



# Eolienne aéroportée Kitewinder

Banc d'essais d'une éolienne aéroportée pour alimentation électrique Offgrid

## Descriptif du support technologique

Le système « Eolienne aéroportée Kitewinder » est un système didactique pluri-technologique reposant sur l'invention d'une start-up de la région Nouvelle Aquitaine.

Aujourd'hui, la production d'énergie à partir du vent repose principalement sur les éoliennes à mât, cependant l'approche d'éolienne aéroportée sans mât rigide propose une alternative avec de véritables avantages:

- **Captation de vents en altitude plus constants et plus puissants**
- Facilité de déploiement, diminution des nuisances sonores
- Pas de mât, pas de fondations, **diminution de 90% de la quantité de matériaux de fabrication**

Kiwee One de Kitewinder est une éolienne aéroportée qui permet de capter les vents en altitude au moyen d'une éolienne portée par une voile et reliée à la génératrice au sol par un système poulies/courroie.

Avec sa courroie de 150m, Kiwee One exploite les vents constants en hauteur, jour et nuit, pour fournir une puissance constante de 100W. Dès que le vent s'arrête ou que la solution doit être repliée, Kiwee One se rembobine automatiquement pour atterrir à moins de 3m de son point d'ancrage.

Kiwee One pèse 4.5kg et peut être transportée dans un sac à dos. Elle s'installe sans outil et ses pâles sont repliables.

Kitewinder a conçu une solution de production d'énergie compacte, à faible coût via une démarche analytique et un prototypage itératif. L'implication de Kitewinder dans l'adaptation pédagogique de Kiwee One a permis d'avoir accès à l'historique de conception et des choix techniques associés.

La maquette pédagogique est constituée de l'ensemble de la chaîne de conversion de l'éolienne Kiwee One à l'exception de l'hélice. Un moteur programmé reproduit le comportement d'une hélice dans un vent donné. Kiwee One s'adapte en permanence aux conditions de vent pour en extraire le maximum d'énergie tout en préservant son intégrité.

## Contenu du produit didactique « Eolienne aéroportée Kitewinder »

Le « Banc d'essais Eolienne aéroportée Kitewinder » KW10 est constitué de:

- ✓ Le mécanisme de renvoi d'angle de la partie motrice (La voile et les pales sont fournies en pièces détachées en parallèle du banc)
- ✓ Le système de câble reliant la motrice et la génératrice
- ✓ La génératrice
- ✓ La carte de contrôle électronique et la batterie Lithium-Ion de 2200mAh
- ✓ Un sous-ensemble de motorisation de la motrice permettant de reproduire les conditions de vent variable
- ✓ Une jauge de contraintes permettant de travailler sur les contraintes du câble
- ✓ Un châssis mécano-soudé assurant la sécurité des utilisateurs

Une **interface utilisateur conçu sur Labview** (Exécutable et .vi fournis) permet de piloter le système et réaliser les acquisitions de signaux de commande et mesures:

- ✓ **Motrice:** Consigne de vitesse de vent – Puissances Cin / Betz / Arbre / Moteur / Electrique – Vitesse de rotation – Consigne d'intensité
- ✓ **Génératrice:** Consigne de vitesse et Vitesse – Intensité, Tension et Niveau de batterie – Puissance génératrice – Puissance et Intensité de sortie – Tension sortie
- ✓ **Jauge de contraintes:** Données brutes sur 12 bits – Données converties en Grammes

Un dossier technique et pédagogique au format HTML est fourni avec:

- ✓ Plans **Solidworks** avec évolutions du design au cours du projet
- ✓ Schémas électriques et électroniques
- ✓ Modèle **SysML**
- ✓ Modèles **Matlab/Simulink**
- ✓ Programmes **Python**
- ✓ Interfaces **Labview** (.exe et .vi)
- ✓ Activités pédagogiques...

Egalement proposée, l'**Eolienne aéroportée Kiwee One de Kitewinder** prête à être utilisée en conditions réelles (Ref.: KW11)



Bac SSI & STI2D, CPGE, IUT, Licences

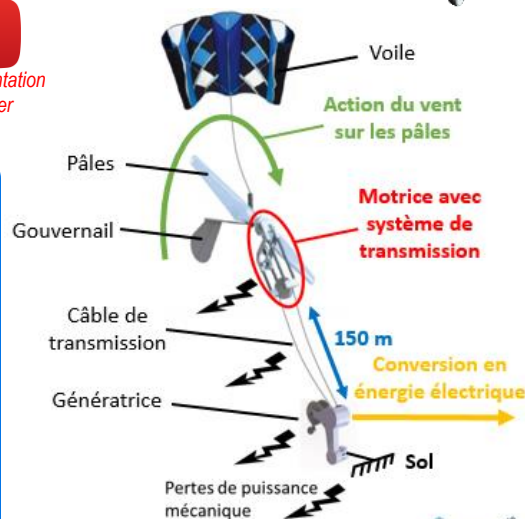
## Thématiques abordées

Mécanique | Matériaux | Energies |  
Electronique | Simulation

Banc d'essais de la Kiwee One de Kitewinder



Vidéo Présentation Kitewinder



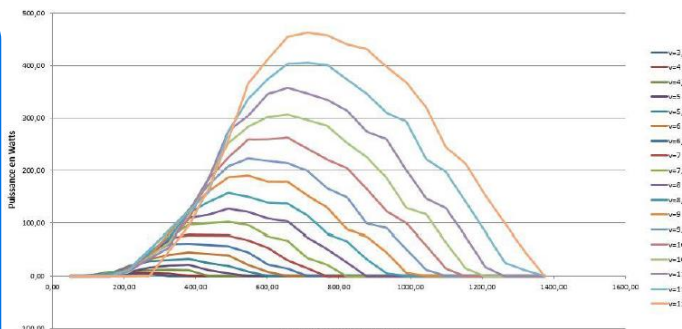
## Points forts du système

- ✓ Système innovant et original de production d'énergies renouvelables
- ✓ Mise en œuvre facile sur le banc de tests.
- ✓ Richesse technologique: Cinématique, Mécanique, Matériaux, Batteries, Jauges de contrainte...
- ✓ Matlab/Simulink, Solidworks, SysML, Python

## Principes de fonctionnement de Kiwee One de Kitewinder

### La motrice

- La motrice est pilotée pour reproduire le comportement d'une hélice dans un vent donné.
- Une simulation numérique de performances de l'hélice de l'éolienne Kiwee One dans différentes conditions de vents, typiquement entre 3m/s et 12 m/s par pas de 0,5 m/s a donné les paramètres d'intérêts relatifs à notre hélice pour une large plage de vitesse de rotation :
  - Couple aérodynamique
  - Trainée aérodynamique
  - Puissance à l'arbre
  - Différentiel de pression
- La puissance mécanique d'une hélice en fonction de sa vitesse de rotation pour un vent donné décrit une forme de gaussienne. La simulation a permis de dégager des points de fonctionnement caractéristiques d'une hélice :
  - A vitesse nulle, la puissance mécanique d'une hélice est nulle
  - La puissance mécanique n'augmente pas linéairement avec la vitesse de rotation
  - Il existe une vitesse optimale de l'hélice correspondant au sommet de la chaque courbe
- Connaissant son rendement en fonction de sa vitesse de rotation mesurée en permanence, la motrice va chercher dans l'abaque de consigne de courant, la consigne de courant instantanée qu'elle doit s'appliquer pour créer la puissance de mécanique correspondante à la simulation numérique en fonction de la vitesse de vent
- Ainsi la motrice ne reproduit pas un vent donné mais le comportement d'une hélice dans un vent donné. La consigne de courant n'est pas linéaire en fonction de la vitesse de rotation et présente un maximum correspondant au sommet de la courbe.



Vue d'ensemble de Kiwee One

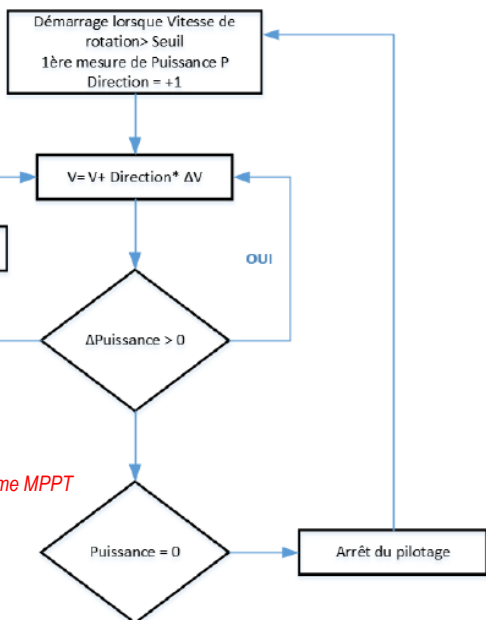


Figure 2: Logigramme MPPT

### La génératrice

- A la différence de la motrice qui reçoit une consigne de courant, la génératrice reçoit une consigne de vitesse. De ce fait, la génératrice impose sa vitesse de rotation tandis que la motrice impose son couple mécanique.
- Sur la génératrice, une fonction MPPT (Maximum Power Point Tracking) est mise en oeuvre de manière à exploiter au mieux la ressource de vent disponible. Elle fonctionne sur le principe « perturbation / observation ».
- L'éolienne démarre à une vitesse fixe, une première mesure de puissance est réalisée. Puis une perturbation est introduite dans le système sous la forme d'un incrément de vitesse. Après un temps de relaxation (typiquement 1 seconde), on réalise une nouvelle mesure de puissance. Si cette dernière est supérieure à la valeur précédemment mesurée, alors la prochaine perturbation sera à nouveau un incrément de vitesse. Dans le cas contraire, on décrémentera la consigne de vitesse. La génératrice est en permanence en ajustement de sa vitesse optimale pour permettre l'extraction du maximum de puissance du flux d'air.
- La génératrice ne connaît pas la programmation de la motrice, de la même façon qu'elle ne connaît pas les conditions de vents dans lesquelles elle se trouve lors d'une utilisation en conditions réelles. Cet algorithme permet à la génératrice d'aller chercher « à tâtons » le maximum de puissance disponible, c'est-à-dire le sommet des courbes présentées sur la Figure 1.
- En parallèle, la génératrice doit protéger sa propre batterie interne. Sur Kiwee One (Batterie Lithium-Ion 2200mAh / 12V). Le lithium ion ne peut pas être chargé à plus de 1C, c'est-à-dire 1 fois la capacité de la batterie, soit 2200 mAh. Ainsi si la puissance entrante dans la batterie dépasse ce seuil, alors la génératrice va sortir de son cycle MPPT pour écrouler la vitesse de rotation de la génératrice afin de diminuer la production électrique et protéger sa batterie interne.



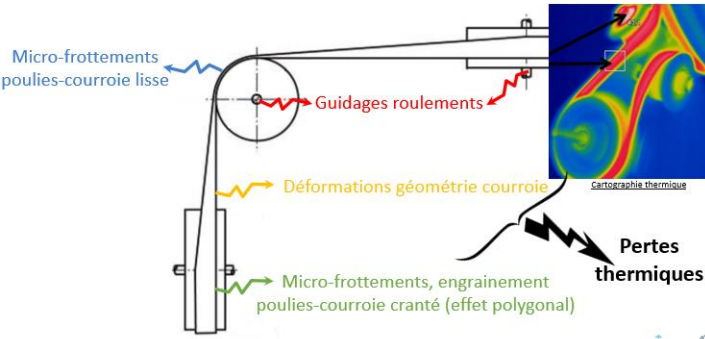
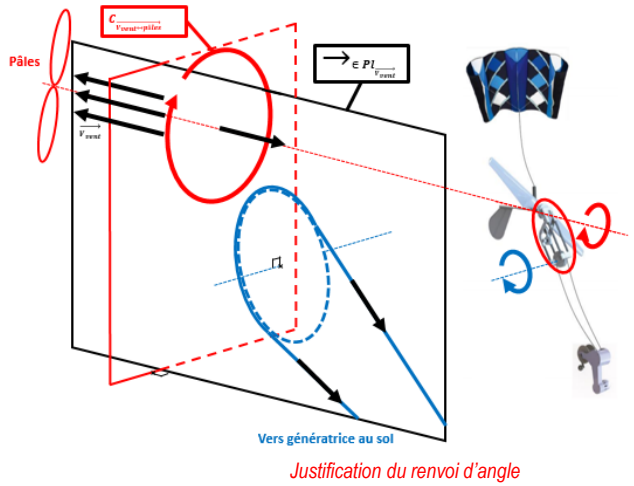
Générateur de Kiwee One au sol, en opérations



## Principes de fonctionnement de Kiwee One de Kitewinder

### Système de transmission de la motrice

- Particularités de conception
  - Renvoi d'angle gauche perpendiculaire
  - Entraînements poulies courroie crantés / lisses
  - 2 Poulies de renvoi (~ galets tendeurs) sur les 2 brins
- Le renvoi d'angle permet de maximiser le couple transmissible par l'énergie éolienne. En effet, il permet de minimiser le défaut de parallélisme entre le plan formé par les brins du câble et la direction du vent



Pertes de puissance au niveau du renvoi d'angle

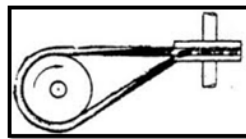
### Résistant milieu corrosif

### Moindre déchaussement

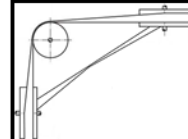
### Plus de déchaussement



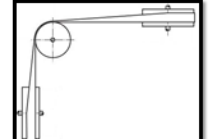
- Solution classique
- Trop lourd (carter)



- Déchaussement permanent

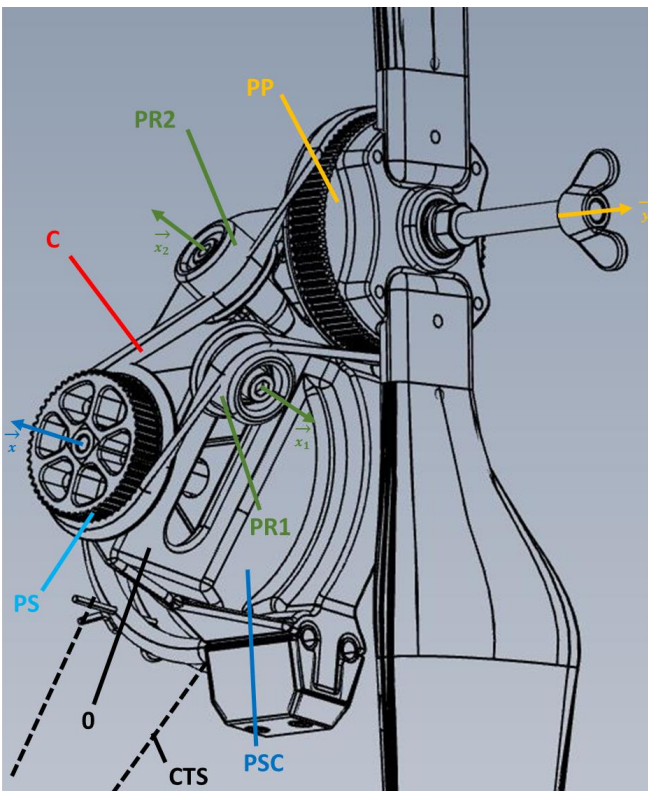


- Galet sur le brin mou
- Inversion des brins au démarrage



- Galets sur les 2 brins

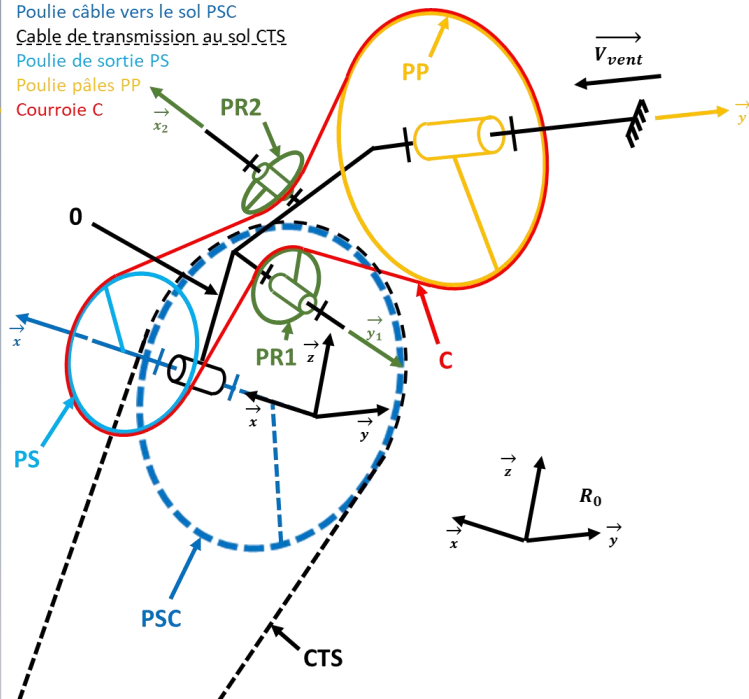
Pourquoi une solution poulies/courroie?



### Nomenclature

- Châssis 0
- Poulies de renvoi d'angle PR1 & PR2
- Poulie câble vers le sol PSC
- Cable de transmission au sol CTS
- Poulie de sortie PS
- Poulie pâles PP
- Courroie C

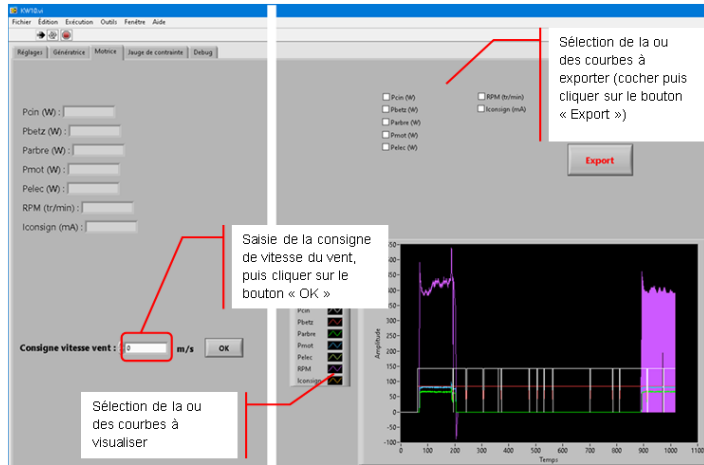
### Schéma cinématique



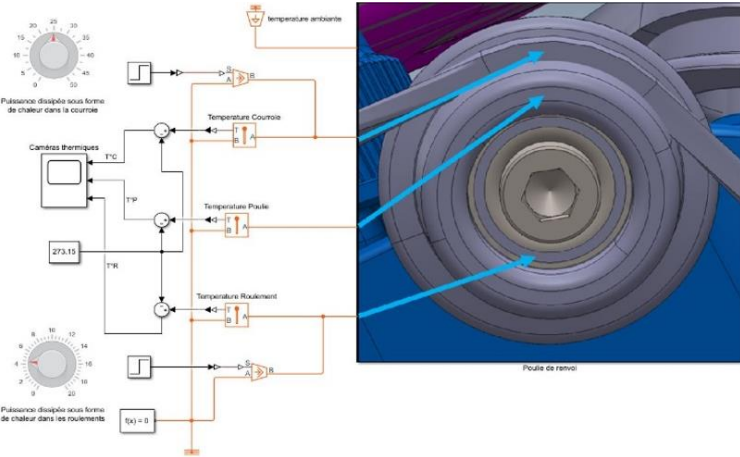
## Environnement d'acquisition et simulation

### Acquisition sur Labview

- L'interface d'acquisition de données a été conçue sur Labview.
- Elle présente quatre onglets:
  - **Réglages:** Affichage des ports COM – Réglage de la période d'échantillonnage (10ms à 10s)
  - **Motrice:** Réglage de la consigne de vitesse de vents – Acquisition et affichage des Puissances Cin / Betz / Arbre / Moteur / Electrique, Vitesse de rotation et Consigne d'intensité
  - **Génératrice:** Acquisition de la Vitesse de rotation / Courant génératrice / Niveau batterie / Puissance générée / Courant batterie (Modes MPPT ou Manuel de recherche d'optimum de vitesse)
  - **Jauge de contraintes:** Affichage des Données brutes sur 12 bits et Données converties en Grammes (Recherche de la fonction de transfert (Polynomes d'interpolations))



Vue de l'écran Labview « Motrice »

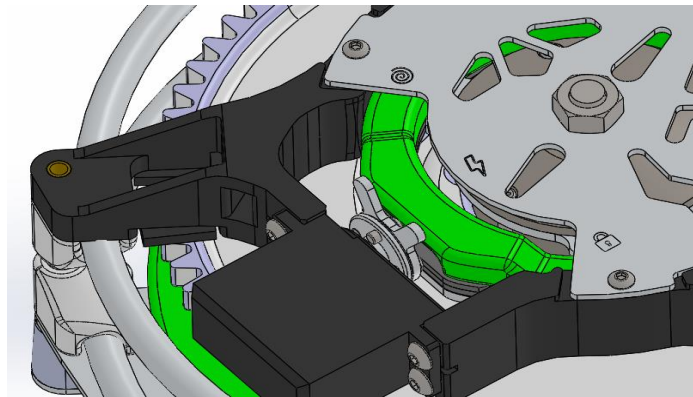


### Simulation sur Matlab Simulink

- Trois modélisations multi-physiques sont proposés:
  - Rendement de la chaîne complète depuis l'énergie du vent, jusqu'à la charge électrique
  - Pertes d'énergie de la courroie du renvoi d'angle
  - Fonctionnement des batteries

### Modélisation 3D sur Solidworks

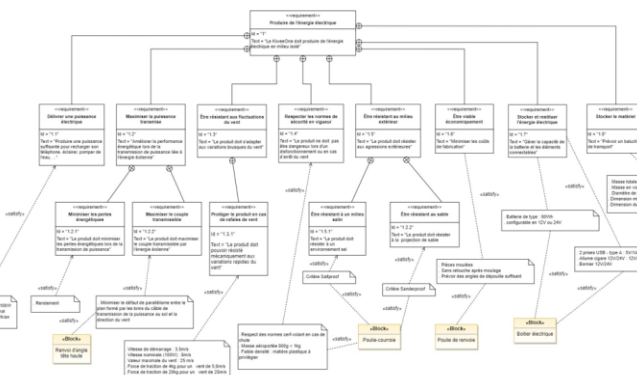
- Les modèles 3D Solidworks sont fournis:
  - Génératrice
  - Renvoi d'angle
  - Hélice
- Egalement fournis:
  - L'historique d'évolution du design du renvoi d'angle permettant de fabriquer les versions antérieures en impression 3D
  - Une simulation Solidworks Simulation de l'influence du diamètre des galets sur le fonctionnement de la courroie



Analyse cinématique de rembobinage de fil sur la génératrice

### Modélisation Système sur SysML

- Les diagrammes SysML suivants sont fournis dans le dossier pédagogique:
  - Diagramme de contexte
  - Diagramme des exigences
  - Diagramme structurel





## Activités pédagogiques en STI2D

Certaines de ces activités seront adaptées pour la filière SI

### Transversal

- **Activité TR1:** Découverte du système (Approche sociétale + Analyse fonctionnelle)
- **Activité TR2:** Modélisation multi-physique et données expérimentales (Rendement de la chaîne complète depuis l'énergie du vent, jusqu'à la charge électrique)
- **Activité TR3:** Modélisation multi-physique (Perte d'énergie de la courroie sous Scilab/Matlab)

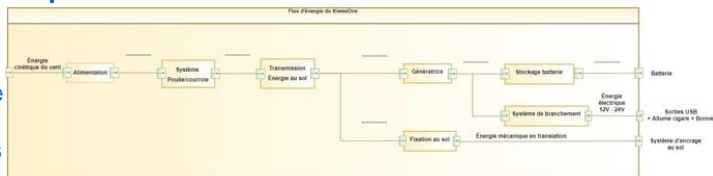
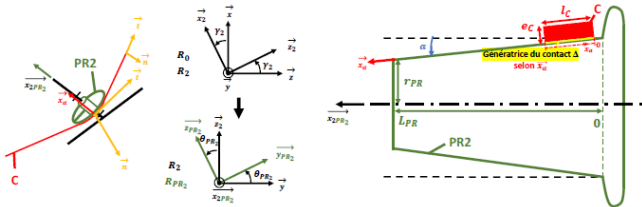


Diagramme structurel SysML

### ITEC

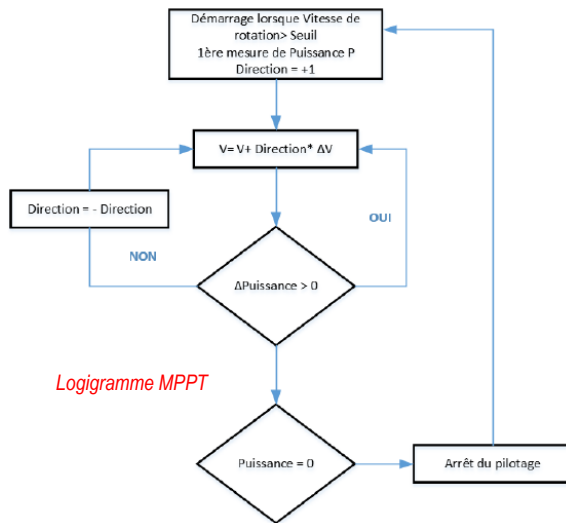
- **Activité ITEC1:** Conception du système de transmission (Avec historique de design). Choix de conception: Poulies avec un seul flanc. Un seul roulement sur les poulies folles
- **Activité ITEC2:** Conception et Fabrication du renvoi d'angle (Matériaux + Process). Intégration de fonctions liées au moulage.
- **Activité ITEC3:** Process de fabrication des hélices.
- **Activité ITEC4:** Qualification du fil (Tests de traction, Matériaux) et choix du noeud. Fil classique vs Fil Dynema.
- **Activité ITEC5:** Influence du diamètre des galets sur le fonctionnement de la courroie (Avec utilisation du modèle Solidworks)



Paramétrage et géométrie de la poulie de renvoi

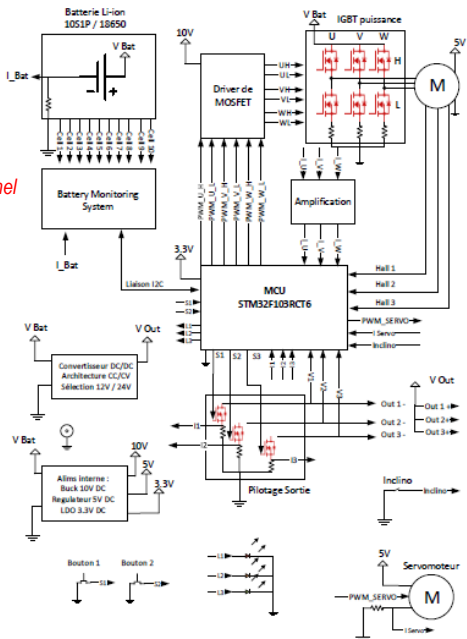
### EE

- **Activité EE1:** Etude de la génératrice brushless à contrôle vectoriel (Visualisation du pilotage du pont en H, à partir d'une analyse de données enregistrées sur un buffer)
- **Activité EE2:** Chaîne d'énergie (Batterie, Rendement, Bilan, Rôle du BMS). Etudes de la charge/décharge. Lien entre les données constructeur et le fonctionnement réel des batteries en fonction du niveau de charge. Modèle Matlab des batteries.
- **Activité EE3:** Algorithme MPPT (Fonctionnement)



Logigramme MPPT

Schéma fonctionnel de la carte électronique de Kiwee One



### SIN

- **Activité SIN1:** Chaîne d'acquisition sur jauge de contrainte
- **Activité SIN2:** Principe de fonctionnement du banc d'essai (Consigne de vent, Profil de vent...), Analyse de programmation (en C ou Python)
- **Activité SIN3:** Chaînes de commande et d'acquisition sur valeurs électriques
- **Activité SIN4:** Traitement Python des données CSV de l'acquisition (Affichage de courbes)