**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**maintenance des systÈmes**

**Option : Systèmes éoliens**

**Session 2020**

# U 4 : Analyse technique en vue

# de l’intégration d’un bien

Durée : 4 heures– Coefficient : 6

**Matériel autorisé**

L’usage des calculatrices est autorisé dans les conditions suivantes :

* l’usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé ;
* l’usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège » est autorisé.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il soit complet.

Le sujet comporte 19 pages numérotées de la façon suivante :

* Dossier de présentation : DP1 à DP2
* Dossier questions : DQ1 à DQ5
* Documents réponses : DR1 à DR8
* Documents techniques : DT1 à DT11

*Les candidats rédigeront les réponses aux questions posées sur les feuilles de copie ou, lorsque cela est indiqué sur le sujet, sur les documents réponses prévus à cet effet.*

*Tous les documents réponses sont à remettre en un seul exemplaire en fin d'épreuve.*

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**maintenance des systÈmes**

**Option : Systèmes éoliens**

**Session 2020**

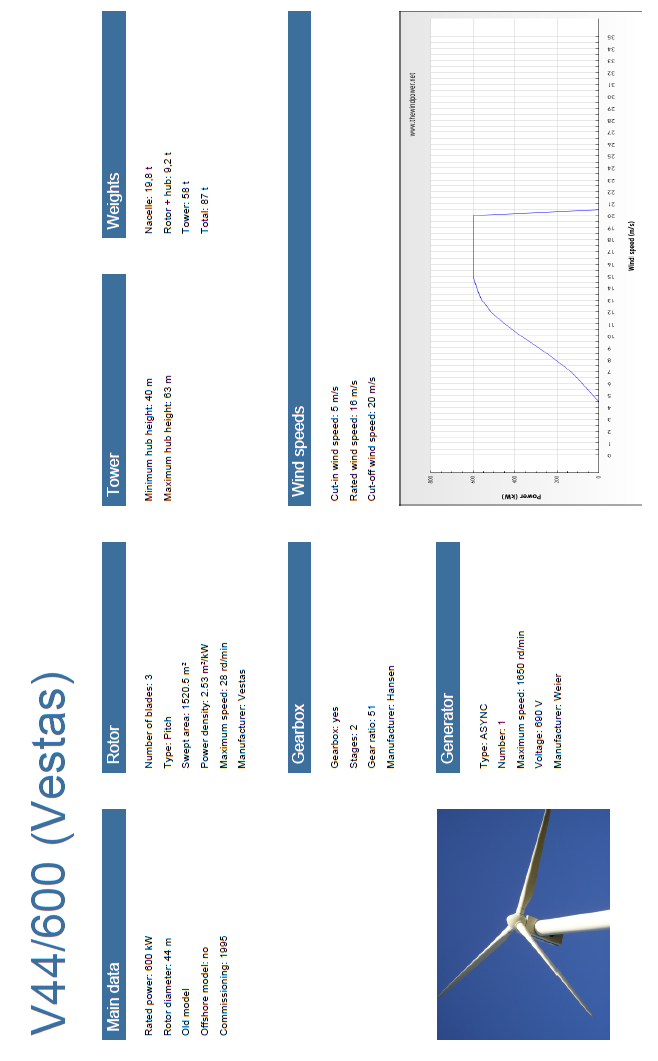
# U 4 : Analyse technique en vue

# de l’intégration d’un bien

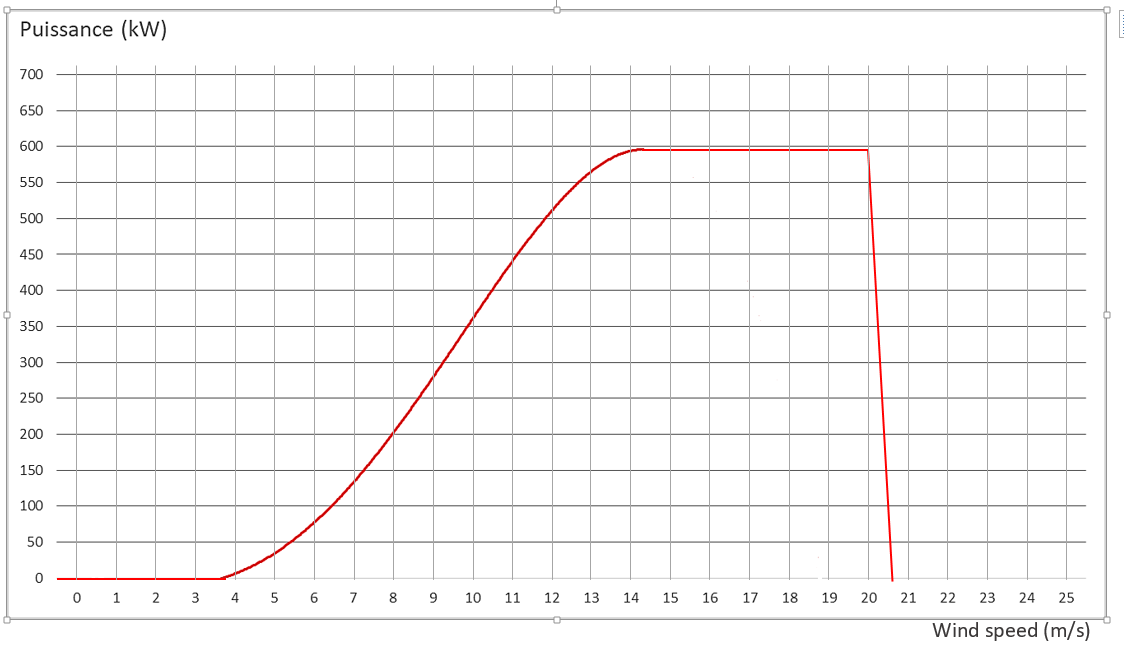
Durée : 4 heures– Coefficient : 6

**DOSSIER DE PRESENTATION**

Ce dossier contient les documents DP1 à DP2

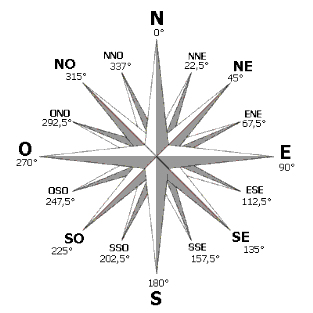


**Présentation du parc éolien**

Un parc éolien, « L’air du large », situé en région Normandie exploite 5 machines Vestas V44 d’une puissance de 600 kW chacune ; la société de maintenance qui s’occupe de ce parc, parmi d’autres, est alertée à distance grâce au tableau de bord du SCADA, d’une défaillance majeure d’une des éoliennes suite à la tempête Egon qui balaye le nord-ouest de la France.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Résultat de recherche d'images pour "éolien logo" | Résultat de recherche d'images pour "parc éolien" | NORMANDIE | | | | | | |
| Wind sites | | Parc | Number of turbines | Power (kW) | Windspeed (m/s) | Turbines  OK | Turbines  Error | Turbines standby |
| Le grand souffle | | LGS | 5 | 1351.1 | 21,2 | 2 | 0 | 3 |
| L’air du large | | LDL | 5 | 0.0 | **43,7** | 0 | **1** | 4 |
| La brise 1 | | LB1 | 3 | 2125.4 | 19,6 | 3 | 0 | 0 |

*Les caractéristiques de la machine sont données en* ***DP2***

Une analyse des données sur la machine défaillante, via le SCADA, permet d’obtenir les informations suivantes :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Temp. Extérieure | 7°C | Vitesse rotor | 0 rpm |
| Direction nacelle \* | 295° | Angle de pitch | 84,5° |
| Vitesse du vent | 43,7 m.s-1 | Vitesse génératrice | 0 rpm |
| Direction du vent \* | 247,5° |  |  |

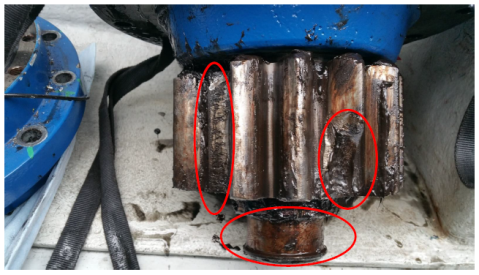
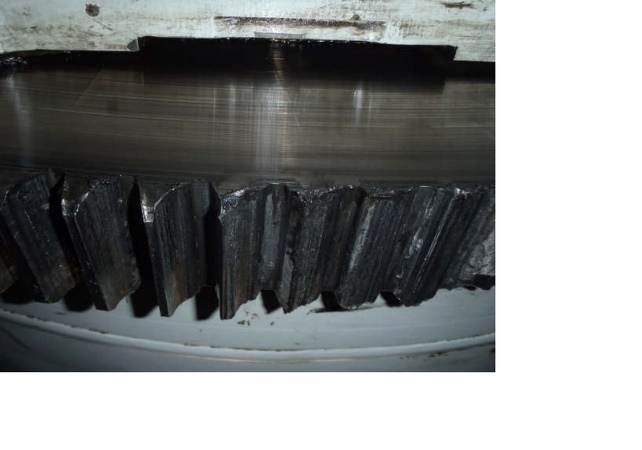
\* voir la rose des vents ci-contre

Le tableau des alarmes (extrait) indique, pour cette machine :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Event n° | Event text | Event time | Ack. time | Run time | Error n° | Ack mode | Reaction | Category |
| 721 | Feedback Yaw CCW | 13/01/2017 01:27:07 | 13/01/2017 07:14:19 | 13/01/2017 07:14:19 | 182 | Remote | Emergency | Turbine |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Quand les conditions atmosphériques le permettent, le lendemain, une équipe est envoyée sur place et constate les défaillances suivantes :

* La mise en drapeau n’est pas correcte : l’angle des pales ne correspond pas à la position attendue
* La rotation de la nacelle est défaillante : le yaw est bloqué car des dents de l'arbre de sortie d'un des motoréducteurs sont détruites, ainsi que certaines sur la couronne dentée



**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**maintenance des systÈmes**

**Option : Systèmes éoliens**

**Session 2020**

# U 4 : Analyse technique en vue

# de l’intégration d’un bien

Durée : 4 heures– Coefficient : 6

**DOSSIER QUESTIONS**

**Ce dossier contient les documents DQ1 à DQ5**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **1** | **ANALYSE PRÉLIMINAIRE** | |
|  | Durée conseillée : 50 min |

*Afin d’évaluer la perte de production due à la défaillance de l’éolienne, on se propose d’analyser la chaîne d’énergie, du vent à la production électrique, en fonctionnement normal.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.1.1** | Documents à consulter : **DP2, DT1** | Répondre sur **DR1** |

Compléter le tableau (valeurs et unités) des grandeurs du flux principal d’énergie repérées sur le diagramme de blocks interne SysML (DT1). Préciser les calculs quand cela est nécessaire dans la zone prévue.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.1.2** | Document à consulter : **DT1** | Répondre sur **DR1** |

Calculer le rendement ηMG de l’ensemble [Multiplicateur ; Génératrice] ; en déduire la puissance (PL) captée par le rotor (arbre lent).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.1.3** | Documents à consulter : **DP2, DT1** | Répondre sur **DR1 – DR2** |

*LLa limite de Betz indique la puissance mécanique maximum récupérable du vent*

𝑃𝑚é𝑐𝑎 𝑑𝑖𝑠𝑝𝑜 = Cp. ½ .𝜌.𝑆.𝑣3

Avec :

𝑃𝑚é𝑐𝑎 𝑑𝑖𝑠𝑝𝑜 : Puissance récupérable du vent (en W)

Cp : Coefficient de puissance de l’éolienne = 16/27

𝜌 : Masse volumique de l’air = 1,23 kg.m-3

S : surface du disque éolien (en m²)

𝑣 : Vitesse du vent (en m.s-1)

Calculer la puissance mécanique maximum disponible selon Betz pour un vent de 50km/h.

En déduire le rendement de l’ensemble de l’hélice (pales + pitch + hub) ; en déduire le rendement global [Hélice ; Multiplicateur ; Génératrice]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.1.4** | Documents à consulter : **DP2, DT1** | Répondre sur **DR2** |

*La panne de l’éolienne dure au total 3 jours et 5h ; on utilisera pour les calculs la valeur du vent moyen observé sur le site, soit 26 km/h.*

Calculer le coût de perte de production, à raison de 0,075€ / kWh.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **2** | **ÉTUDE DE LA DÉFAILLANCE DE LA ROTATION DE LA NACELLE** | |
|  | Durée conseillée : 2h 10min |

*L’observation, d’une part, que la nacelle est bloquée dans une position autre que face au vent (voir* ***DP1****) et, d’autre part, que des dents de pignon et de couronne sont cassées amènent l’équipe de maintenance à réaliser un brainstorming pour en définir les causes possibles. Cette réflexion débouche sur une carte mentale, organisée selon les 5M, qui permet d’étudier deux hypothèses.*

|  |  |
| --- | --- |
| **2 – 1** | **Étude de l’hypothèse « *COUPLE RÉSISTANT TROP IMPORTANT* »** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-1-1** | Documents à consulter : **DT2, DT3** | Répondre sur **DR2** |

Identifier sur la carte mentale, parmi les numéros des causes élémentaires proposées, **5** causes concernées par cette hypothèse.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-1-2** | Document à consulter : **DT2** | Répondre sur **DR3** |

*On suppose, dans un premier temps, que le vent tourbillonnant a provoqué un couple résistant, s’opposant à la rotation de la nacelle.*

*En conditions normales, on considère que le couple transmis par chaque motoréducteur est le couple nominal.*

À partir des caractéristiques dimensionnelles de la transmission du yaw et du couple résultant du vent latéral, calculer la valeur qui s’ajoute au couple nominal pour chaque motoréducteur.

*Hypothèse :*

* On considère que le couple résultant de l’action du vent sur la nacelle est de 104 Nm.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-1-3** | Document à consulter : **DT2** | Répondre sur **DR3** |

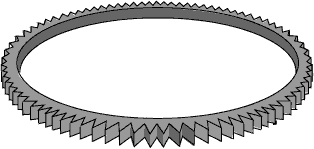
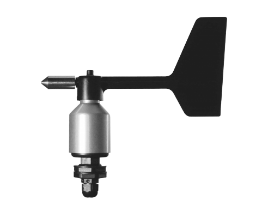
Conclure quant à la validité de la solution technique installée (les deux motoréducteurs). Justifier.

|  |  |
| --- | --- |
| **2 – 2** | **Étude de l’hypothèse « *ALIGNEMENT NACELLE FACE AU VENT TROP LENT*»** |

*On a constaté plusieurs changements de direction du vent en un temps très court pendant cette phase de tempête, ce qui augmente le risque de positionnement latéral du vent sur la nacelle.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-2-1** | Documents à consulter : **DT4, DT5** | Répondre sur **DR3** |

Compléter le tableau afin d’identifier les grandeurs des composants, repérés ci-dessous, qui participent au positionnement de l’éolienne face au vent.



Préactionneurs

Partie commande

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-2-2** | Documents à consulter : **DP1, DT2** | Répondre sur **DR4** |

À partir des données issues du SCADA (doc présentation DP1), calculer le temps nécessaire à la nacelle pour se positionner face au vent.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-2-3** | Documents à consulter : **DP1, DT 11** | Répondre sur **DR 4** |

*Vérifier les performances de la girouette du « Wind Monitor » ; pour cela :*

* Tracer la caractéristique du signal de sortie en fonction de la direction du vent ; sur ce graphe, préciser les unités sur chaque axe et positionner la valeur mesurée par le SCADA (voir DP1).
* Tracer le raccordement de l’appareil de mesure nécessaire sur le Wind monitor et indiquer la valeur attendue.

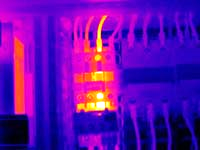
|  |  |
| --- | --- |
| **2 – 3** | **Réparation du mécanisme de rotation de la nacelle (yaw)** |

*La réparation consiste d’une part à réparer la couronne dentée, par le meulage des dents cassées et la « greffe » d’un secteur denté (hors étude – voir photo ci-contre).*

*Il faut aussi remplacer la partie réducteur (le pignon est cassé et des pièces internes ont souffert également) ; le moteur actuel sera remonté sur le réducteur neuf.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-3-1** | Documents à consulter : **DT2, DT6** | Répondre sur **DR4** |

Déterminer la référence et les caractéristiques du réducteur à commander



*Après réparation de la couronne et du réducteur, on procède à un essai ; le fonctionnement n’est pas possible dans le sens anti-horaire. Le code « Error 182 » reste affiché, en cohérence avec le problème (voir* ***DP1****). Un contrôle par thermographie infrarouge dans l’armoire permet de constater que le contacteur de puissance est défectueux.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-3-2** | Documents à consulter : **DT4, DT5, DT7** | Répondre sur **DR6** |

*On profite de la situation de défaillance pour étudier l’amélioration des sécurités électriques : il est donc décidé de remplacer les protections F106 et F107 par une solution de disjoncteurs magnéto-thermiques.*

Compléter le tableau de choix de l’appareillage.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-3-3** | Documents à consulter : **DT4, DT5** | Répondre sur **DR5** |

A partir du schéma unifilaire, compléter le schéma électrique de puissance en tenant compte de l’amélioration précédente.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-3-4** | Documents à consulter : **DT4, DT5, DT7** | Répondre sur **DR6** |

A partir des conditions de fonctionnement, choisir un nouveau contacteur.

|  |  |
| --- | --- |
| **2 – 4** | **Propositions de solutions d’amélioration** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.2-4-1** | Document à consulter : **DT3** | Répondre sur **DR6** |

Étudier les solutions proposées selon les critères du tableau à compléter.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **3** | **ÉTUDE DE LA DÉFAILLANCE DE MISE EN DRAPEAU DES PALES** | |
|  | Durée conseillée : 1h |

*La mise en drapeau n'est pas correcte : on constate un décalage angulaire des pales générant un couple sur l'arbre lent (rotation à faible vitesse). On veut s’assurer du bon fonctionnement de la chaîne d’information du vérin de pitch. Pour cela, on applique une consigne de 10V en entrée du système asservi et on mesure :*

* *une sortie du vérin d’environ 475 mm ;*
* *une position angulaire des pales entre 84 et 85°*

|  |  |
| --- | --- |
| **3 – 1** | **Étude de la chaîne d’information du pitch** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.3-1-1** | Documents à consulter : **DT8, DT9** | Répondre sur **DR7** |

Analyser le schéma bloc du système de pitch asservi en position afin de compléter le tableau avec les informations manquantes (seules les grandeurs liées au mouvement sont demandées)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.3-1-2** | Documents à consulter : **DT8, DT9** | Répondre sur **DR7** |

Expliquer en quoi les performances obtenues ne sont pas conformes à ce qui est attendu. Exprimer une hypothèse cohérente avec la défaillance.

|  |  |
| --- | --- |
| **3 – 2** | **Étude de l’installation hydraulique** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.3-2-1** | Document à consulter : **DT10** | Répondre sur **DR7** |

Compléter le tableau afin d’identifier les composants repérés sur le schéma hydraulique ; expliquer leur fonction.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.3-2-2** | Document à consulter : **DT10** | Répondre sur **DR8** |

Indiquer dans le tableau l’état logique (0 ou 1) des pilotages de distributeurs pour obtenir, d’une part, la sortie du vérin et, d’autre part, la rentrée lors du fonctionnement normal du vérin de pitch.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Q.3-2-3** | Document à consulter : **DT10** | Répondre sur **DR8** |

*La tempête a généré une perte d’énergie commande : l’alimentation des distributeurs est coupée et la pompe hydraulique est arrêtée.*

Expliquer comment la position « Drapeau » est obtenue.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**maintenance des systÈmes**

**Option : Systèmes éoliens**

**Session 2020**

# U 4 : Analyse technique en vue

# de l’intégration d’un bien

Durée : 4 heures– Coefficient : 6

**DOCUMENTS REPONSES**

**Ce dossier contient les documents DR1 à DR8**

**Q1.1** : Grandeurs du flux principal d’énergie.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Repère SysML** | | **Valeur - Unité** |
| **Vitesse du vent** | Minimum |  |
| Maximum |  |
| **Vitesse d’entrée nominale** | |  |
| **Vitesse de sortie nominale** | |  |
| **Tension nominale** | |  |
| **Tension réseau** | |  |

Détail des calculs quand nécessaire :

**Q1.2** : Puissance (PL) captée par le rotor (arbre lent).

Calcul du rendement ηMG :

Calcul de la puissance PL :

**Q1.3** : Puissance (Pméca\_dispo) selon Betz .

**Q1.3** (suite) : Rendement.

Rendement de l’hélice :

Rendement global :

**Q1.4** : Coût de perte de production.

**Q2.1.1** : 5 causes élémentaires concernées par l’hypothèse « Couple résistant trop important ».

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| N° : | N° : | N° : | N° : | N° : |

**Q2.1.2** : Valeur qui s’ajoute au couple nominal.

**Q2.1.3** : Conclusion sur la validité de la solution technique installée.

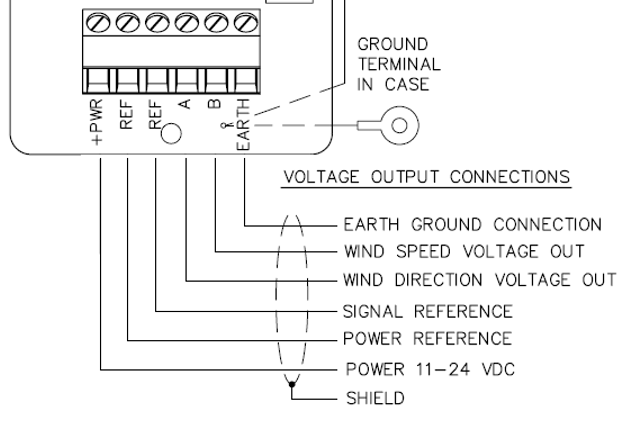
**Q2.2.1**  Composants participant au positionnement de l’éolienne face au vent (compléter les zones grisées).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **N°** | **Composant** | **Tension** | **Repère** |
| **1** | Motoréducteur 1 |  |  |
| Motoréducteur 2 |  |
| **2** | Contacteur CW (sens horaire) |  |  |
| Contacteur CCW (sens anti-horaire) |  |
| **3** | Capteur de rotation yaw | 24 Vcc |  |
| **4** | Girouette Wind Monitor | 0 – 5V | *« Direction\_vent »* |

**Q2.2.2**  Calcul du temps nécessaire à la nacelle pour se positionner face au vent.

**Q2.2.3**  Caractéristique du signal de sortie en fonction de la direction du vent – Préciser les unités et mettre en place la valeur donnée par le SCADA (abscisse et ordonnée) :

Valeur lue :



Unité :

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

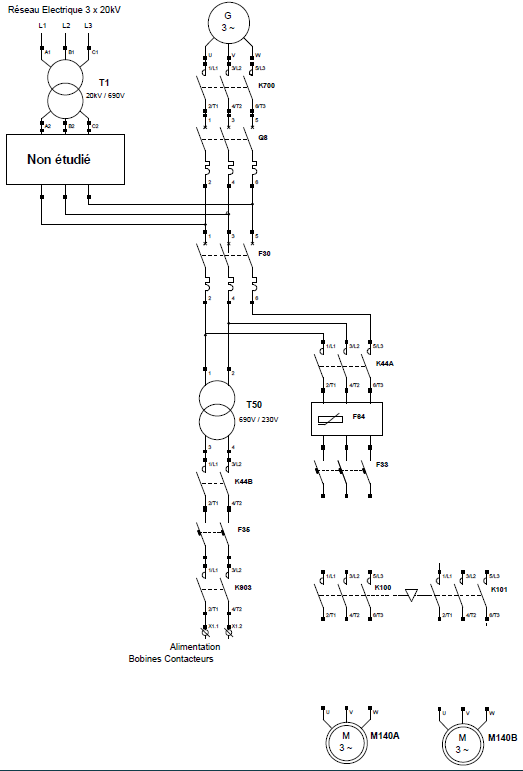
Unité :

**Raccorder** l’appareil de mesure aux vis du bornier pour mesurer le signal demandé et **indiquer** la valeur lue :

**Q2.3.1**  Référence du réducteur.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Type | Version | | Ratio 1: | Module |
| Combined *ou* Inline *ou* Right angle | **F** *ou* **N** *ou* **U** |
|  |  |  |  |  |

**Q2.3.3.** Schéma à compléter.



ZONE À COMPLÉTER

690V

**K700**

**Q8**

**F30**

**K44 A**

**F33**

F64

**K44 B**

**F35**

**K903**

**T50**

690/230V

**T1**

20kV/690V

**Q2.3.2.** Choix de disjoncteur magnéto-thermique (compléter les zones grisées).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Caractéristiques environnement électrique moteur | | Performances de l’appareillage associées  (justification des critères de choix) |
| Alimentation **U**= |  |  |
| Puissance **Pu**= |  |  |
| Intensité nominale **In**= | 2,3 A |  |
| Int. Court-circuit **Icc**= | 950 A |  |
| **RÉFÉRENCE DISJONCTEUR** | |  |

**Q2.3.4.** Choix de contacteur.

|  |  |
| --- | --- |
| **RÉFÉRENCE CONTACTEUR :** |  |

**Q2.4.1.** Étude des propositions d’amélioration - (N° carte mentale : au moins 1 demandé).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Proposition | N° Cte Male | Avantages | Inconvénients |
| Modifier la procédure de montage des motoréducteurs |  |  |  |
| Mettre en place un dispositif de serrage actif de la couronne |  |  |  |
| Interdire le fonctionnement du yaw en cas de vent trop important |  |  |  |
| Mettre en place une procédure préventive de contrôle de la puissance absorbée pour 1 tour complet de la nacelle |  |  |  |

**Q3.1.1.** Analyse du schéma bloc du pitch – compléter les cases vides :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N° | Repère | Grandeur physique | Valeurs limites |
| 1 | ε | Valeur de l’écart | 0 - 10V |
| 2 | u1 |  | -10V / 0 / +10V |
| 3 | Q  P | Alimentation hydraulique du vérin | 0 - 11 l.min-1  195 bars |
| 4 | d |  |  |
| 5 | A |  |  |
| 6 | u2 |  |  |

**Q3.1.2.** Analyse de la défaillance du pitch.

**Q3.2.1.** Identification des composants du schéma hydraulique.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| N° | Nom | Fonction |
| 2 |  |  |
| 8 |  |  |
| 9 |  |  |

**Q3.2.2.** Etat (0 ou 1) des pilotages des distributeurs pour les phases de fonctionnement normal du vérin.

*Nota : la colonne « repère » indique le n° du distributeur piloté.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Repère distributeur | Mouvement du vérin de pitch | |
| Sortie | Rentrée |
| ➂ | **1** | **1** |
| ➃gauche |  |  |
| ➃droit |  |  |
| ➅ |  |  |
| ➆ |  |  |

**Q3.2.3.** Explication du fonctionnement de la mise en drapeau.

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

**maintenance des systÈmes**

**Option : Systèmes éoliens**

**Session 2020**

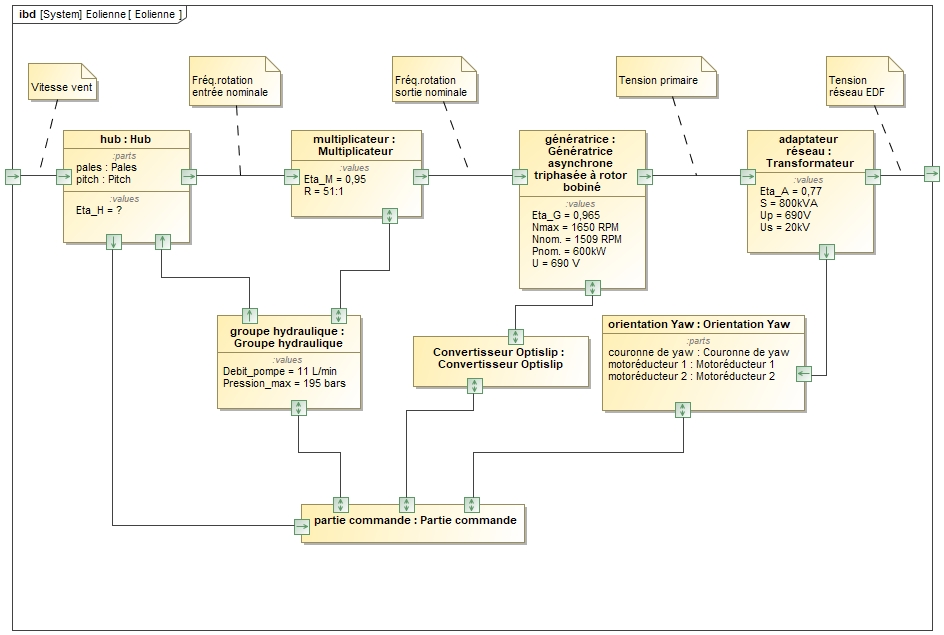
# U 4 : Analyse technique en vue

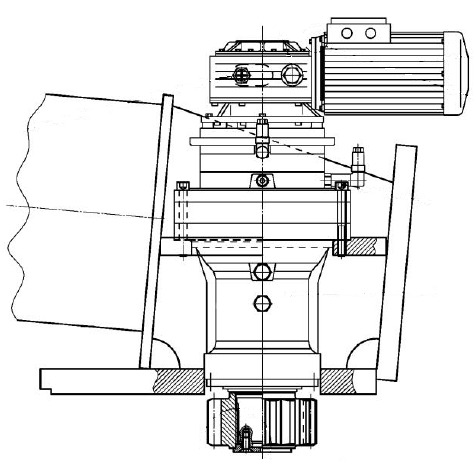
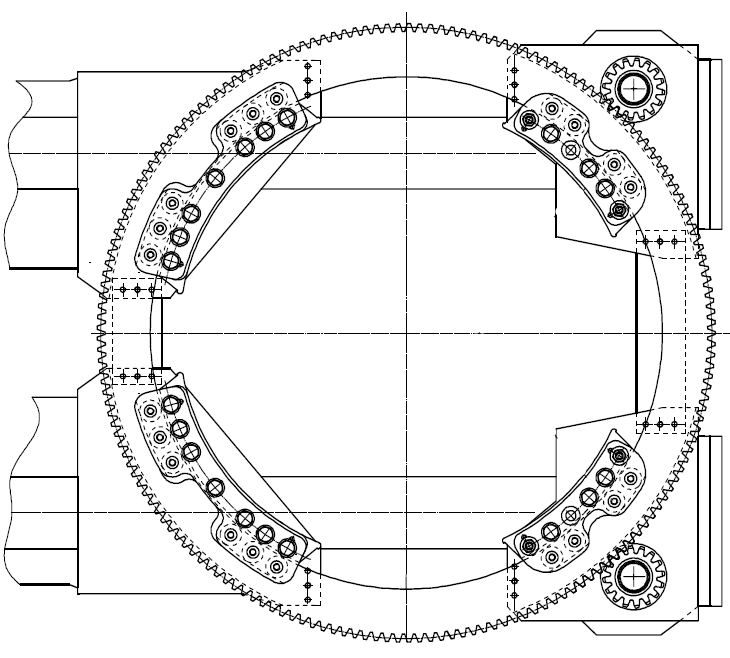
# de l’intégration d’un bien

Durée : 4 heures– Coefficient : 6

**DOCUMENTS TECHNIQUES**

**Ce dossier contient les documents DT1 à DT11**





**PIGNON**

Z = 16 dents

Module m =12

**COURONNE**

Z = 180 dents

Module m =12

**MOTOREDUCTEUR**

N\_entrée = 940 RPM

N\_sortie = 0,85 RPM

Couple nominal 1200 daN.m

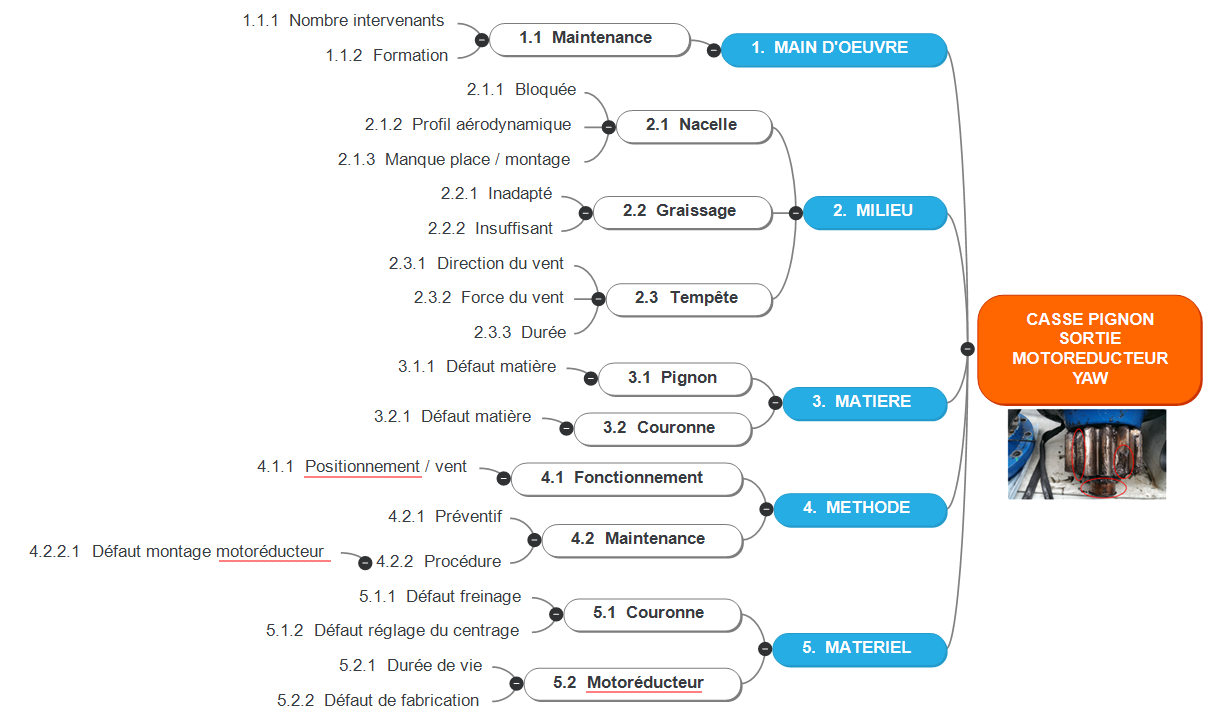
Couple max 2500 daN.m

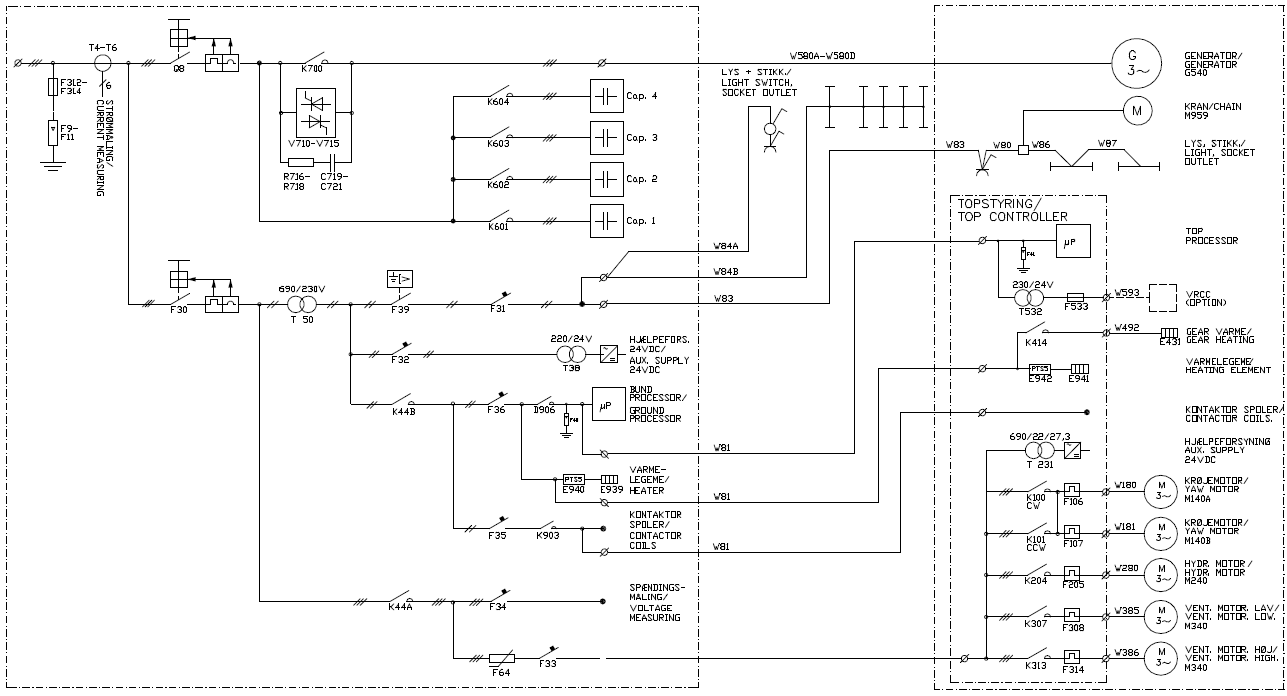
Le mouvement de rotation de la nacelle est donné par deux motoréducteurs dont les pignons de sortie s’engrènent sur la couronne fixée au mât.

Vue de dessus (avec pignons sans motoréducteurs)

Détail :

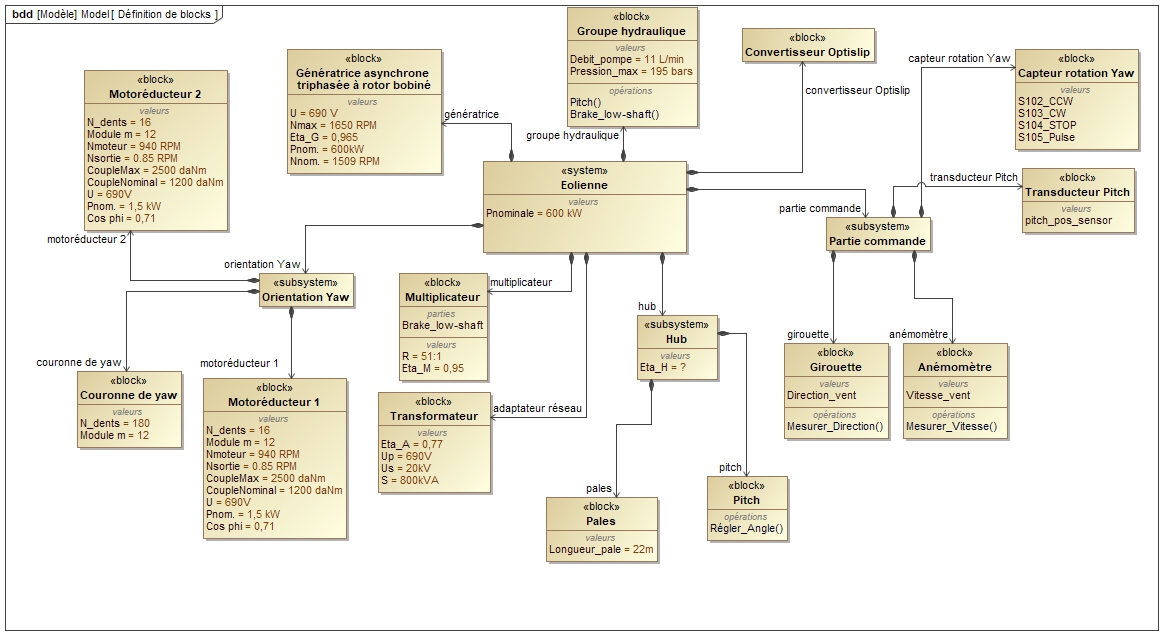
vue de côté

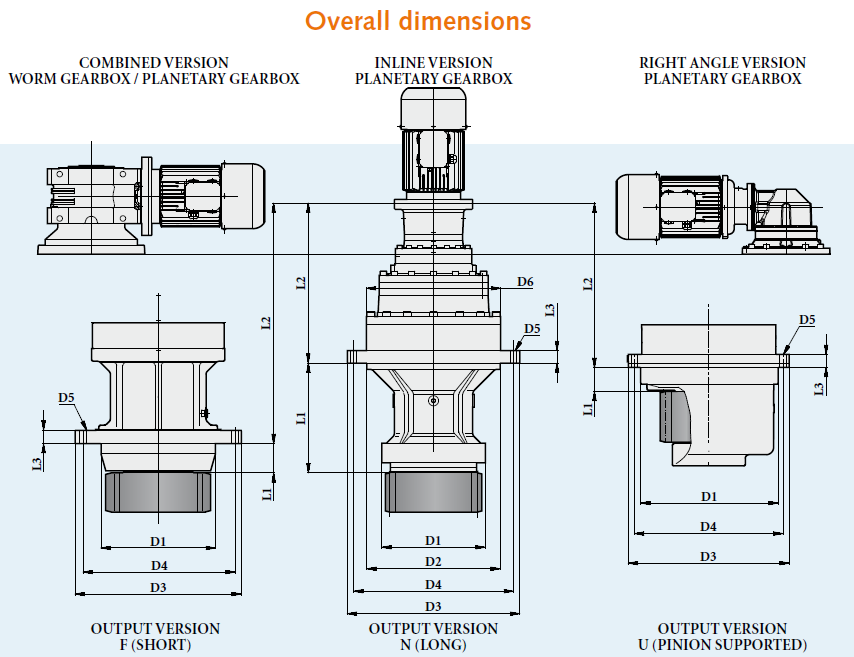


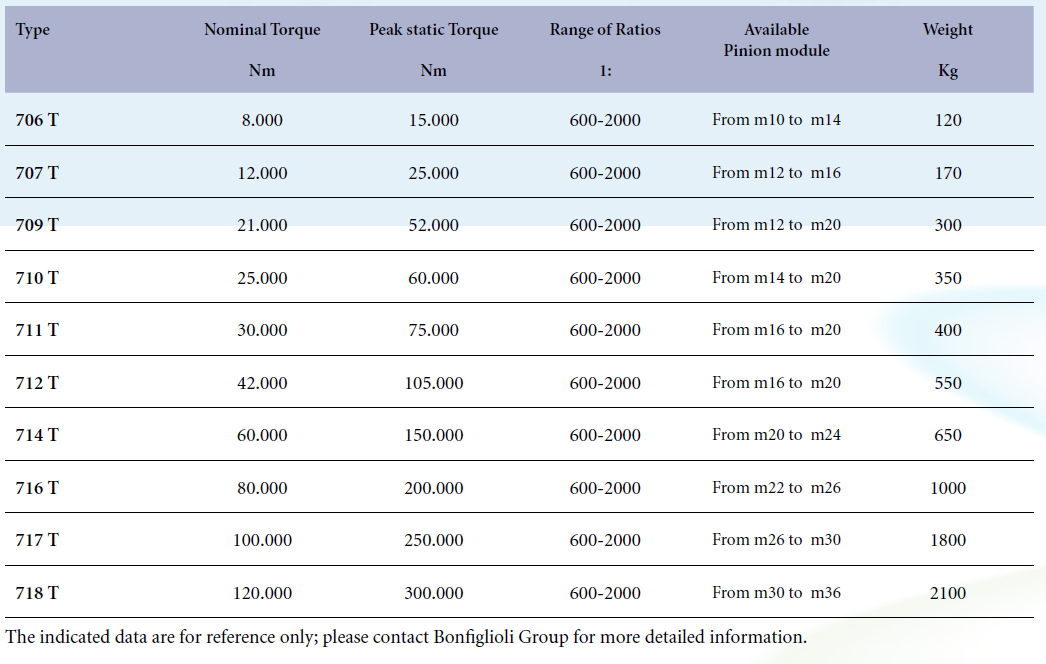


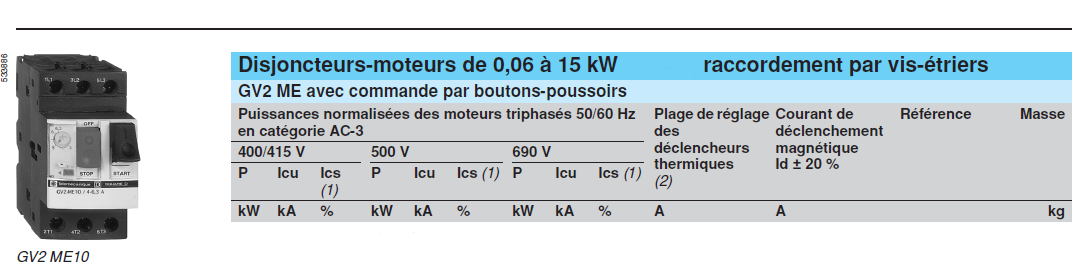
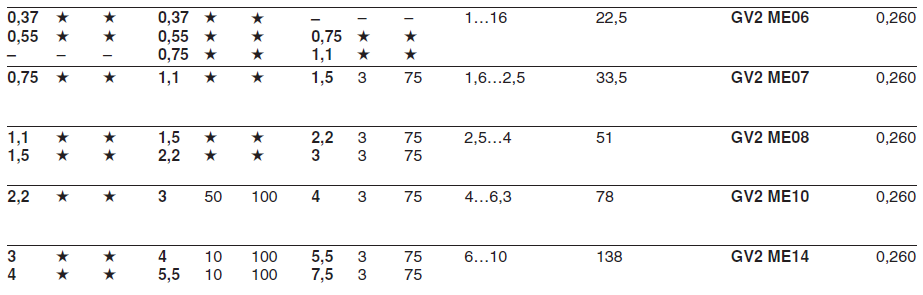
Armoire de pied de mât

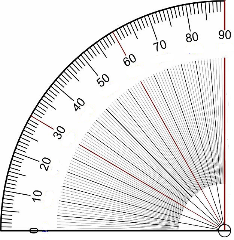
Nacelle







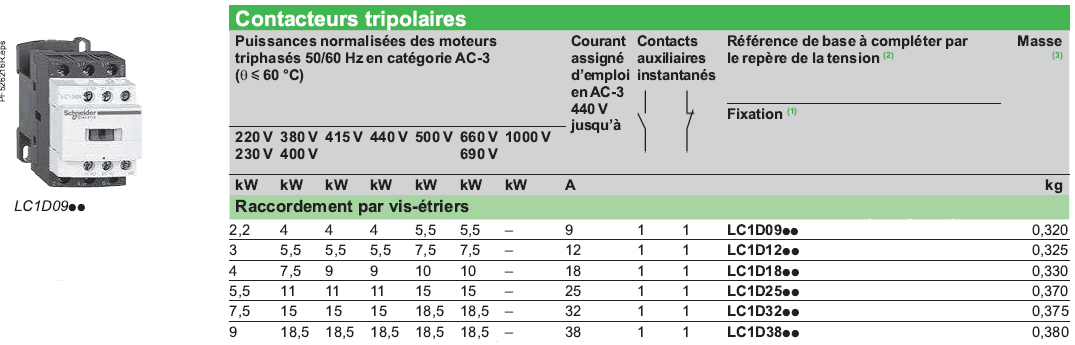
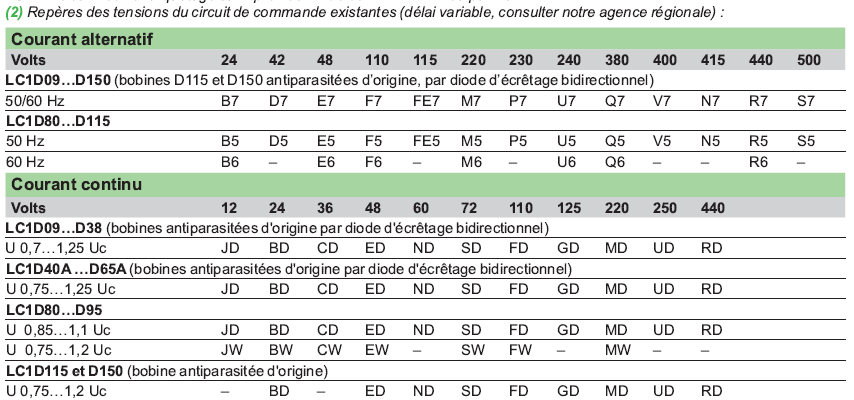




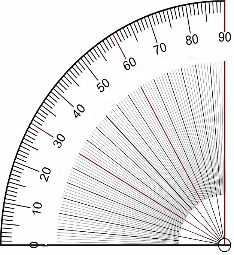
Position 0°

Transducteur pitch BALLUFF

*Documentation Schneider Electric*



Positions extrêmes du système de pitch (schéma cinématique simplifié) :



Position « Drapeau » 90°

Schéma bloc simplifié du pitch :

Carte axe pitch

Distributeur proportionnel

Vérin hydraulique

Mécanisme pitch

Pales

Transducteur BALLUFF

Consigne

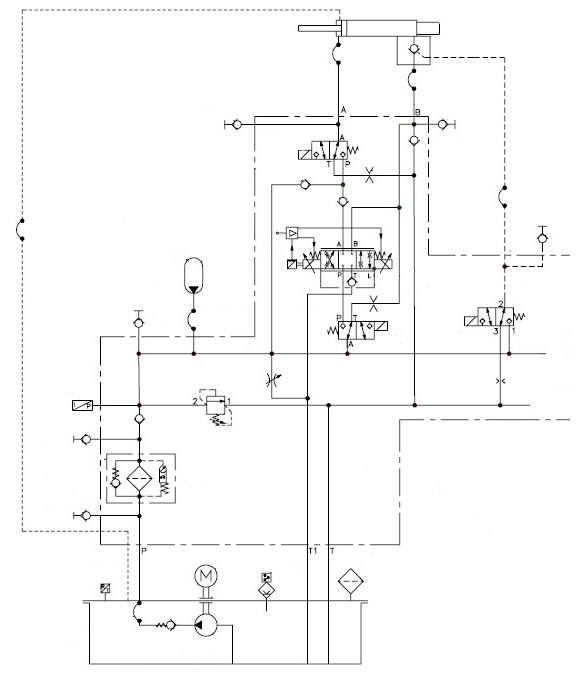
0-10V

VENT

COUPLE SUR L’ARBRE LENT

*Énergie hydraulique*

Données techniques sur le transducteur BALLUFF :



Vers le reste de l’installation

Vérin de pitch

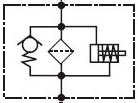
SORTIE vers 90° (drapeau)

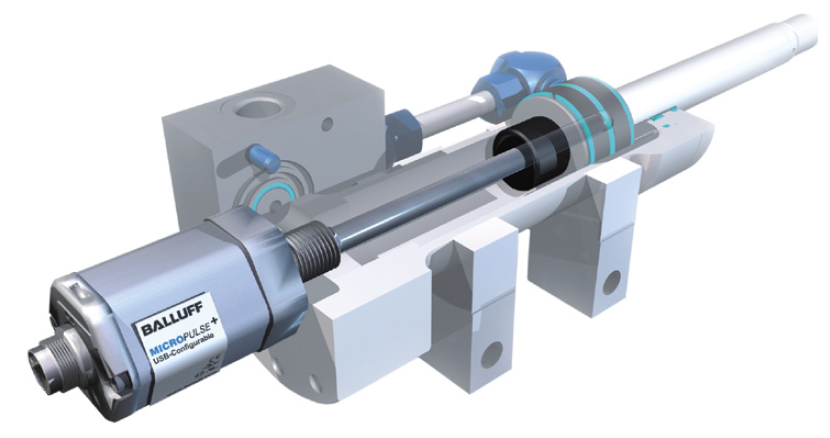
RENTRÉE vers 0°

195 bars

11 l.min-1

105 bars





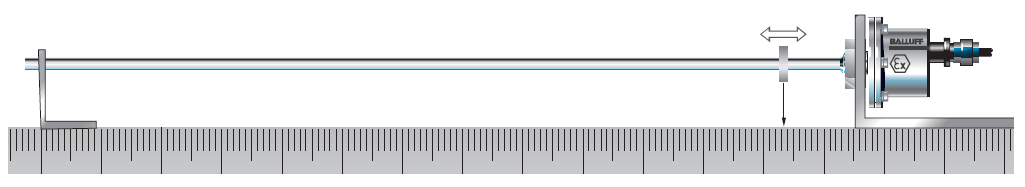


Schéma hydraulique de l’installation :

