
	Vitesse assurant le démarrage	$v_d=3 \text{ m/s}$
	Vitesse du vent maximal admissible	$v_M=100 \text{ m/s}$
	Fréquence nominale de rotation en charge	$N=1000 \text{ tr/min}$
	Diamètre de l'hélice	$d=4 \text{ m}$
Permettre la fixation au sol	Hauteur du mât	$H=12 \text{ à } 30 \text{ m}$
	Masse totale de l'éolienne	$M_t=400 \text{ Kg}$
limiter la maintenance	Longueur hors tout	$L=7 \text{ m}$
	Durée sans maintenance	$t=15 \text{ ans}$

La liaison pivot étudiée est située entre l'arbre 1 supportant l'ensemble des éléments constituant l'hélice et le carter 0 de la nacelle.

1 Analyse de 3 solutions différentes

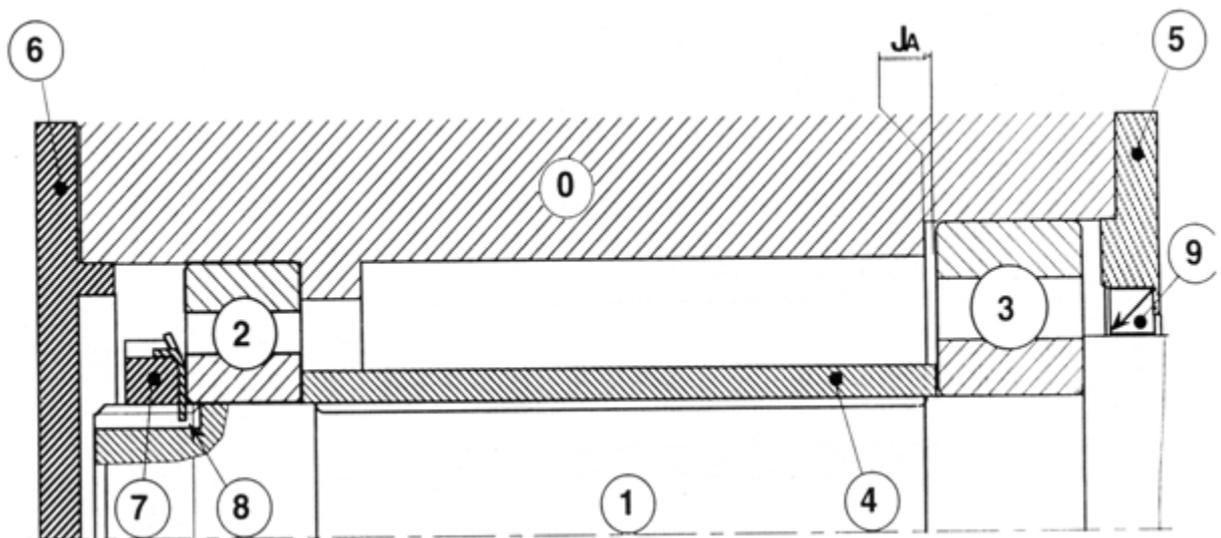


Figure 1 :

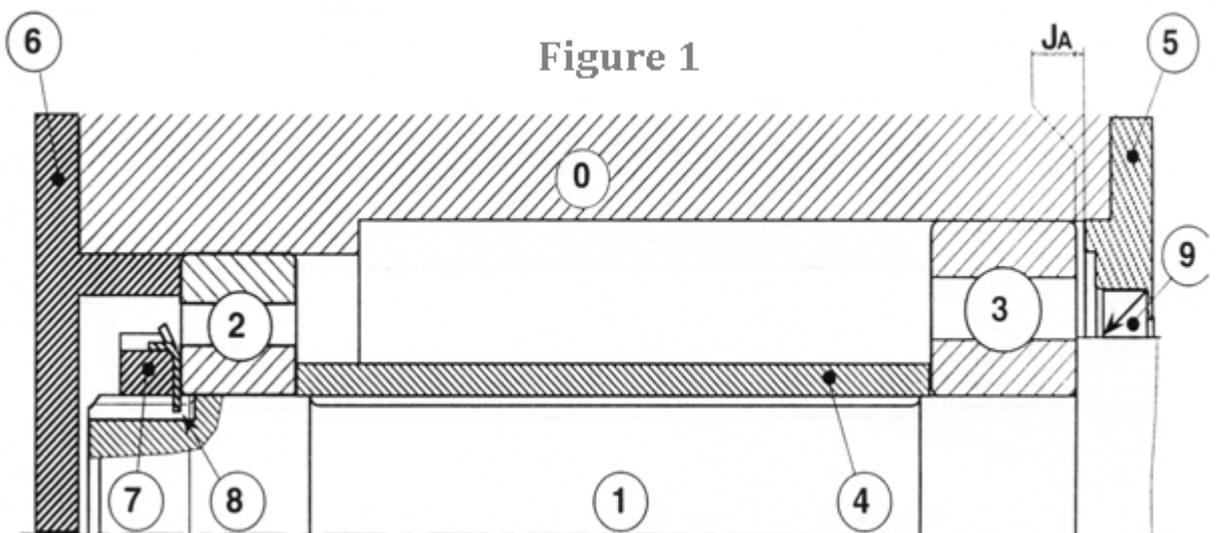


Figure 2 :

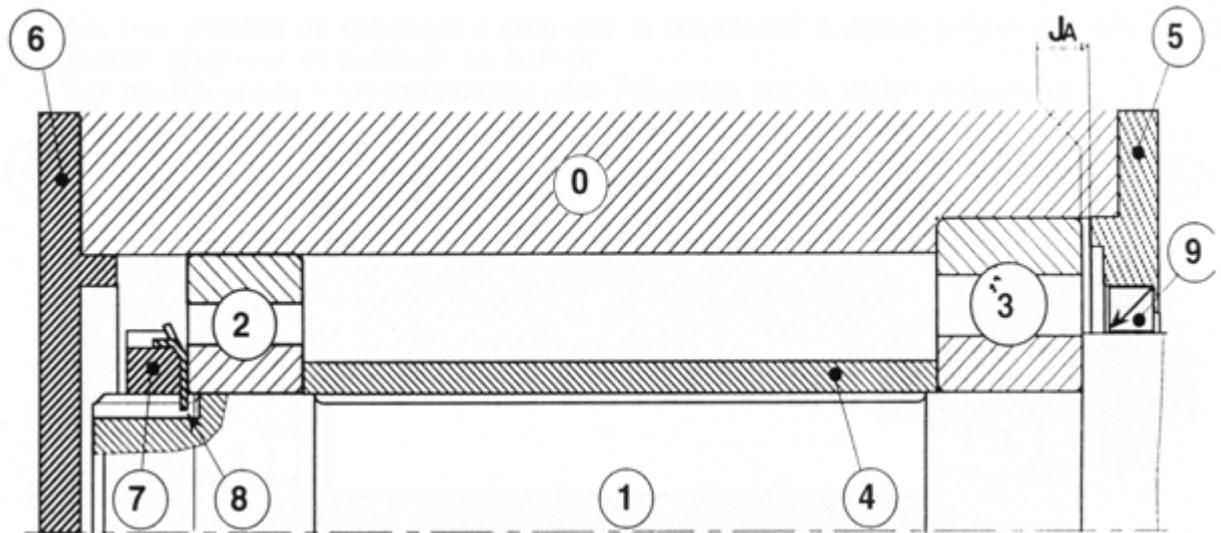


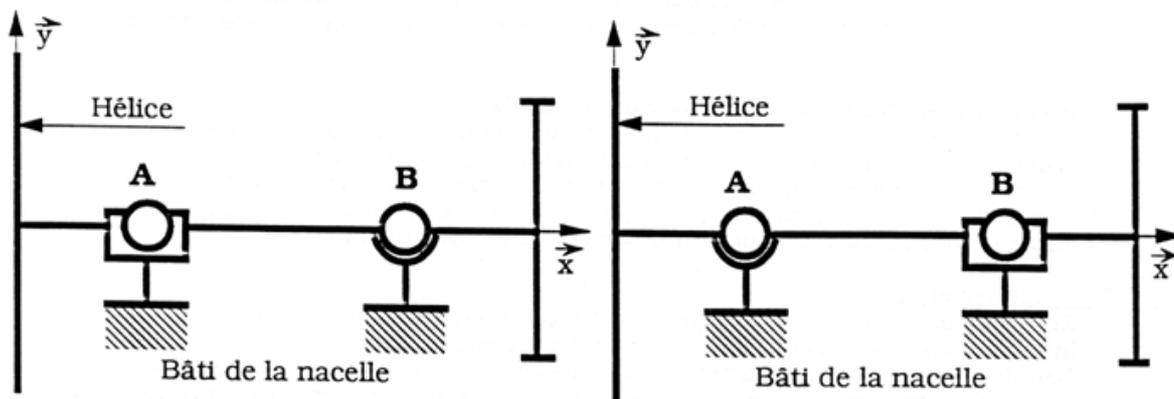
Figure 3 :

- 1) Identifier si la direction de la charge (poids et vent) est fixe ou mobile par rapport à la nacelle 0.
- 2) En déduire quelles bagues doivent être montées serrées (radialement).
- 3) Compléter la colonne du tableau "facilité de montage : → facile ou difficile" en analysant ces montages par rapport au critère de facilité de montage. On prendra en compte notamment le jeu radial.
- 4) Compléter la colonne du tableau "type de montage" en qualifiant ces montages par rapport aux arrêts en translation présents sur les roulements (l'arrêt axial sera pris en compte s'il bloque la translation de l'effort axial éventuel : vers la gauche ou/et vers la droite).
- 5) Compléter les colonnes du tableau restantes en indiquant si ces montages permettent le réglage du jeu axial, s'ils sont sensibles aux dilatations de l'arbre (influence sur le jeu axial et la génération de composante axiale d'effort) et quel roulement encaisse des efforts axiaux dirigés vers la gauche.

Montage	Facilité de montage	Type de montage	Réglage du jeu axial	Effet dilatation de l'arbre	Encaissement des efforts axiaux dirigés vers la gauche

2 Dimensionnement des roulements

Le montage palier fixe – palier libre correspond à l'une des deux schématisations ci-dessous :



On appelle (X_A, Y_A, Z_A) et (X_B, Y_B, Z_B) les inconnues de liaisons pour les roulements en A et B.

Une étude de résistance des matériaux a montré que le diamètre de l'arbre devait être au minimum de 20mm.

La prise en compte des actions aérodynamiques sur l'hélice, des actions de transmission sur le pignon d'entrée du réducteur et du poids ont conduit aux résultats suivants :

$$X_A + X_B + 700 = 0 \quad (\text{en Newton})$$

$$Y_A = 1080 \text{ N} \quad Y_B = -200 \text{ N}$$

$$Z_A = -1090 \text{ N} \quad Z_B = 590 \text{ N}$$

Roulements rigides à billes utilisés :

- roulement en A : $d \cdot D \cdot B = 20 \cdot 72 \cdot 19$ (en mm)
- roulement en B : $d \cdot D \cdot B = 25 \cdot 80 \cdot 21$ (en mm)

- 6) La taille du roulement dépend de la charge qu'il doit supporter. Dans le cas où l'on souhaite obtenir des roulements de tailles comparables en quel point est-il judicieux d'implanter le palier fixe?
- 7) Pour la solution adoptée, vérifier que les roulements sont correctement dimensionnés (on nommera F_r la charge radiale sur un roulement et F_a la charge axiale sur ce roulement).
- 8) Quel est l'inconvénient d'un montage palier fixe – palier libre avec des diamètres extérieurs de roulements sensiblement égaux (montage)?

Extrait du catalogue de roulements SKF :

Roulements rigides à billes, à une rangée, non étanches									
Dimensions d'encombrement			Charges de base dynamique statique		Limite de fatigue	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	B	C	C ₀	P _u	Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	tr/min		kg	* - Roulement SKF
17	47	14	14,3	6,55	0,275	34000	22000	0,12	6303 *
17	62	17	22,9	10,8	0,455	28000	18000	0,27	6403
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45000	28000	0,018	61804
20	37	9	6,37	3,65	0,156	43000	26000	0,038	61904
20	42	8	7,28	4,05	0,173	38000	24000	0,05	16004 *
20	42	9	7,93	4,5	0,19	38000	24000	0,051	98204 Y
20	42	12	9,95	5	0,212	38000	24000	0,069	6004 *
20	47	14	13,5	6,55	0,28	32000	20000	0,11	6204 *
20	47	14	15,6	7,65	0,325	32000	20000	0,096	6204 ETN9
20	52	15	16,8	7,8	0,335	30000	19000	0,14	6304 *
20	52	15	18,2	9	0,38	30000	19000	0,14	6304 ETN9
20	72	19	30,7	15	0,64	24000	15000	0,40	6404
22	50	14	14	7,65	0,325	30000	19000	0,12	62/22
22	56	16	18,6	9,3	0,39	28000	18000	0,18	63/22
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38000	24000	0,022	61805
25	42	9	7,02	4,3	0,193	36000	22000	0,045	61905
25	47	8	8,06	4,75	0,212	32000	20000	0,06	16005 *
25	47	12	11,9	6,55	0,275	32000	20000	0,080	6005 *
25	52	9	10,6	6,55	0,28	28000	18000	0,078	98205
25	52	15	14,8	7,8	0,335	28000	18000	0,13	6205 *
25	52	15	17,8	9,8	0,4	28000	18000	0,12	6205 ETN9
25	62	17	23,4	11,6	0,49	24000	16000	0,23	6305 *
25	62	17	26	13,4	0,57	24000	16000	0,21	6305 ETN9
25	80	21	35,8	19,3	0,815	20000	13000	0,53	6405
28	58	16	16,8	9,5	0,405	26000	16000	0,18	62/28

Tolérances , voir aussi le texte
 Jeu interne radial , voir aussi le texte
 Ajustements recommandés
 Tolérances d'arbre et de logement

On prendra pour tous les roulements proposé : $f_0=12$

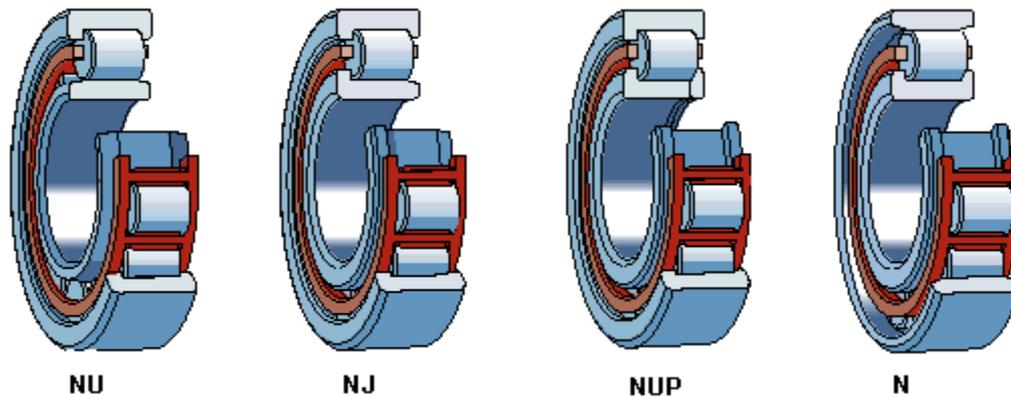
Coefficients de calcul pour les roulements rigides à billes à une rangée pour roulements isolés :

$f_0 F_a / C_0$	Jeu normal			Jeu C3			Jeu C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,30	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,40	0,44	1,40
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,30
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,30	0,56	1,45	0,40	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,50	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,10	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1,00
6,89	0,44	0,56	1,00	0,54	0,46	1,00	0,56	0,44	1,00

Les valeurs intermédiaires sont obtenues par interpolation linéaire

Afin de diminuer la taille du roulement monté libre, on souhaite utiliser un roulement à rouleaux cylindriques.

Fig. 1



- 9) Déterminer le type de roulement qu'il faudra préférer pour ne pas avoir à bloquer axialement la bague extérieure.
- 10) Vérifier que le roulement $d \times D \times B = 25 \times 52 \times 15$ respecte le cahier des charges.

Extrait du catalogue de roulements cylindriques SKF :

Dimensions d'encombrement			Charges de base dynamique statique		Limite de fatigue P_u	Vitesses de base		Masse	Désignation
d	D	B	C	C_0		Vitesse de référence	Vitesse limite		
mm			kN		kN	tr/min		kg	* - Roulement SKF
17	40	12	17,2	14,3	1,73	19000	22000	0,073	NUP 203 ECP
17	40	16	23,8	21,6	2,65	19000	22000	0,097	NUP 2203 ECP
20	47	14	25,1	22	2,75	16000	30000	0,12	NUP 204 ECML
20	47	14	25,1	22	2,75	16000	19000	0,12	NUP 204 ECP
20	47	14	25,1	22	2,75	16000	24000	0,12	NUP 204 ECPHA
20	52	15	35,5	26	3,25	15000	18000	0,16	NUP 304 ECP *
20	52	21	47,5	38	4,8	15000	18000	0,22	NUP 2304 ECP *
25	52	15	28,6	27	3,35	14000	16000	0,14	NUP 205 ECML
25	52	15	28,6	27	3,35	14000	16000	0,14	NUP 205 ECP
25	52	18	34,1	34	4,25	14000	16000	0,17	NUP 2205 ECP
25	62	17	46,5	36,5	4,55	12000	15000	0,25	NUP 305 ECJ *
25	62	17	46,5	36,5	4,55	12000	22000	0,25	NUP 305 ECML *
25	62	17	46,5	36,5	4,55	12000	15000	0,25	NUP 305 ECP *
25	62	24	64	55	6,95	12000	22000	0,41	NUP 2305 ECML *
25	62	24	64	55	6,95	12000	15000	0,38	NUP 2305 ECP *
30	62	16	44	36,5	4,55	13000	22000	0,22	NUP 206 ECML *
30	62	16	44	36,5	4,55	13000	14000	0,22	NUP 206 ECP *
30	62	20	55	49	6,1	13000	14000	0,27	NUP 2206 ECP *
30	72	19	58,5	48	6,2	11000	12000	0,38	NUP 306 ECJ *
30	72	19	58,5	48	6,2	11000	12000	0,38	NUP 306 ECM *
30	72	19	58,5	48	6,2	11000	19000	0,38	NUP 306 ECML *
30	72	19	58,5	48	6,2	11000	12000	0,38	NUP 306 ECP *
30	72	27	83	75	9,65	11000	19000	0,55	NUP 2306 ECML *
30	72	27	83	75	9,65	11000	12000	0,55	NUP 2306 ECP *
35	72	17	56	48	6,1	11000	12000	0,33	NUP 207 ECJ *

- 11) Déterminer la valeur de la pression spécifique maximale p_0 . Conclure.