

Étude d'un aérogénérateur

Analyse comportementale



Source : http://technicalillustrators.org/files/2009/11/jhatch_WindTurbine_Orig1.jpg

Table des matières

- Orientation de la nacelle et gestion de l'asservissement en position 3
 - 1.1. Détermination des diamètres primitifs d_1, d_2 6
 - 1.2. Détermination de la vitesse angulaire moyenne $\omega_{2/1}$ 6
 - 1.3. Détermination de la vitesse tangentielle ($V_{A2,2/1}$) 6
 - 1.4. Temps de déplacement de la nacelle 7
 - 1.5. Influence de l'orientation de la nacelle sur la production énergétique 8
 - 1.6. Étude du système d'orientation de la nacelle 9
 - 1.6.1. Analyse fonctionnelle de l'orientation de la nacelle 9
 - 1.6.2. Orientation de la nacelle : fonctionnement 9
 - 1.6.3. Fonctionnement souhaité 10
 - 1.6.4. Systèmes asservis – Notions : Régulation et asservissement 10
 - 1.6.5. Étude de l'acquisition de la mesure de la girouette 11
 - 1.6.6. Étude de l'acquisition de la position de l'éolienne 13
 - 1.6.7. Étude et réglage d'un correcteur PID : 14
 - Expérimentation : 15
 - 1.6.8. Étude et réglage d'un correcteur tout ou rien : 17
- Étude énergétique de la transmission de puissance 18
 - 2.1. Puissance transmissible et lois d'entrées-sorties de l'éolienne 18
 - 2.1.1. Puissance disponible sur l'arbre lent du rotor 18
 - 2.1.2. Dimensionnement du disque éolien 18
 - 2.1.3. Courbe de puissance 20
 - 2.1.4. Détermination de ω_L 21
 - 2.1.5. Couple disponible sur l'arbre lent du rotor 21
 - 2.1.6. Détermination du rapport de réduction r 22
 - 2.1.7. Validation du rapport de réduction 22
 - 2.1.8. Puissance disponible sur l'arbre rapide du multiplicateur PR 24
 - 2.2. Modélisation des liaisons 26
 - 2.2.1. Désignation des liaisons 28
- Réponse à la problématique 29

2^{ème} partie

• Orientation de la nacelle et gestion de l'asservissement en position

Cette partie consacrée à l'étude de la rotation de l'éolienne complète pour la diriger dans le sens du vent est composée de trois problématiques.

Compétences développées :

A2. Analyser le système

- identifier les éléments transformés et les flux ;
- décrire les liaisons entre les blocs fonctionnels ;

C2. Mettre en œuvre un protocole expérimental

- traiter les données mesurées en vue d'analyser les écarts ;

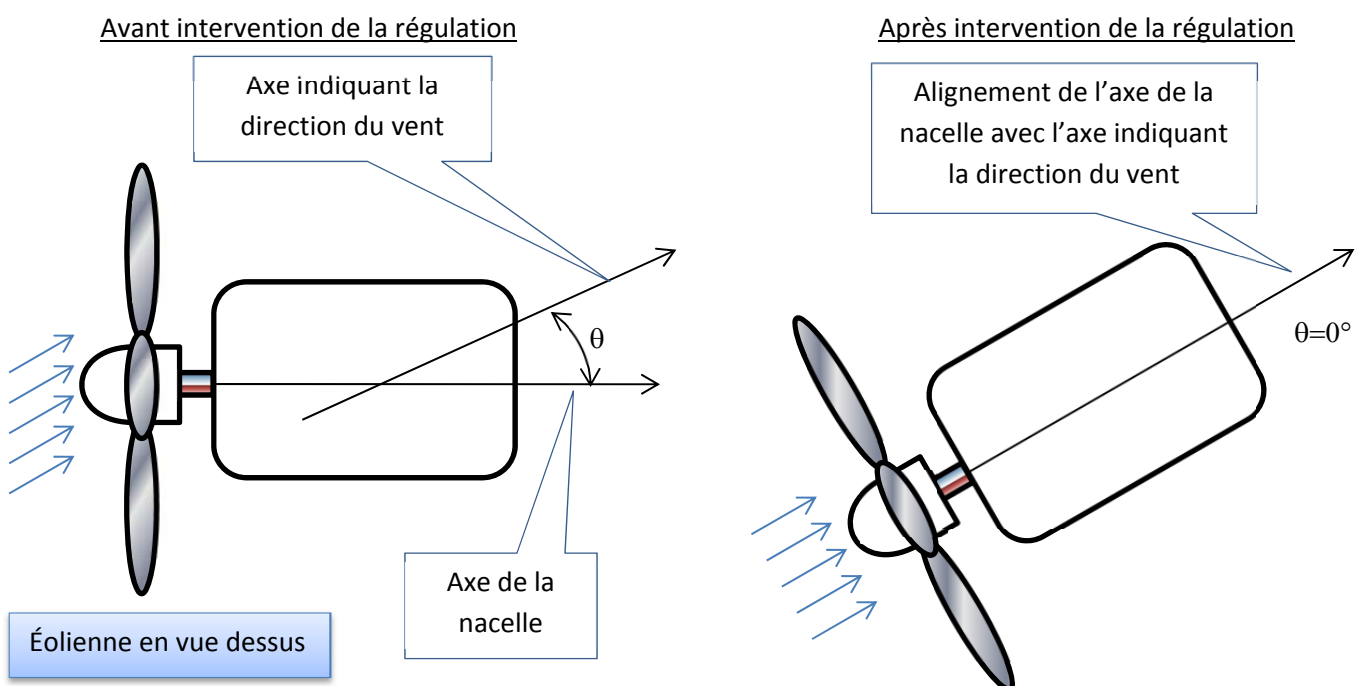
A3. Caractériser des écarts

- comparer les résultats expérimentaux avec les critères du cahier des charges et interpréter les écarts.

Problème technique n°3 : **Quelle est l'influence des dimensions du pignon et de la roue sur la vitesse de déplacement de l'éolienne ?**

Il est demandé pour tous les calculs d'écrire l'expression littérale puis d'effectuer l'application numérique.

L'objectif de cette étude est de déterminer le temps mis par la nacelle pour se positionner par rapport à la direction du vent à partir d'un angle de décalage précis (θ) entre l'axe longitudinal de la nacelle et l'axe de direction du vent ainsi que de déterminer l'angle au-delà duquel la perte énergétique devient significative.

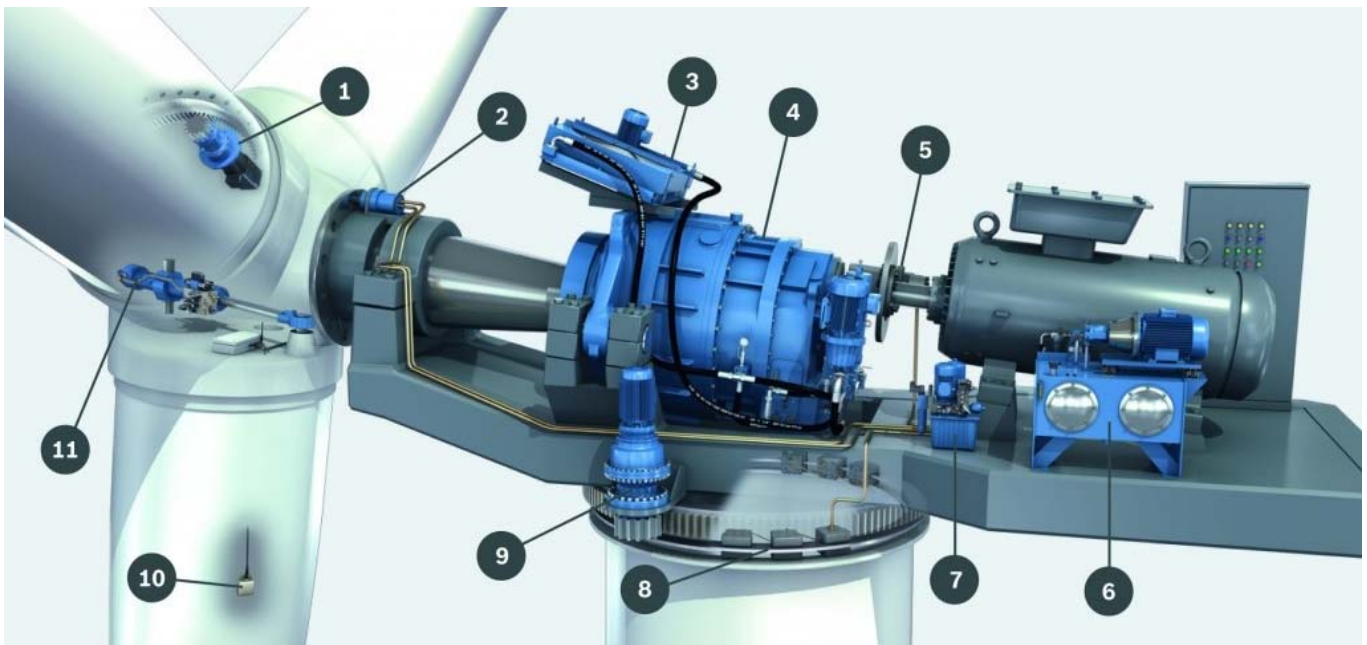


Pour obtenir un rendement optimal de l'éolienne, il est indispensable que le « disque éolien » (plan virtuel défini par la rotation des pales) soit constamment perpendiculaire à la direction du vent. À défaut, la puissance disponible en sortie du générateur diminue rapidement et des vibrations, néfastes à la longévité de l'aérogénérateur, risquent d'apparaître.

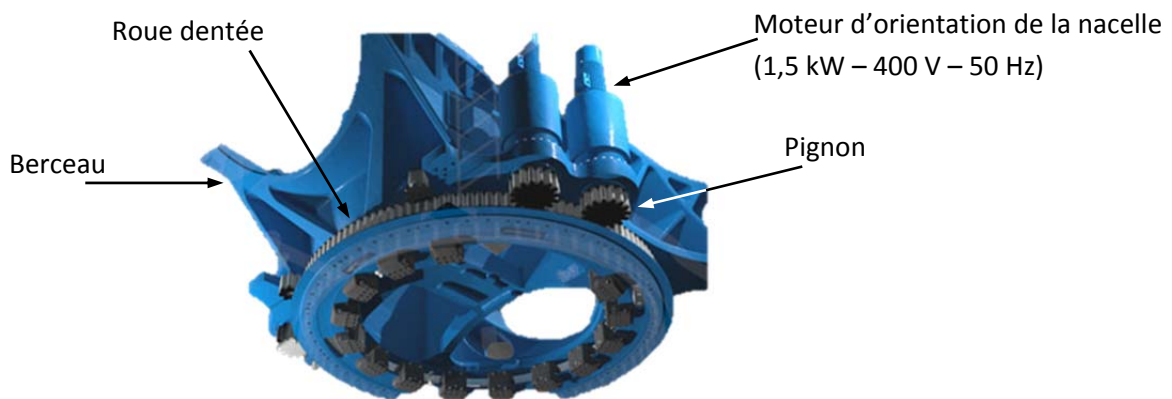
L'éolienne VESTAS V52 est équipée d'une nacelle orientable, dotée d'un dispositif de régulation automatique dont la fonction est de maintenir en permanence le disque éolien face au vent.

La nacelle est liée à la tour par une couronne à billes, à contact oblique. Celle-ci réalise une liaison pivot entre la tour et la nacelle. L'entraînement de l'orientation de la nacelle s'effectue grâce aux quatre motoréducteurs liés à celle-ci, alimentés par le réseau et comportant un système de freinage capable de maintenir en position l'ensemble de la nacelle.

Le mouvement de rotation de la nacelle par rapport à la tour est assuré par quatre pignons dentés (denture droite) entraînés directement par les 4 motoréducteurs. Les 4 pignons engrènent avec la roue dentée qui est fixée à la tour. Ainsi est réalisé le mouvement de rotation de la nacelle.

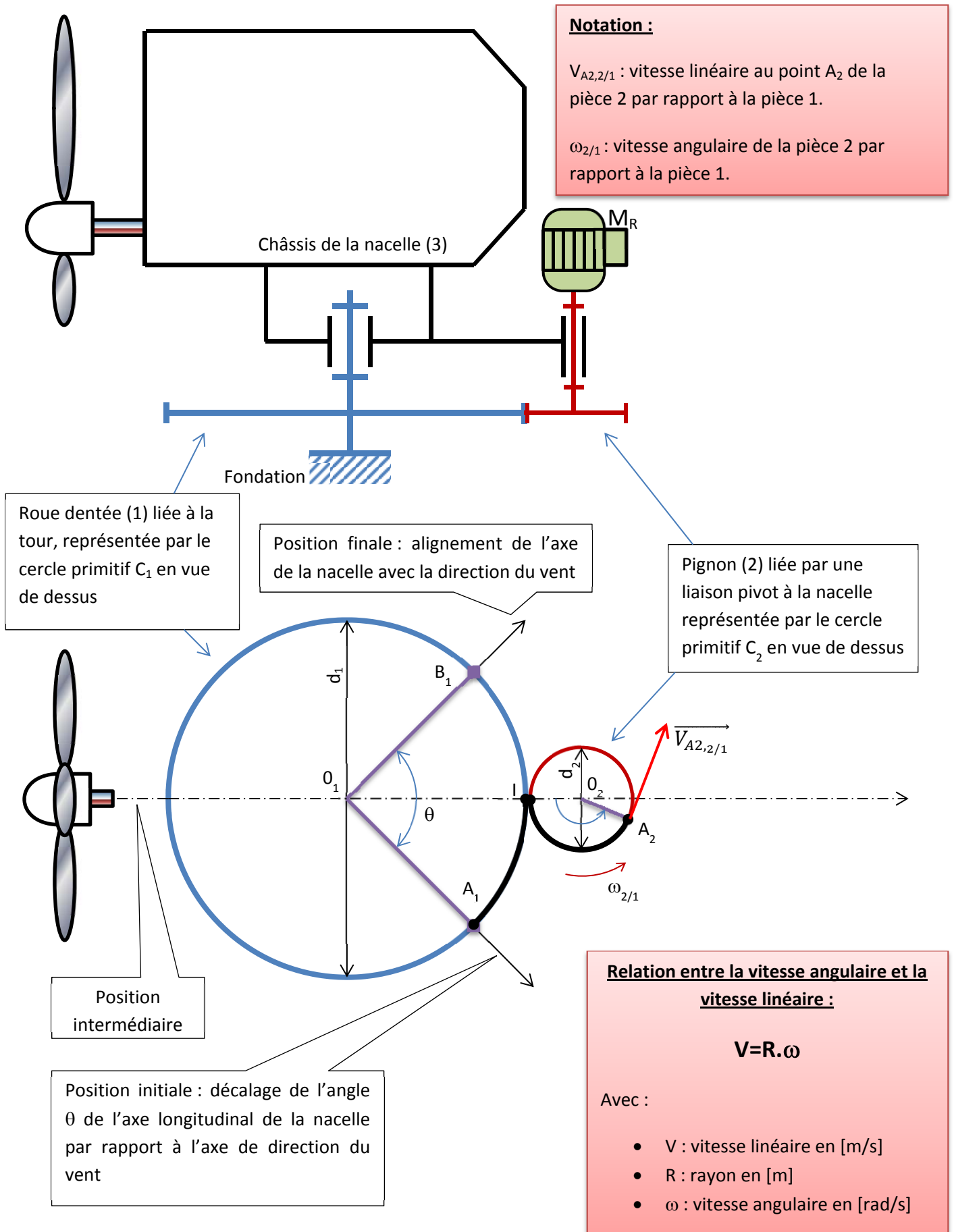


Source : windenergynetwork.co.uk



Source : www.nordex-online.com

Afin de simplifier l'étude nous avons considéré le schéma cinématique comme illustré sur le schéma de la page suivante : la nacelle est entraînée par un seul pignon (2) qui engrène avec la roue dentée fixe (1) liée à la tour.



1.1. Détermination des diamètres primitifs d_1 , d_2

En se référant à la figure sachant que les données sont les suivantes : la roue dentée (1) attachée à la tour d'un diamètre primitif (d_1), comporte un nombre de dents $Z_1 = 90$; le pignon (2) à denture droite entraîné par le motoréducteur (M_R) d'un diamètre primitif (d_2) comportant un nombre de dents $Z_2 = 15$; module de denture $m = 40$ mm ;

✎ **donnez les expressions littérales de (d_1) et (d_2) en fonction de (m , Z_1 , Z_2).**

✎ **Calculez les diamètres primitifs (d_1) et (d_2).**

1.2. Détermination de la vitesse angulaire moyenne $\omega_{2/1}$

Le pignon (2) entraîné par le motoréducteur (M_R) tourne à la fréquence de rotation moyenne $N_2 = 15$ tr/min.

✎ **Déterminez l'expression littérale de la vitesse angulaire moyenne ($\omega_{2/1}$). Précisez les unités.**

✎ **Application numérique : calculez ($\omega_{2/1}$).**

1.3. Détermination de la vitesse tangentielle ($V_{A_2,2/1}$)

✎ **Déterminez l'expression littérale de la vitesse tangentielle au point A_2 du cercle primitif du pignon (2) en fonction de (d_2 , $\omega_{2/1}$).**

✎ Calculez la valeur numérique de $(V_{A_2,2/1})$ en m/s.

1.4. Temps de déplacement de la nacelle

Au départ la nacelle occupe la position initiale. Son axe longitudinal coïncide avec l'axe (O_1A_1) . θ étant l'angle de décalage de l'axe (O_1A_1) avec l'axe de direction du vent (O_1B_1) , lorsque le pignon (2) est entraîné en mouvement de rotation par rapport à la roue dentée fixe (1), le cercle primitif C_2 du pignon (2) roule sans glisser sur le cercle primitif C_1 de la roue dentée (1). Le pignon (2) au cours de son déplacement sur l'arc de cercle $\widehat{A_1B_1}$ va entraîner la nacelle à sa position finale (O_1B_1) . L'angle θ est égal à 30° . Dans ces conditions, la longueur (L) de l'arc du cercle primitif (C_1) $\widehat{A_1B_1}$ est égale à 942 mm : $L = 942$ mm.

✎ Donnez l'expression littérale du temps (t) mis par la nacelle pour son déplacement de la position initiale (O_1A_1) à la position finale (O_1B_1) sachant que la vitesse tangentielle moyenne du pignon au point A_1 est $V_{2/1}$.

✎ Calculez la valeur numérique du temps (t) en secondes.

1.5. Influence de l'orientation de la nacelle sur la production énergétique

Problème technique n°4 : Le décalage de la position de l'éolienne par rapport à la direction du vent a-t'il une influence importante sur la quantité d'énergie produite ?

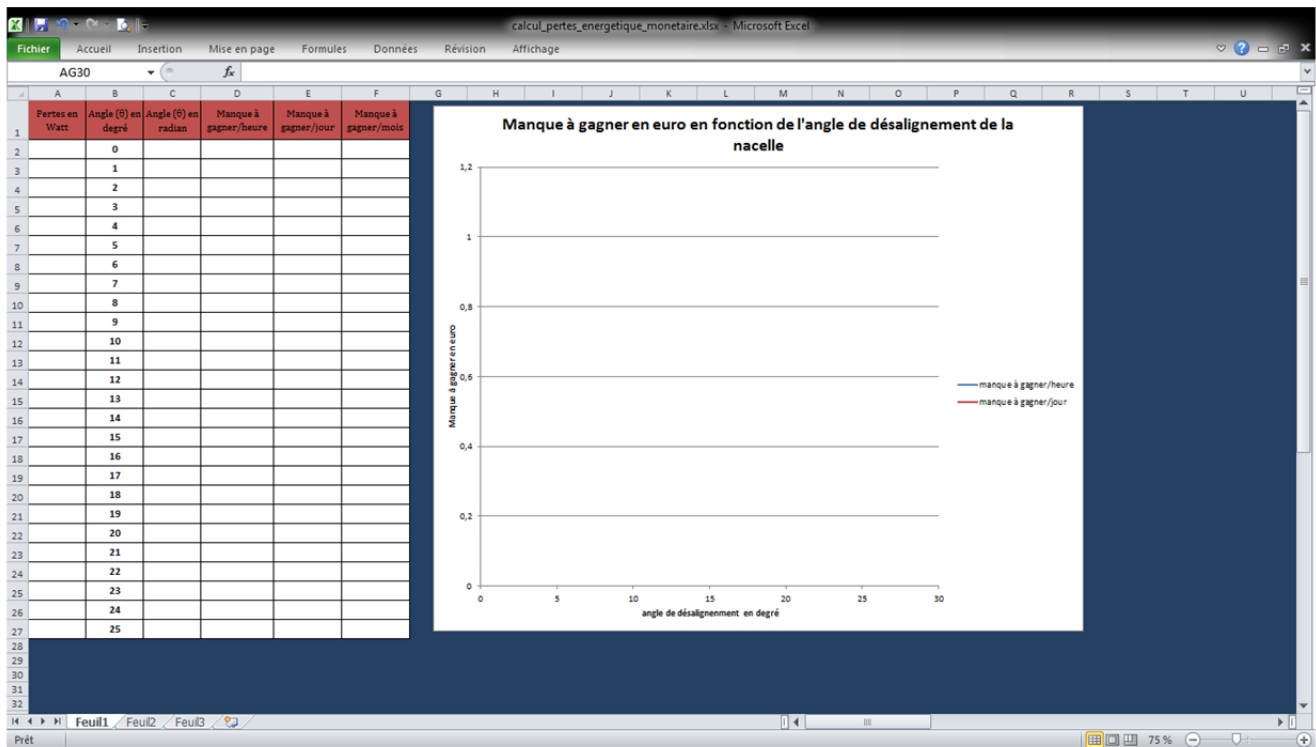
L'éolienne étudiée a pour puissance exploitable 850 kW lorsqu'elle est entraînée par un vent compris entre 16 et 25 m/s (nous vérifierons ceci dans la quatrième partie). Ceci est vrai lorsque le vent est face aux pales (perpendiculaire au disque éolien).

La perte énergétique est directement liée à la fonction cosinus de l'angle : $850 \cdot 10^3 (1 - \cos \theta)$. Le coût d'achat de la production est de 50€/MWh (source : http://energeia.voila.net/electri/cout_electri.htm).

✎ En utilisant un tableur numérique vous allez calculer le manque à gagner par heure, par jour et par mois. Pour ce faire vous renseignerez les cellules suivant le modèle suivant :

Pertes en Watt	Angle (θ) en degré	Angle (θ) en radian	Manque à gagner/heure	Manque à gagner/jour	Manque à gagner/mois
$850000(1 - \cos \theta)$	$\theta \in [0 ; 25]$				

Nota : Il est possible d'utiliser la feuille Excel® prêt à l'emploi fourni avec ce document.



À l'issu de ce travail on s'aperçoit que le moindre degré d'imprécision a des conséquences importantes sur le manque à gagner sans parler des sollicitations mécaniques qui ne sont plus centrées et génèrent de la fatigue prématurée dans différents éléments.

Les éoliennes sont munies de deux anémomètres. Un anémomètre sert à renseigner le système de gestion et de production de l'éolienne sur la vitesse du vent, le second surveille le premier.

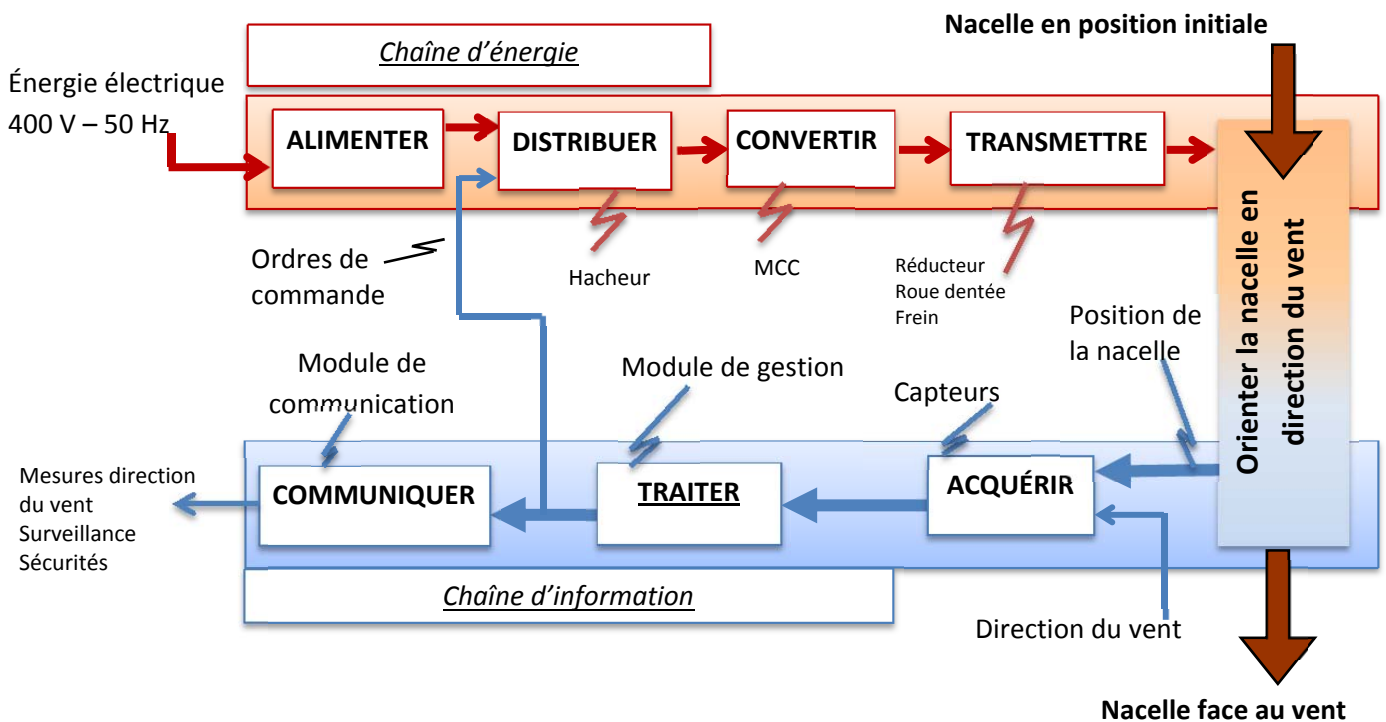
1.6. Étude du système d'orientation de la nacelle

Problème technique n°5: Comment optimiser le suivi de la direction du vent par l'éolienne ?

L'étude porte sur l'électronique de commande permettant d'orienter automatiquement la nacelle face au vent (Yaw control).

Une mesure de la direction du vent est effectuée à l'aide d'un capteur situé à l'arrière de la nacelle. Il faudra identifier la nature de l'information et analyser l'asservissement du système.

1.6.1. Analyse fonctionnelle de l'orientation de la nacelle



1.6.2. Orientation de la nacelle : fonctionnement

La mesure de la direction du vent est réalisée à partir de l'information fournie par les girouettes placées à l'arrière de la nacelle. Une girouette est constituée d'une dérive qui, en s'alignant sur la direction du vent, entraîne en rotation un potentiomètre. Ce dernier fournit une tension image de l'angle que fait la dérive avec une position de référence (axe de la nacelle pour un angle égal à 0°).

Source : www.slg-instruments.com/girouette-precision-DNA311.php ;
www.juwi.fr/juwi_dans_le_monde/nos_realisations/details/neven_lanrivoare.html

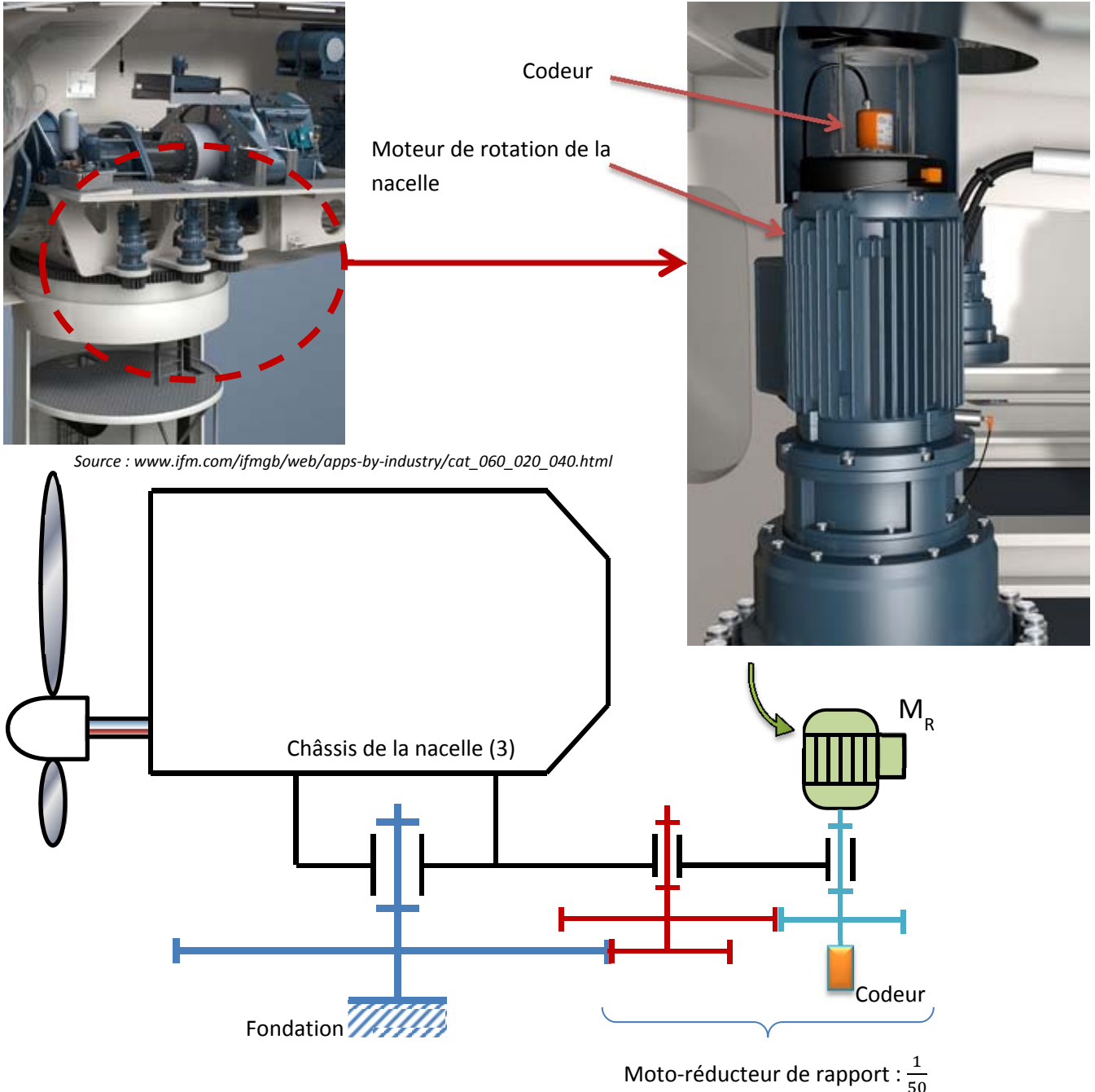


GIROUETTES



1.6.3. Fonctionnement souhaité

Les moteurs liés à la nacelle permettent de la positionner face au vent grâce à la girouette (une seule girouette sera prise en compte pour le reste de l'étude). Une fois l'éolienne correctement placée, les moteurs sont arrêtés. Le système de gestion de l'orientation de la nacelle calcul l'angle de décalage entre l'axe du rotor de la nacelle et la direction du vent. Si l'écart admissible est dépassé, les moteurs entrent en action pour réaligner la nacelle dans la direction de la girouette.



1.6.4. Systèmes asservis – Notions : Régulation et asservissement

Régulation :

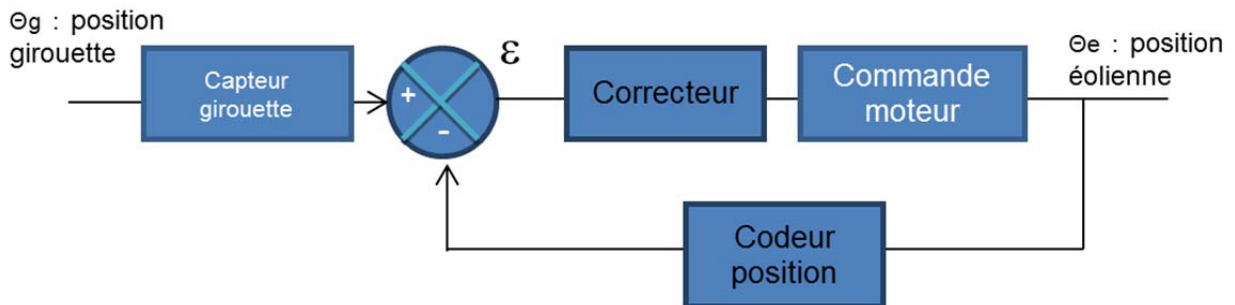
On appelle régulation un système asservi qui doit maintenir de manière constante la sortie conformément à la consigne (constante) indépendamment des perturbations.

Asservissement :

On appelle asservissement un système asservi dont la sortie doit suivre le plus fidèlement possible la consigne (variable) indépendamment des perturbations.

✎ **À quel type de système asservi correspond le système d'orientation de la nacelle ? Justifiez.**

✎ **Sur le schéma bloc simplifié, encadrez en bleu la chaîne directe et en vert la chaîne de retour.**



✎ **Expliquez à quoi correspond la grandeur epsilon (ε) du schéma bloc.**

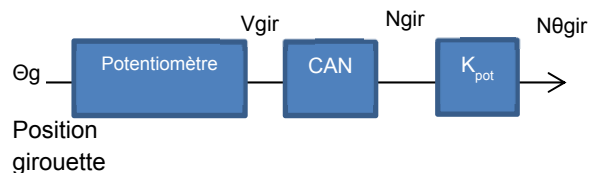
1.6.5. Étude de l'acquisition de la mesure de la girouette

Le sens dans lequel souffle le vent est pointé par la girouette. La position de la girouette est transformée en un signal analogique grâce à un potentiomètre. Ce capteur délivre alors un signal analogique 0/5V proportionnel à la position 0/360°.

La précision du positionnement de la girouette doit être **inférieure à 1°**.

L'asservissement étant réalisé par une carte à microcontrôleur, on raccorde le potentiomètre à une entrée équipée d'un **convertisseur analogique / numérique 10 bits**.

Le schéma bloc de la chaîne d'acquisition de la girouette est alors le suivant :



✎ Déterminez la relation entre la tension issue du potentiomètre (V_{gir}) et l'angle de la girouette (θ_g).

✎ À partir de la caractéristique du C.A.N, déterminez la relation entre la valeur numérique issue du convertisseur (N_{gir}) et la tension V_{gir} .

✎ Déterminez le quantum (ou précision due à la numérisation) en volt puis en degré.

✎ La contrainte de précision de la girouette est-elle respectée ?

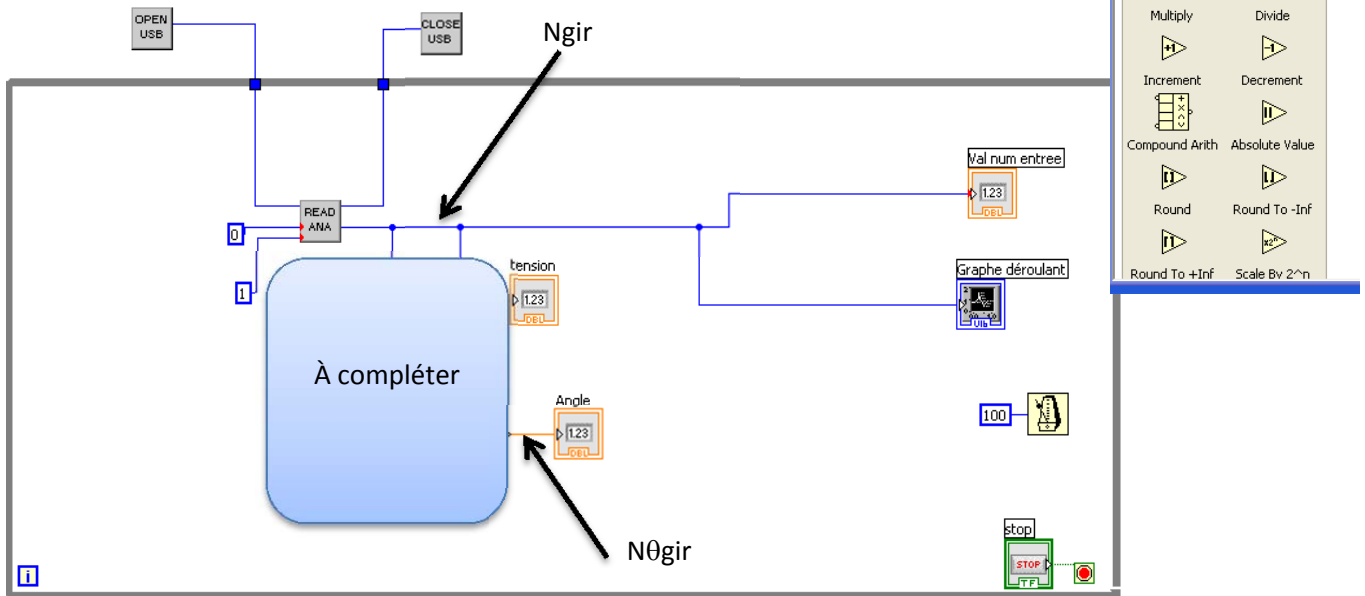
✎ Déterminez la relation entre la valeur de l'angle en degré ($N\theta_{gir}$) et la valeur numérique issue du convertisseur (N_{gir}).

✎ Complétez le tableau pour les trois angles de girouette :

θ_g (°)	$V_{gir}(V)$	N_{gir}	$N\theta_{gir}$
0°			
180°			
360°			

Vous allez travailler sur le V.I. « mesur-potar-eleve.vi » (programme LabVIEW) assurant le traitement du signal issu de la girouette. Vous disposez de l'information N_{gir}.

- ☞ **Complétez le VI afin d'afficher N_θgir, c'est-à-dire la valeur de position en degrés.** Vous disposez pour cela des opérateurs de multiplication, de division et constantes de la fenêtre « Express/ Arithmetic & comparaison / Express Numeric ».
- ☞ **Testez différentes valeurs en actionnant le potentiomètre.**



Afin de faciliter la maintenance, on souhaite calculer depuis N_{gir} la valeur de la tension issue du potentiomètre.

- ☞ **Modifiez le VI pour réaliser cette fonction.**

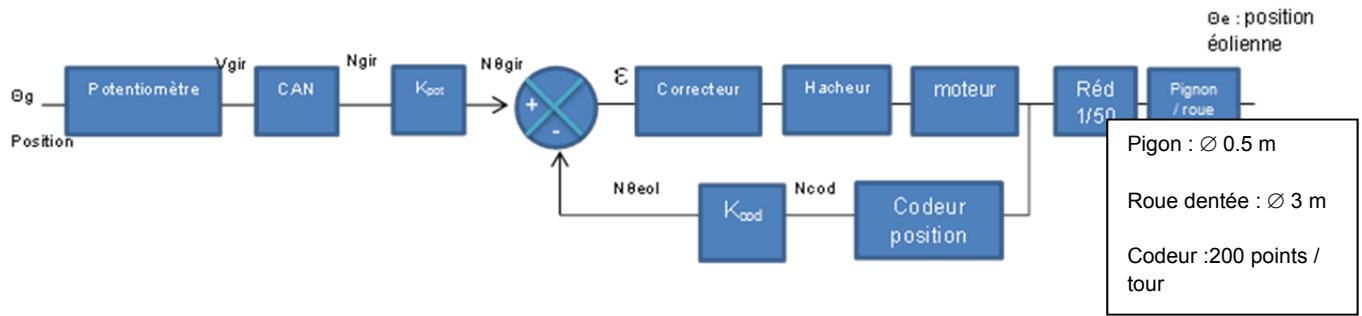
! Faîtes valider votre travail !

1.6.6. Étude de l'acquisition de la position de l'éolienne

Afin de réaliser l'asservissement il est impératif d'acquérir la position de l'éolienne. Cette fonction est réalisée grâce à un **codeur incrémental** (cf. doc ressource) installé directement sur l'arbre moteur. Le codeur fournit 120 impulsions par tour.

À partir du relevé, expliquez en quelques mots comment il est possible, en utilisant une carte à microcontrôleur, de déterminer la position de l'éolienne ?

Le schéma bloc de l'ensemble de l'asservissement étudié est le suivant :



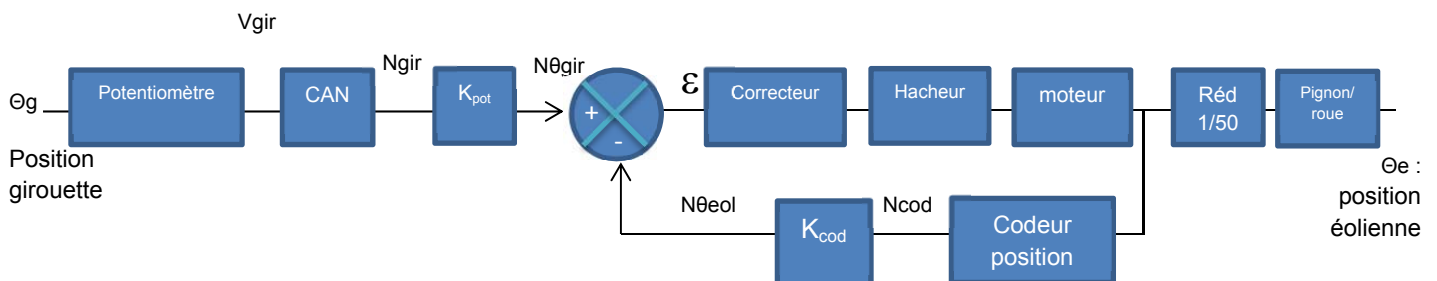
✎ **En utilisant les caractéristiques du réducteur et de l'ensemble pignon/roue, déterminez le nombre de tours que doit réaliser le moteur pour que l'éolienne face un tour.**

✎ **En utilisant les caractéristiques du codeur, déterminez le nombre d'impulsions codeur quand l'éolienne tourne d'un tour complet. Déduisez-en la précision de positionnement en degré.**

1.6.7. Étude et réglage d'un correcteur PID :

Vous allez maintenant vous intéresser au réglage du correcteur en ajustant les actions proportionnelles, intégrales et dérivées du correcteur.

Le travail du correcteur est de délivrer le signal de commande du hacheur afin d'obtenir la meilleure réponse de sortie possible, c'est-à-dire que l'éolienne suive « le mieux possible » la position indiquée par la girouette.



✎ **Expliquez à quoi correspond la grandeur ϵ du schéma bloc.**

✂ Déterminez la valeur de ε en fonction de $N\theta_{gir}$ et de $N\theta_{eol}$.

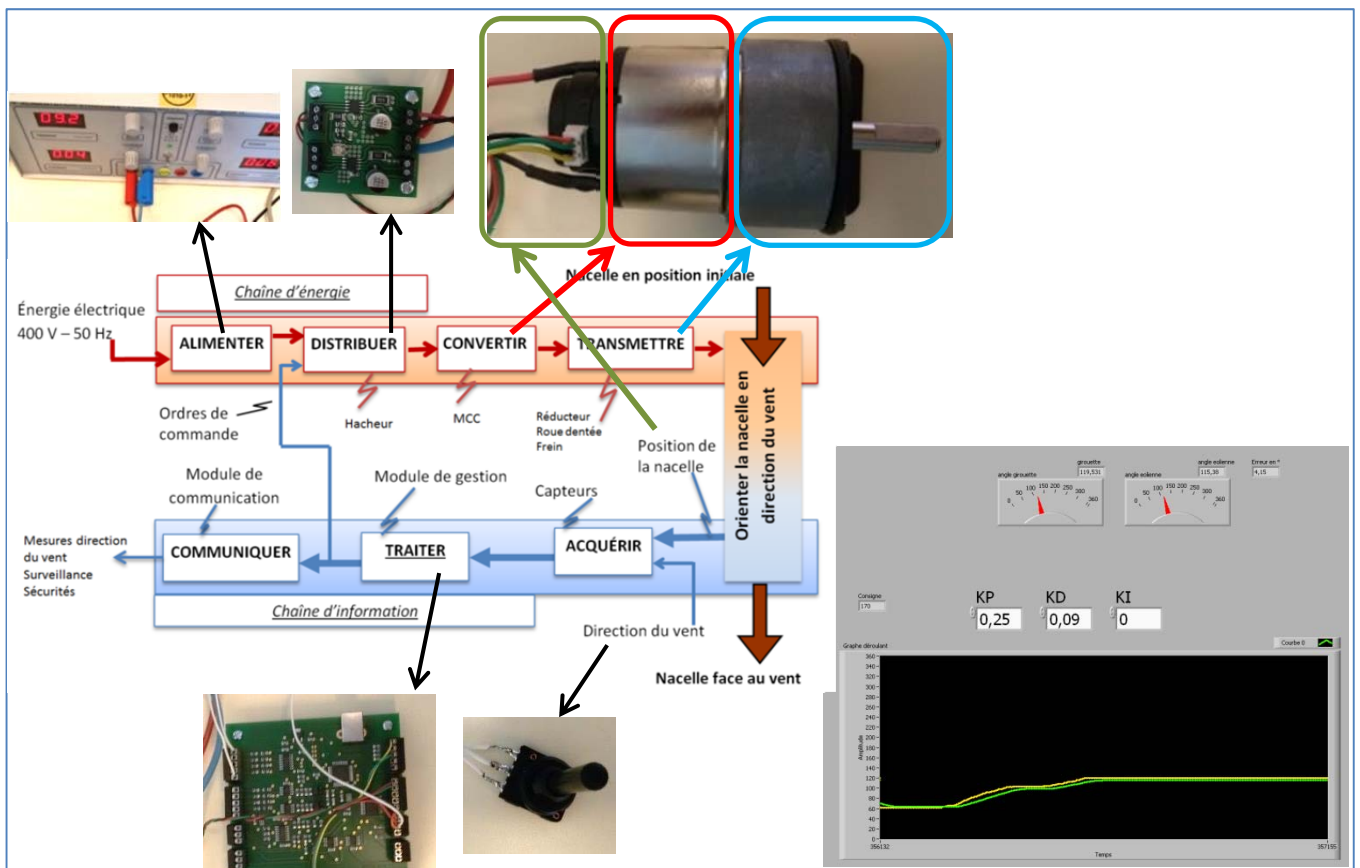
✂ Rappelez succinctement la fonction du hacheur.

✂ Rappelez (d'après vos connaissances de cours) quels sont les trois paramètres qui permettent d'évaluer la qualité d'une régulation ?

Expérimentation :

Vous allez maintenant tester en pratique avec la maquette pilotée sous Labview l'influence des réglages du correcteur sur l'asservissement.

La maquette est constituée d'un moto réducteur avec codeur, d'un hacheur, d'un potentiomètre (= girouette) et d'une carte de commande à microcontrôleur communicant avec Labview.



! Appelez le professeur pour mettre en service la maquette !

Vous utiliserez le fichier : **asservis_pid_eol.vi**

Réglez le rapport de réduction à 1 (1/1).

- ✎ **Complétez le tableau pour les différentes valeurs d'action proposées. Pour chaque essai vous effectuerez des variations de consignes (potentiomètre) faibles puis plus importantes.**
- ✎ **Remplissez en indiquant pour chacun des critères les jugements suivants : Bonne / moyenne / mauvaise. Vous effectuerez des tests pour des variations de consignes petites puis grandes.**

Rq : Laissez au système le temps de bien stabiliser la position finale (5s).

Réglages	Précision	Rapidité	Stabilité
P=0.3 I=0 D=0			
P=0.6 I=0 D=0			
P=0.3 I=0.6 D=0			
P=0.3 I=0.1 D=0			
P=0.3 I=0.1 D=0.08			
P=0.3 I=0 D=0.1			

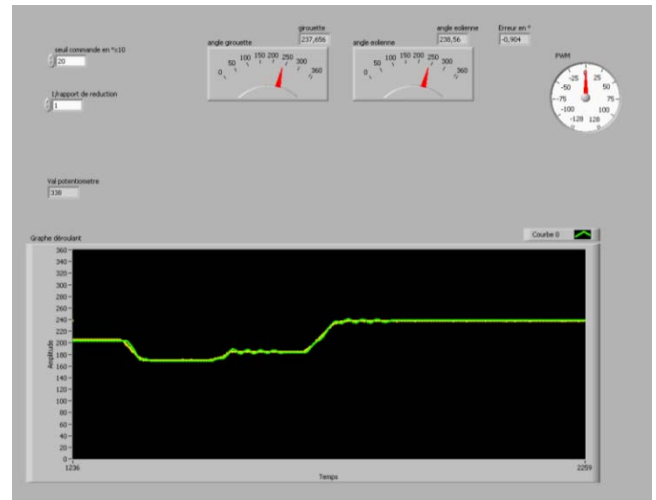
- ✎ **Conclure sur l'apport des actions proportionnelles et intégrales.**

- ✎ **Ce mode de régulation répond-il au cahier des charges ? (cf. §2.6.3)**

1.6.8. Étude et réglage d'un correcteur tout ou rien :

Le correcteur va maintenant commander le moteur en mode tout ou rien (marche avant, arrêt, marche arrière). L'ordre de mise en marche du moteur est donné quand l'erreur de position est supérieure à un seuil que nous appellerons écart admissible.

Ouvrez le fichier : **asservissement_eolienne3.vi**



✎ **Effectuez des essais avec les réglages suivant : écart admissible de 2° et un réducteur de 1/1.**

✎ **Commentez la qualité de ce type de régulation.**

✎ **Ce mode de fonctionnement correspond-il au cahier des charges ?**

✎ **Le fabricant de l'éolienne indique que ce mode de fonctionnement permet d'allonger la durée de vie des moteurs de rotation de nacelle. Qu'en pensez-vous ?**

3^{ème} partie

• Étude énergétique de la transmission de puissance

Compétences développées

- B1. Identifier et caractériser les grandeurs agissant sur un système
- définir, justifier la frontière de tout ou partie d'un système et répertorier les interactions ;
- B2. Proposer ou justifier un modèle
- - associer un modèle à un système ou à son comportement.
 -

Problème technique n°6 : **Comment adapter la vitesse des pales aux caractéristiques de la génératrice ?**

Il est demandé pour tous les calculs d'écrire l'expression littérale puis d'effectuer l'application numérique.

2.1. Puissance transmissible et lois d'entrées-sorties de l'éolienne

2.1.1. Puissance disponible sur l'arbre lent du rotor

Sachant que l'éolienne V52 a une puissance nominale transmise au réseau (P_N) égale à 850 kW et que le rendement global (η_g) de l'ensemble des composants (multiplicateur, générateur...) est égal à 0,85 :

✎ **Déterminez la puissance (P_l) captée par les pales puis transmise à l'arbre lent.**

2.1.2. Dimensionnement du disque éolien

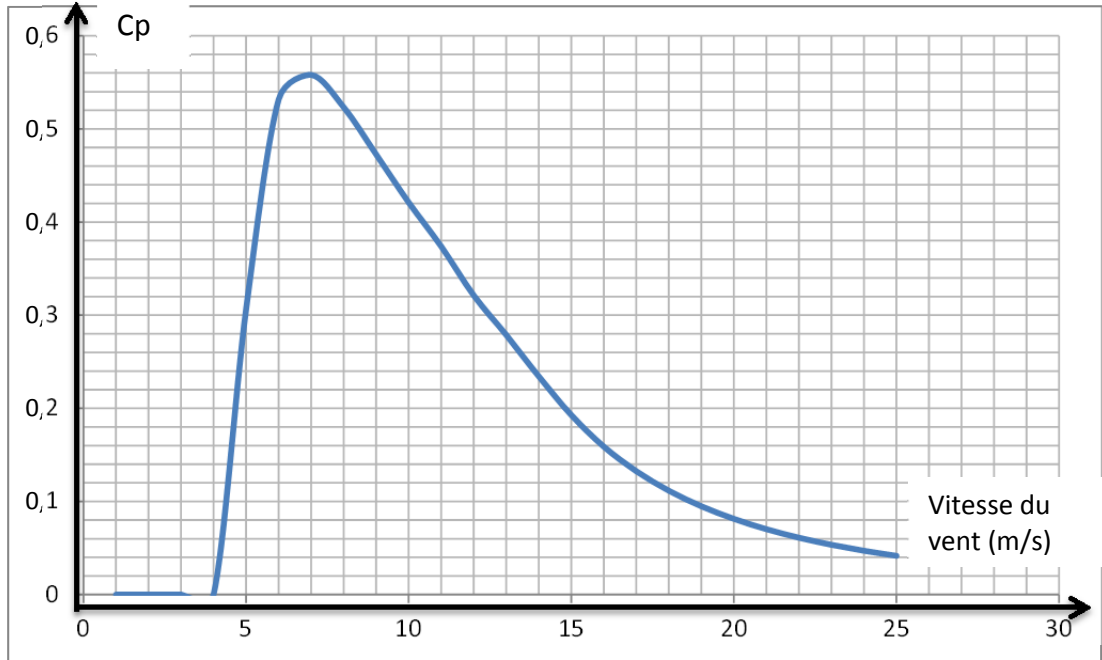
Des essais en soufflerie permettent de définir, pour un profil de pale considéré et une commande d'asservissement associée, un coefficient de puissance C_p caractéristique de chaque éolienne. Ce coefficient C_p permet de déterminer la puissance disponible sur l'arbre de l'aérogénérateur par application de la relation suivante, issue de la loi de BETZ :

$$P_{\text{méca dispo}} = P_R = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

Avec :

- C_p : Coefficient de puissance de l'éolienne
- ρ : Masse volumique de l'air en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3} = 1,23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- S : surface du disque éolien en m^2
- V : Vitesse du vent en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Courbe du coefficient de puissance C_p



✂ Déterminez la surface que doit avoir le disque éolien qui, sous l'action d'un vent de 50 km/h, permet de disposer de la puissance mécanique nominale calculée précédemment.

✂ Calculez le diamètre du disque éolien.

Pour la suite de l'étude on prendra un diamètre de disque éolien égal à 52 m.

2.1.3. Courbe de puissance

✎ Calculez la puissance mécanique pour des vitesses de vent égales à 5, 10, 15, 20 et 25 m.s⁻¹

• $P_{(5)} =$

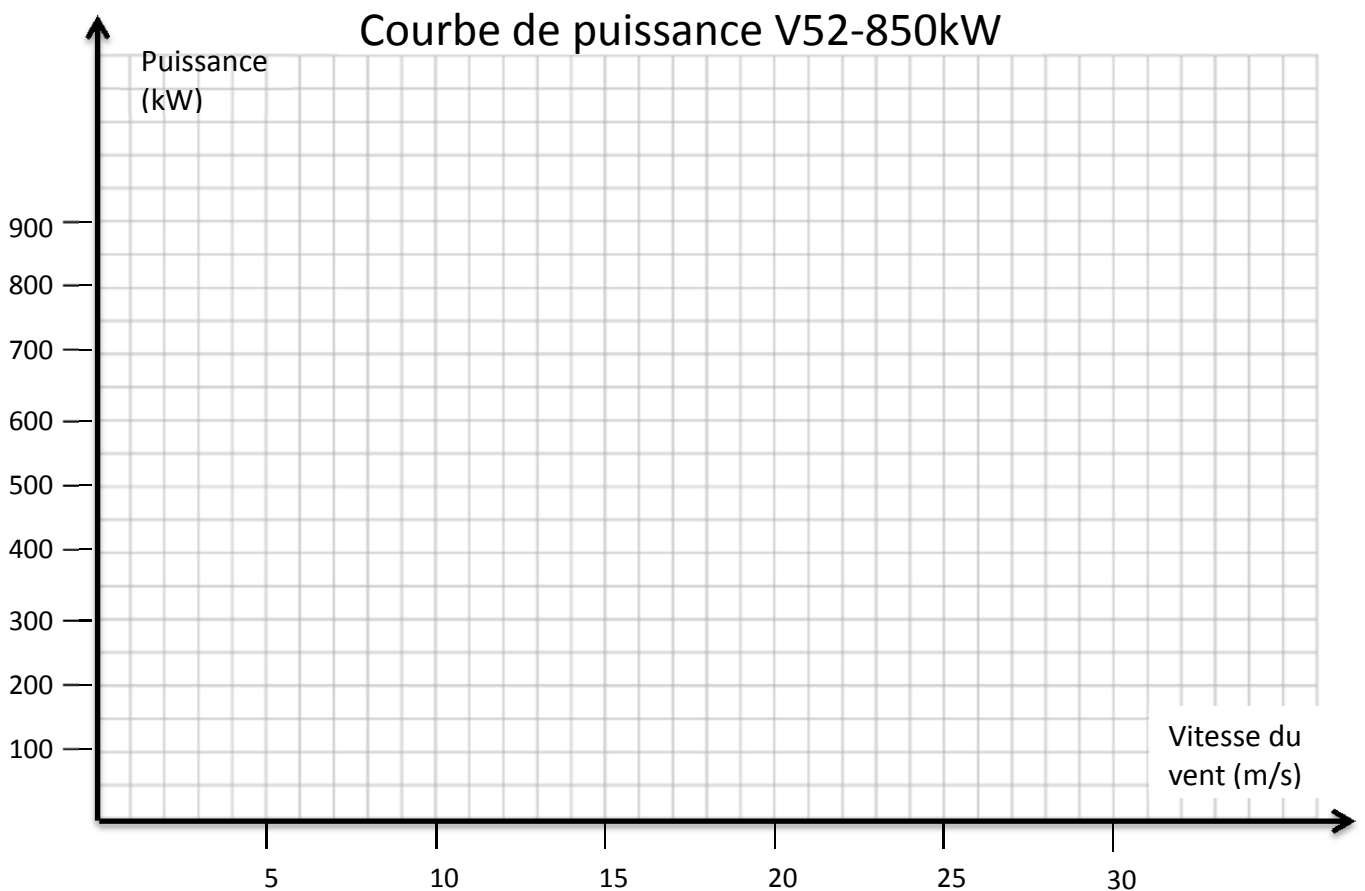
• $P_{(10)} =$

• $P_{(15)} =$

• $P_{(20)} =$

• $P_{(25)} =$

✎ Reportez les points sur le graphique ci-dessous.



✎ Commentez la courbe ci-dessus :

2.1.4. Détermination de ω_L

✎ *Donnez l'expression littérale de la vitesse angulaire du rotor (ω_L) en fonction de sa fréquence de rotation (N_L).*

✎ *Calculez la valeur numérique de ω_L lorsque le rotor tourne à la fréquence de rotation $N_L=30$ tr/min.*

2.1.5. Couple disponible sur l'arbre lent du rotor

✎ *Donnez l'expression littérale du couple disponible sur l'arbre lent du rotor (C_L) en fonction de la puissance captée par le vent (P_L) et de la vitesse angulaire (ω_L).*

✎ *Application numérique pour $P_L=1000$ kW et $\omega_L=3,14$ rad/s.*

2.1.6. Détermination du rapport de réduction r

✎ **Donnez l'expression littérale du rapport de réduction r du multiplicateur en fonction des fréquences de rotation :**

- N_L : étant la fréquence de rotation d'entrée du multiplicateur (arbre lent),
- N_R : étant la fréquence de rotation de sortie du multiplicateur (arbre rapide).

✎ **Calculer r lorsque $N_L=30$ tr/min et $N_R= 1500$ tr/min.**

2.1.7. Validation du rapport de réduction

La transmission du mouvement entre l'arbre lent, lié aux pales, et l'arbre rapide, lié à la génératrice, est réalisée par un multiplicateur épicycloïdal.

Ce multiplicateur est composé :

- d'un arbre 1 « dit arbre lent » lié aux pales (planétaire d'entrée) ;
- d'un satellite 2 ;
- d'un arbre 3 « dit arbre rapide » lié à la génératrice (porte-satellite) ;
- d'un planétaire 0 lié au carter.



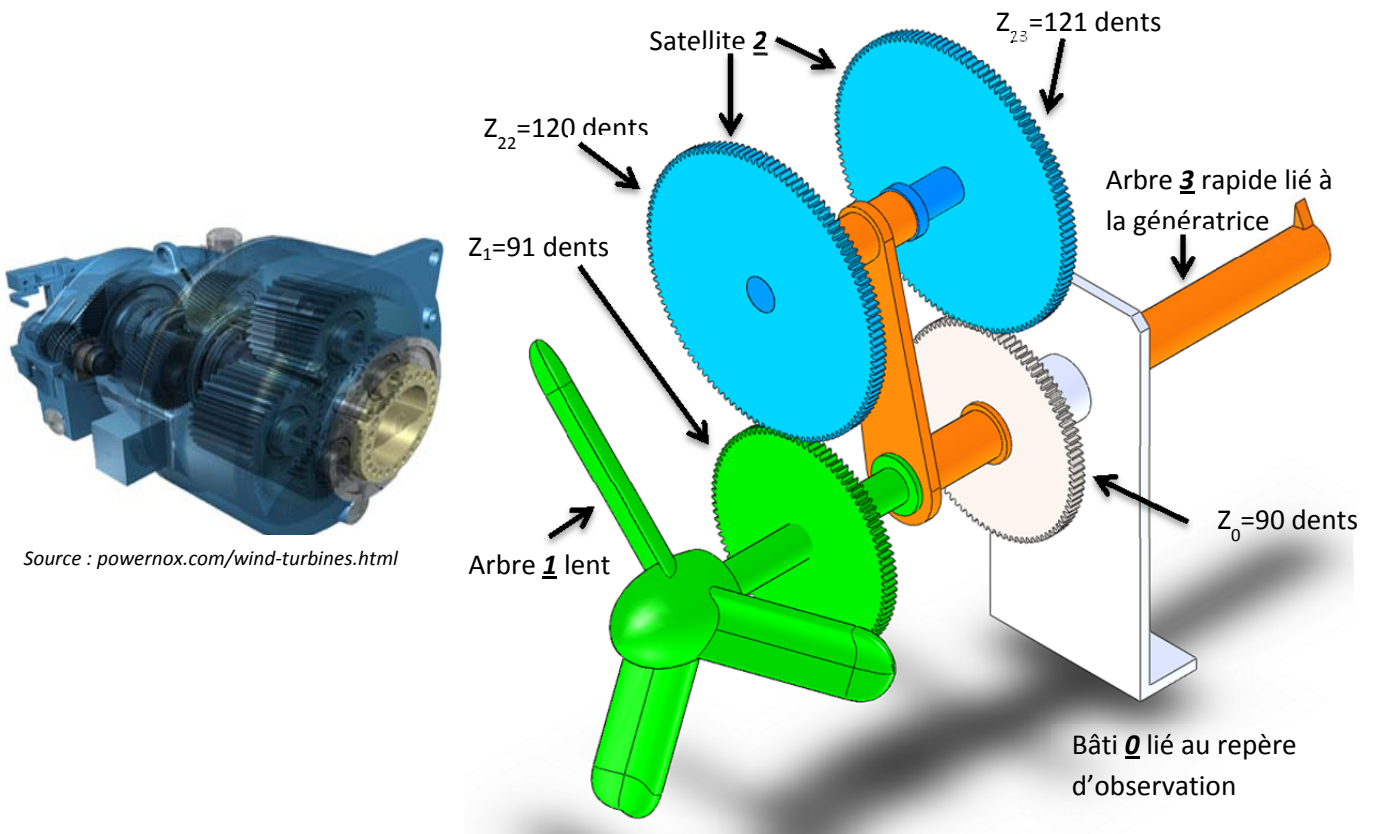
Sur la figure, on peut lire les liaisons suivantes :

- pivot entre l'arbre 1 et l'arbre 3 ;
- pivot entre l'arbre 3 et le carter 0 coaxial avec le précédent ;
- pivot entre le satellite 2 et le porte-satellite 3.

Source :

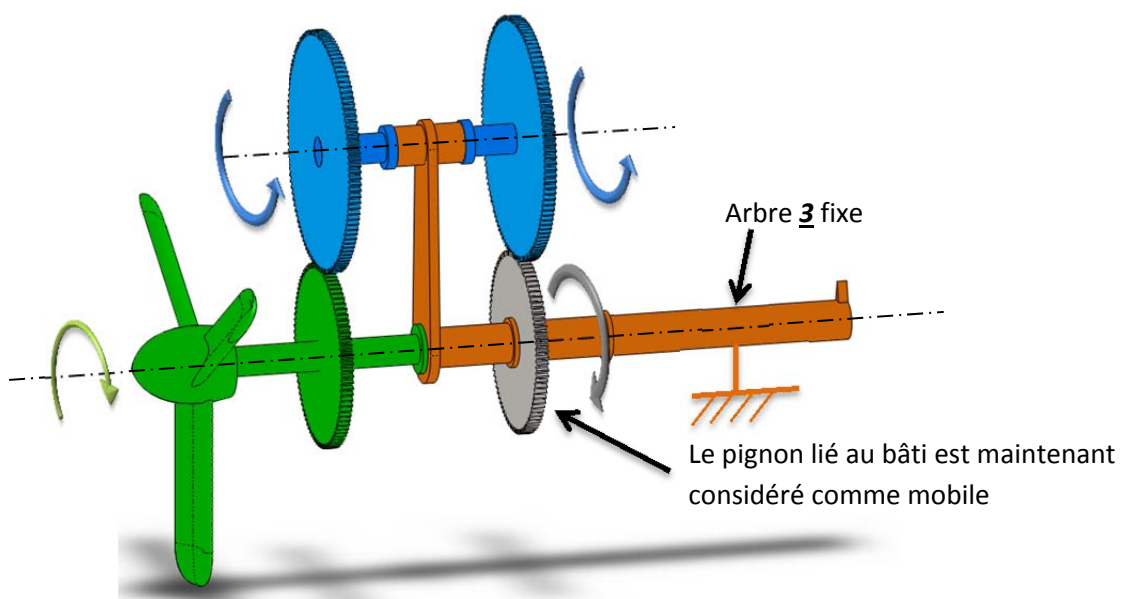
www.nskeurope.fr/cps/rde/xchg/eu_fr/hs.xsl/industrie-eolienne.html

www.windenergynetwork.co.uk/enhanced-entries/bosch-rexroth/



La détermination du rapport d'un multiplicateur épicycloïdal ne peut pas être réalisée directement, en appliquant la relation correspondant aux transmissions par engrenages à axes fixes. Pour ce type de transmission, le calcul s'effectue en deux étapes distinctes si l'on ne veut pas utiliser la formule de WILLIS :

- La première étape consiste à effectuer les calculs dans un repère d'observation selon lequel les axes des pivots sont fixes.
- La seconde étape consiste à retranscrire le résultat ainsi obtenu dans un repère lié au carter.



- ✎ Calculez le rapport de réduction $\frac{\omega_{0/3}}{\omega_{1/3}}$. Le repère d'observation dans lequel les axes des pivots sont fixes est le repère lié à 3.

- ✎ En déduire le rapport de multiplication dans le repère lié au carter 0 : $\left(\frac{\omega_{3/0}}{\omega_{1/0}}\right)$ en appliquant les relations de composition des vitesses angulaires pour des axes parallèles à la formule précédente :

$$\omega_{1/3} = \omega_{1/0} + \omega_{0/3} = \omega_{1/0} - \omega_{3/0}$$

$$\omega_{0/3} = -\omega_{3/0}$$

2.1.8. Puissance disponible sur l'arbre rapide du multiplicateur PR

On désigne par :

- P_L : la puissance disponible sur l'arbre d'entrée du multiplicateur.
- P_R : la puissance disponible sur l'arbre de sortie du multiplicateur.
- η : le rendement du multiplicateur.
- C_L : le couple disponible sur l'arbre d'entrée du multiplicateur.
- C_R : le couple disponible sur l'arbre de sortie du multiplicateur.
- ω_L : la vitesse angulaire de l'arbre d'entrée du multiplicateur.
- ω_R : la vitesse angulaire de l'arbre de sortie du multiplicateur.

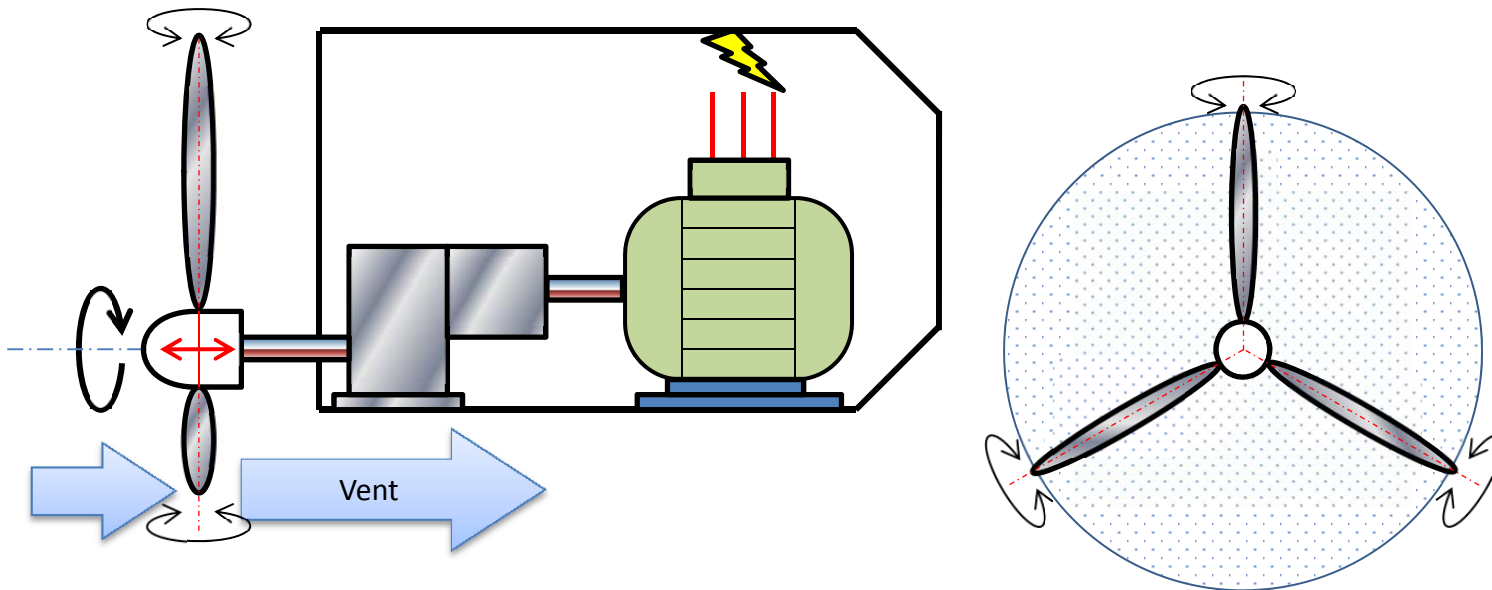
✎ **Donnez l'expression littérale de la puissance disponible sur l'arbre de sortie du multiplicateur (P_R) en fonction de (P_L , η) et en déduire l'expression du couple (C_R) en fonction de (P_L , η , ω_R).**

✎ **Réalisez l'application numérique avec $P_L=1000kW$, $\eta=0,95$, $\omega_R=157rad/s$ afin de déterminer C_R .**

Problème technique n°7 : Comment régler l'angle des pales pour contrôler leur portance ?

2.2. Modélisation des liaisons.

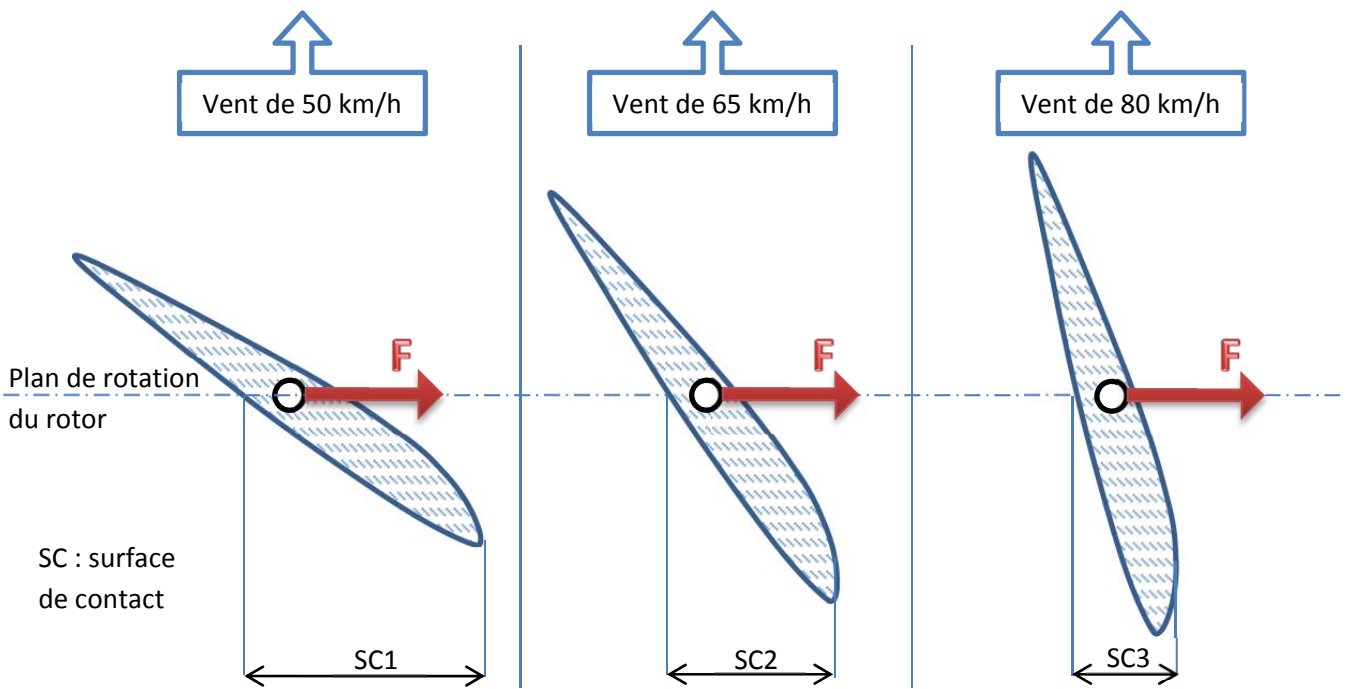
Le réglage de l'angle de calage β d'une pale s'effectue à l'aide d'un vérin hydraulique via un système articulé plan ébauché sur la figure du document réponse. Ce système articulé permet de transformer le mouvement de translation de la tige du vérin en mouvement de rotation de la pale et par conséquent faire varier l'angle β .



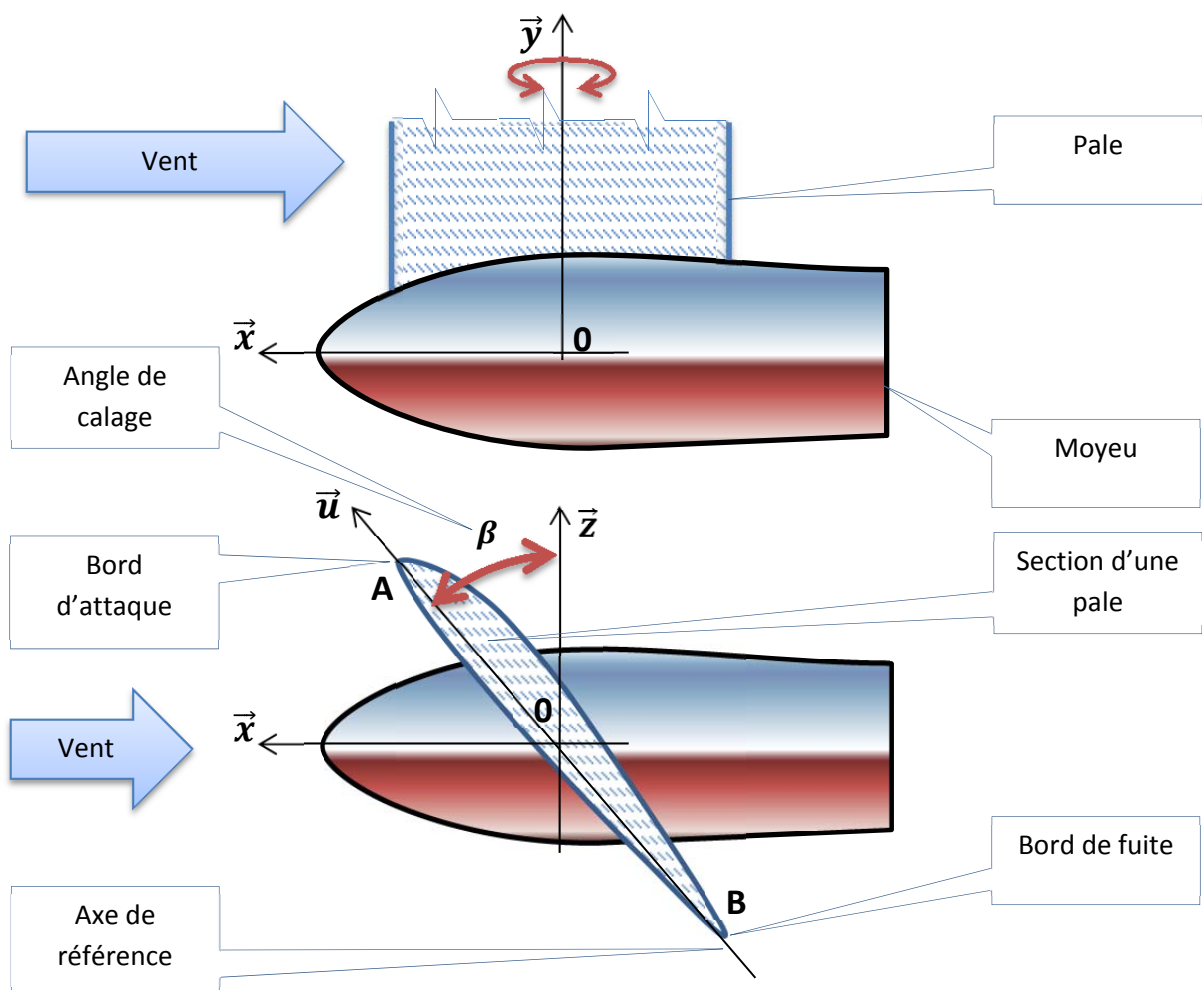
La régulation de la fréquence de rotation du rotor permet de maintenir constante N_L à 30 tr/min, malgré la variation de vitesse du vent. Pour ce faire la modification de position angulaire des pales par rapport au plan de rotation du rotor fait varier la portance de calage (prise du vent sur les pales) et par conséquent limite la puissance captée. Chaque pale est assemblée au moyeu via deux couronnes à deux rangées de billes permettant la rotation autour de son axe longitudinal. L'éolienne V52 est équipée de trois vérins hydrauliques indépendants asservis permettant de réguler la position angulaire des pales en fonction de la vitesse du vent. Chaque vérin est relié à un système articulé fixé au moyeu qui transforme le mouvement de translation rectiligne de la tige en mouvement de rotation d'une pale. L'angle de calage β est formé par l'axe \vec{z} et l'axe \vec{u} :

$$\beta = (\vec{z}, \vec{u})$$

- Lorsque la vitesse du vent augmente, l'angle de calage β augmente, la portance sur les pales diminue et par conséquent la puissance captée par le vent reste constante.
- Il en est de même lorsque la vitesse du vent diminue, l'angle β diminue aussi pour augmenter la portance et ainsi la puissance captée par le vent sera maintenue à sa valeur optimale.



Principe de la régulation des pales en fonction de la vitesse du vent.



Mise en place des éléments géométriques.

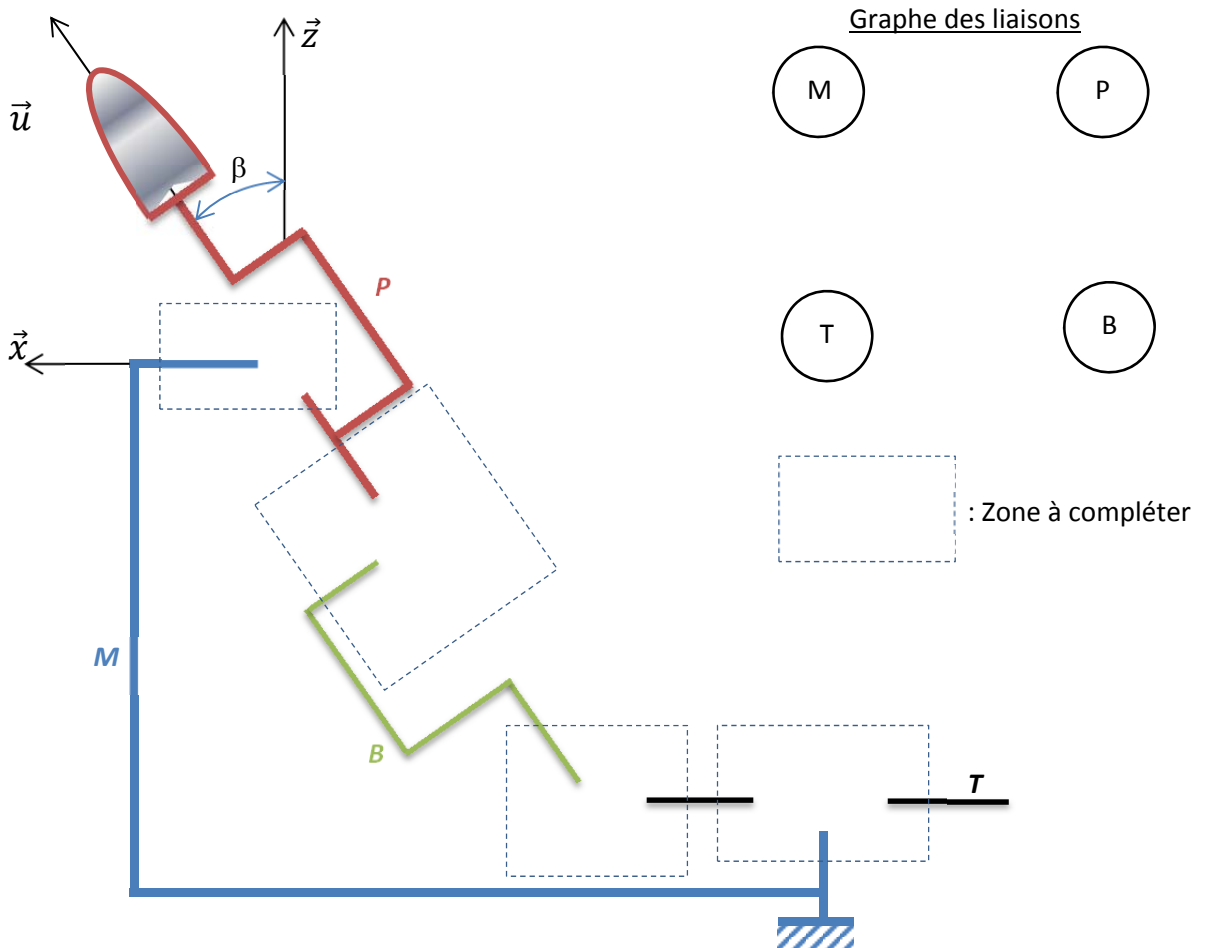
La pale P , la biellette B et la tige du vérin T sont liées par des liaisons mécaniques avec le moyeu M . Ce dernier est supposé fixe pour cette partie d'étude.

2.2.1. Désignation des liaisons

En se référant à la figure à compléter et après avoir consulté attentivement les documents ressources, complétez le tableau pour désigner les liaisons : $\{L_{P/M}, L_{P/B}, L_{B/T}, L_{T/M}\}$.

Rep.	Fonction à assurer	Nom de la liaison	Axe du mouvement
P	La pale doit tourner par rapport au moyeu.	$L_{P/M}$:	\vec{y}
B	La biellette doit avoir un mouvement de translation rectiligne par rapport à la pale.	$L_{B/P}$:	\vec{u}
	La biellette tourne par rapport à la tige.	$L_{B/T}$:	\vec{y}
T	La biellette doit avoir un mouvement de translation rectiligne par rapport au moyeu.	$L_{T/M}$:	\vec{x}
M	Supposé fixe		

Schéma cinématique



4^{ieme} partie

- Réponse à la problématique

Compétences développées

D1. Rechercher et traiter des informations

- analyser, choisir et classer des informations

A2. Analyser le système

- identifier les fonctions techniques qui réalisent les fonctions de services et respectent les contraintes ;

Rappel de la problématique générale

Comment exploiter de façon optimale le potentiel d'énergie éolien ?

A partir de vos conclusions à chaque problème technique posé lors des activités 1 à 3, répondre en quelques lignes à la question suivante :

- En quoi les solutions techniques étudiées contribuent à tirer profit au maximum du potentiel éolien d'énergie et à garantir la sureté de fonctionnement dans toutes les conditions d'utilisation ?
