



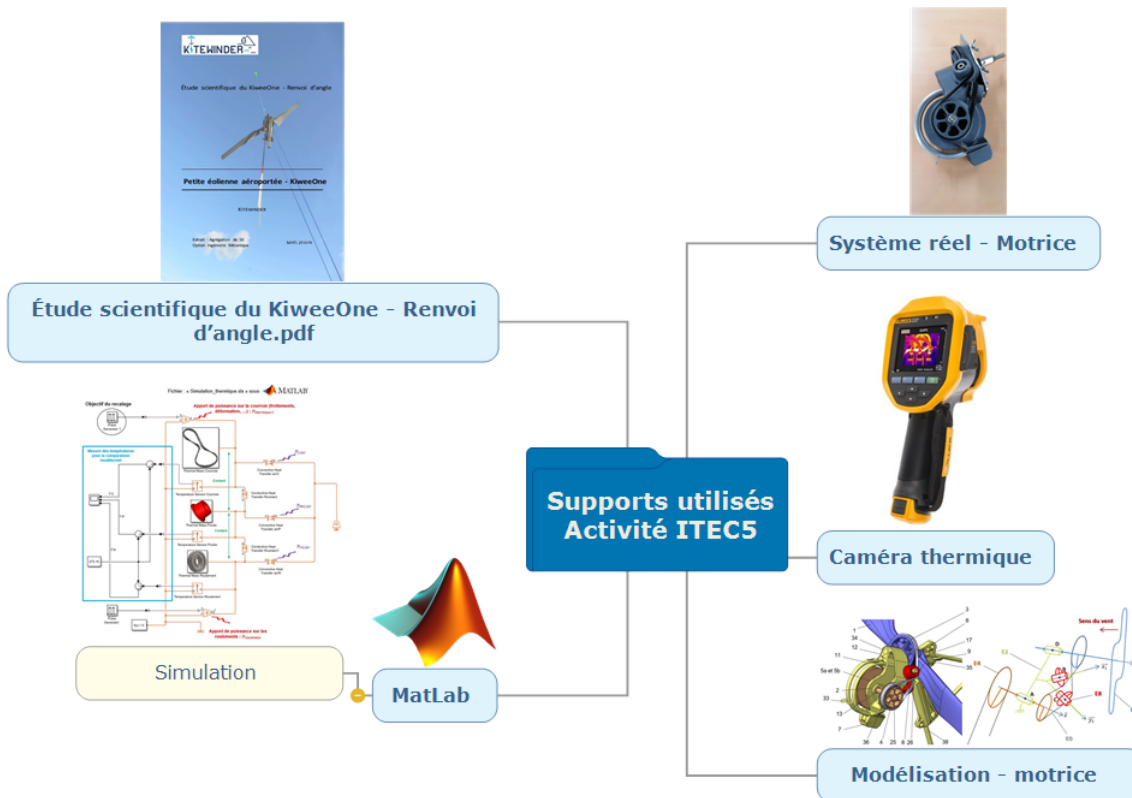
## DOSSIER PEDAGOGIQUE

### Activité ITEC5 - Optimisation des poulies de renvoi

(Eléments de correction)



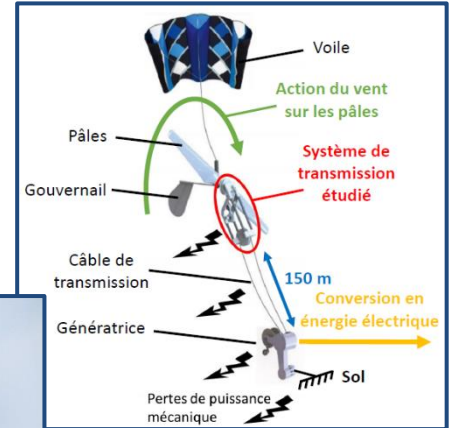
Problématique : Mettre en œuvre une simulation pour valider les poulies de renvoi en limitant les échauffements (glissements).



<b>Activité ITEC5 - Optimisation des poulies de renvoi</b>		<b>Première spécialité STI2D</b>
<b>Descriptif de l'activité :</b>		<b>2 x 2h</b>
<b>Objectifs pédagogiques :</b> A travers l'analyse du système réel et par une simulation, identifier les pertes énergétiques afin d'optimiser le dimensionnement des poulies de renvoi.		
<b>Problématique :</b> Mettre en œuvre une simulation pour valider les poulies de renvoi en limitant les échauffements (glissements).		
<b>Résumé des activités :</b> 1 <sup>ère</sup> Partie : Analyse du système réel, définition du rôle des poulies de renvoi dans la transmission en tête d'éolienne. 2 <sup>ème</sup> Partie : Expérimentation thermique. 3 <sup>ème</sup> Partie : Simulation du comportement thermique de la courroie.		
<b>Matériel Nécessaire :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Système réel actuel KiweeOne</li><li>• Poste informatique</li><li>• Document technique du KiweeOne</li><li>• Caméra thermique</li></ul>	<b>Environnement logiciel :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Modèle multiphysique de simulation afin de mettre en évidence l'échauffement des poulies de renvoi</li><li>• Tableur « excel »</li><li>• Logiciel de la caméra thermique « Fluke Connect »</li><li>• Interface Labview</li></ul>	
<b>Connaissances associées :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• CO3.4. Identifier et caractériser des solutions techniques</li><li>• CO5.5. Proposer des solutions à un problème technique identifié en participant à des démarches de créativité, choisir et justifier la solution retenue</li><li>• CO6.1. Expliquer des éléments d'une modélisation multiphysique proposée relative au comportement de tout ou partie d'un système</li><li>• CO7.2. Mettre en œuvre un scénario de validation devant intégrer un protocole d'essais, de mesures et/ou d'observations sur le prototype ou la maquette, interpréter les résultats et qualifier le produit</li></ul>	<b>Compétences développées :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• 1.1.3. Approche design et architecturale des produits</li><li>• 2.1. Représentation des flux MEI</li><li>• 2.3.1. Typologie des chaînes de puissance</li><li>• 2.3.3. Conversion de puissance</li><li>• 3.1. Modélisations et simulations</li><li>• 3.2.1. Concept de mouvement</li><li>• 3.2.2. Concept d'équilibre</li><li>• 5.2.3. Transmetteurs des mouvements</li><li>• 6.2. Expérimentations et essais</li></ul>	

## 1<sup>ère</sup> Partie : Analyse du système réel, définition du rôle des poulies de renvoi dans la transmission en tête d'éolienne.

L'étude s'appuie sur le support *KiweeOne* (Figure 1) de la société *KITEWINDER*, une petite éolienne aéroportée permettant de produire localement de l'énergie électrique à hauteur de 100W, en allant chercher les vents constants jusqu'à 120 mètres d'altitude.



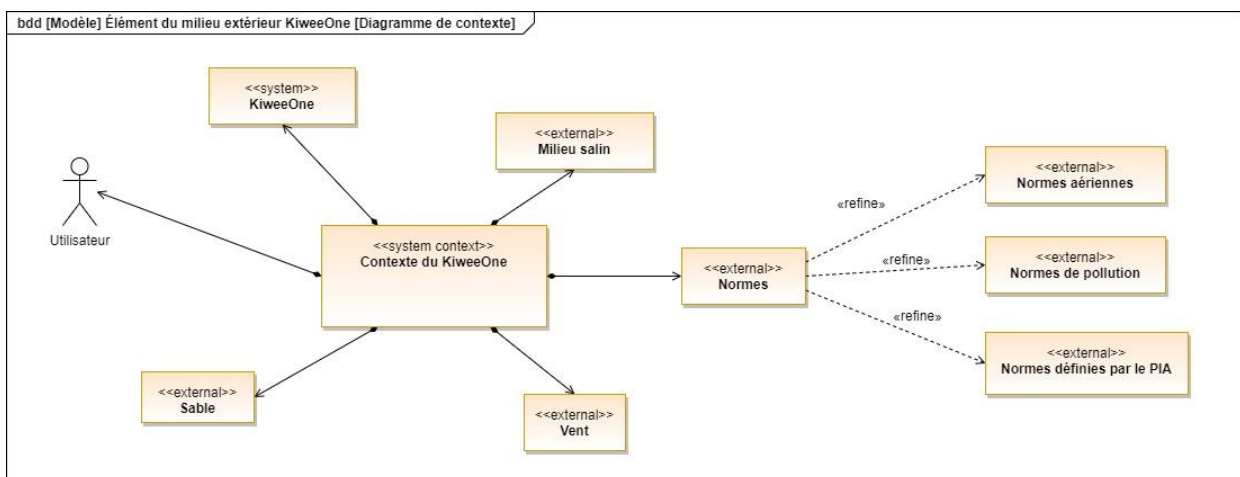
**Figure 2 :** Fonctionnement du KiweeOne

**Figure 1 :** Photo du KiweeOne

La lecture du dossier technique vous donnera plus d'informations sur le fonctionnement de l'éolienne aéroportée.

### 1.1. Présentation du KiweeOne

Le *KiweeOne* présente différents groupes de composants répondant à des exigences fonctionnelles spécifiques. Dans cette étude, l'analyse du système réel et la simulation, permettra d'identifier les pertes énergétiques afin d'optimiser le dimensionnement des poulies de renvoi. En particulier on se limitera à l'étude de la transmission mécanique entre l'axe de l'hélice et l'axe du câble de transmission de puissance jusqu'au sol (Figure 2). Une étude de l'environnement du *KiweeOne* est nécessaire pour définir les exigences associées à sa conception technique (Figure 3).



**Figure 3 :** Diagramme de contexte

### 1.2. Analyse des poulies de renvoi

La société *KITEWINDER* a choisi de réaliser le renvoi d'angle à l'aide d'un système poulies courroie multi-axes, **figure 4**, répondant aux exigences de nécessité d'un renvoi d'angle de 90° (**Id="1.2.2"**), de masse embarquée (**Id="1.4"**) et de résistance au milieu extérieur (**Id="1.5"**) de la **figure 5**. Les choix et les étapes de conception principales sont décrites et justifiées à la **figure 6** à partir du diagramme de contexte, **figure 3** et du diagramme des exigences, **figure 5**.

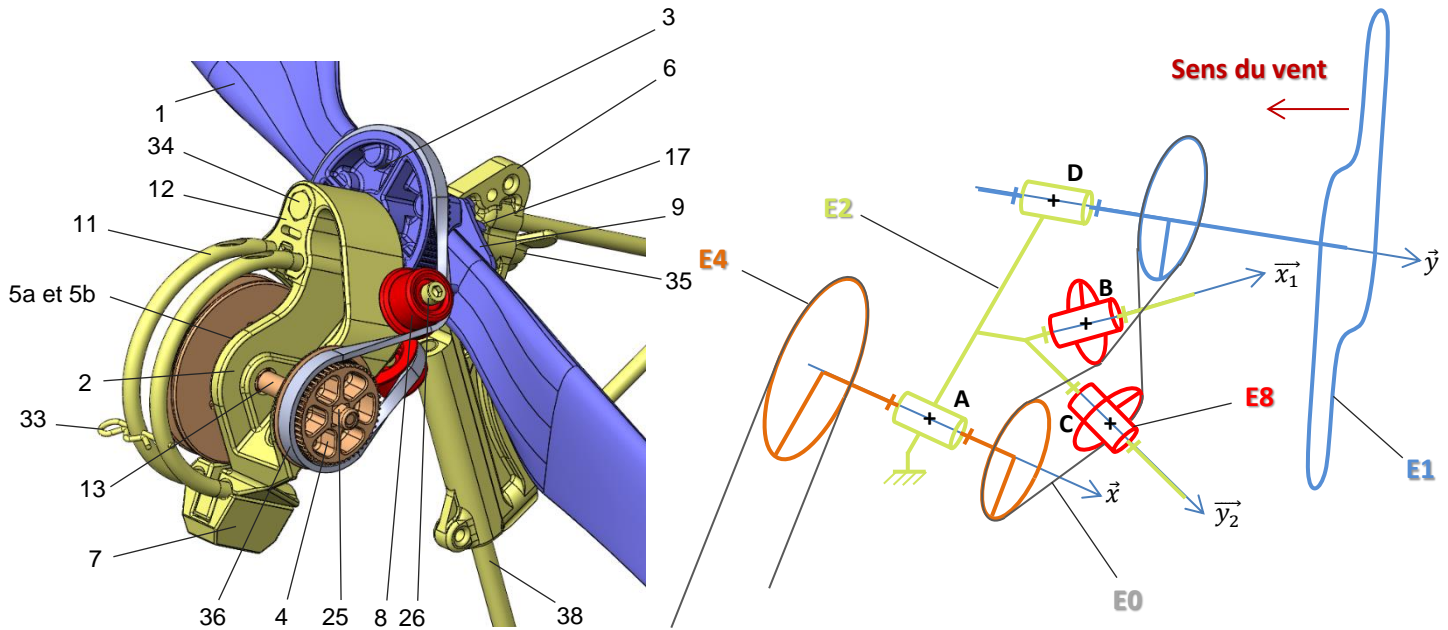


Figure 4 : Schéma cinématique du renvoi d'angle

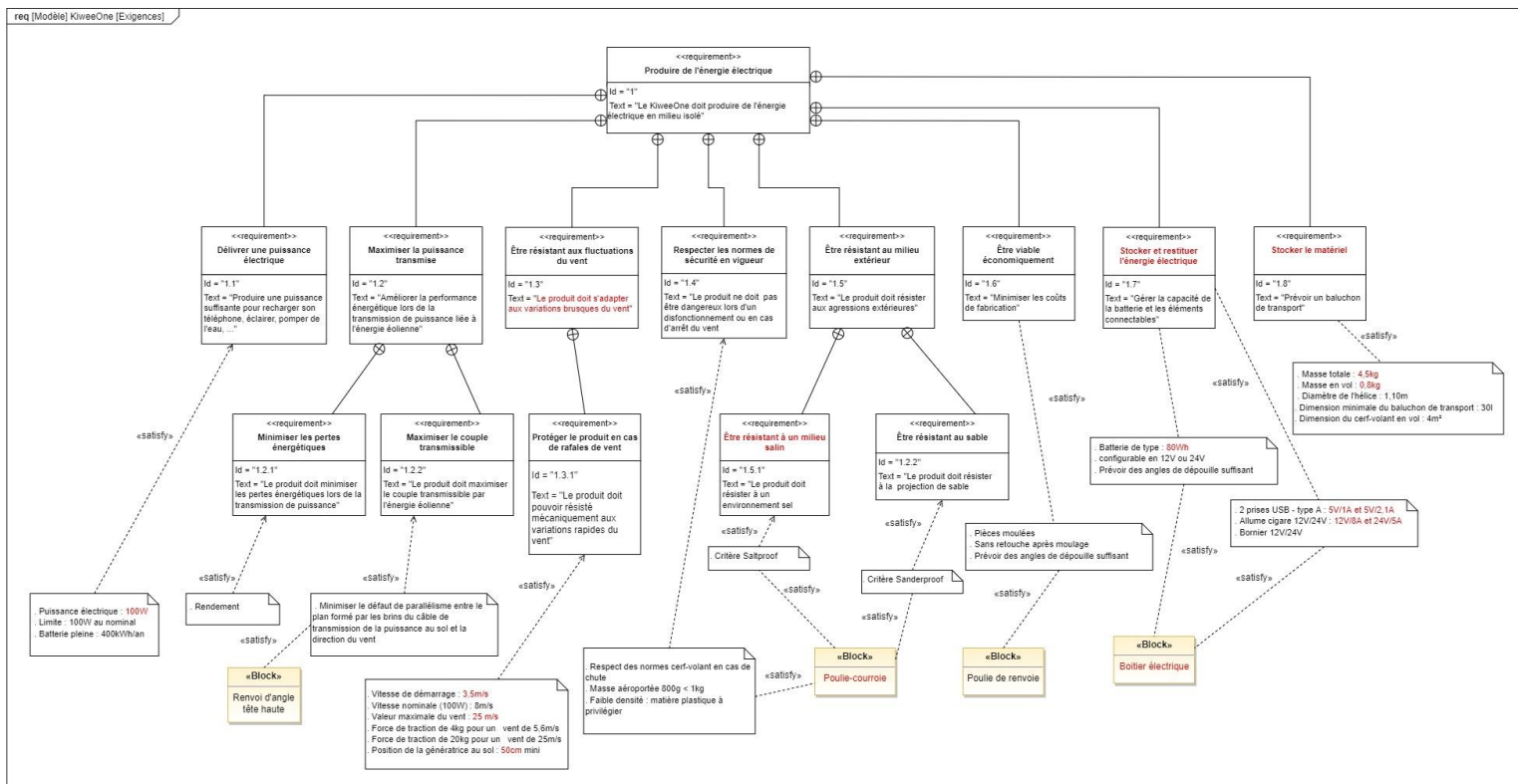
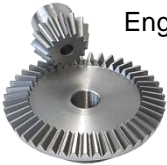
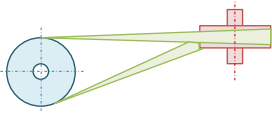

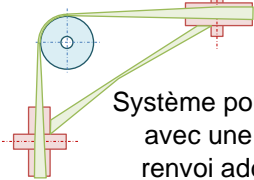
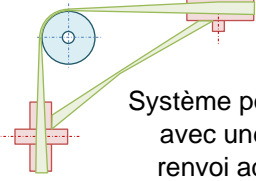
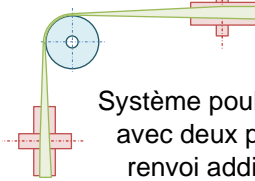


Figure 5 : Diagramme des exigences

Solution envisageable	Solution retenue	Justification
 <p>Engrenage conique</p>	 <p>Système poulie-courroie simple</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Pas de protection contre le milieu extérieur (pas de carter pour minimiser la masse embarquée).</li> <li>. Milieu extérieur incompatible avec une solution par engrainement (milieu salin, sable, ...).</li> </ul>
 <p>Système poulie-courroie simple</p>	 <p>Système poulie-courroie avec une poulie de renvoi additionnelle</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Nécessité d'une poulie de renvoi au niveau du brin mou à la vue de la puissance transmise dans la courroie.</li> </ul>
 <p>Système poulie-courroie avec une poulie de renvoi additionnelle</p>	 <p>Système poulie-courroie avec deux poulies de renvoi additionnelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Nécessité d'une deuxième poulie de renvoi au niveau du brin tendu (Éviter les risques de déchaussement de la courroie et résoudre la situation d'inversion de la puissance au niveau de l'hélice et permutation du brin mou).</li> </ul>

**Figure 6** : Tableau comparatif des choix de conception

**Question 1** : A partir du diagramme des exigences, **identifier** l'exigence qui permet d'améliorer la performance énergétique du mécanisme de transmission. **Préciser** ce qui doit être priorisé pour atteindre cette exigence.

L'exigence est la **Id="1.2"** : Maximiser la puissance transmise.

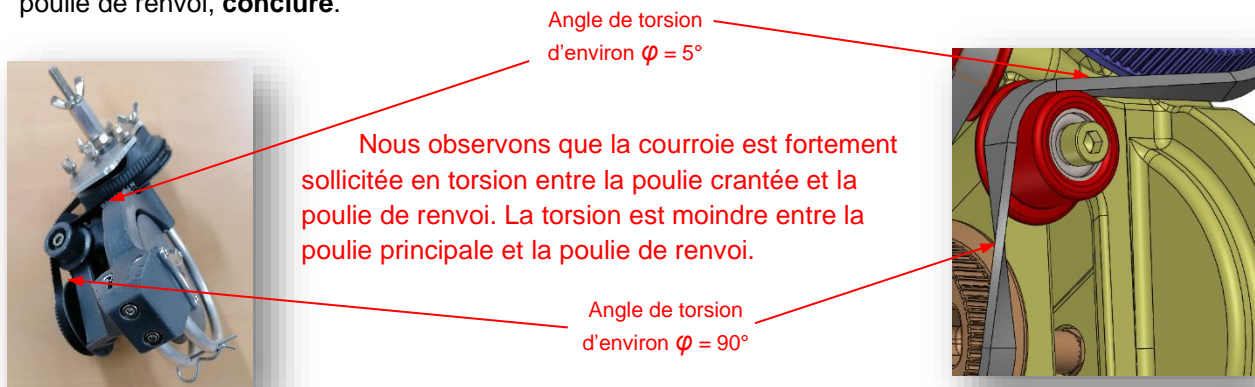
Pour cela, il faut minimiser les pertes énergétiques et maximiser le couple transmissible.

Une étude est réalisée pour se concentrer uniquement sur les pertes au niveau de la motrice (renvoi d'angle). Nous devons donc analyser la modélisation globale des phénomènes indésirables au niveau du renvoi d'angle pour minimiser les pertes énergétiques associées.

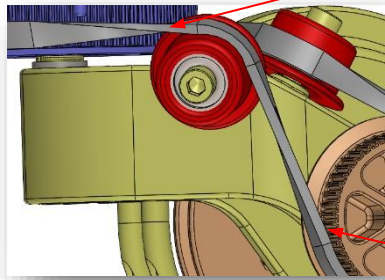
L'étude scientifique est proposée sur le document « **Étude scientifique du KiweeOne - Renvoi d'angle.pdf** ».

L'orientation des poulies de renvoi joue un rôle prépondérant lors de la transmission du couple, les effets sur la courroie est notable. Une fois le système mis en route, observez la transmission de la puissance au niveau de la courroie crantée. Cette analyse peut également être réalisée sur le système isolé.

**Question 2** : **Analyser**, sur le système réel ou sur la modélisation les sollicitations que subit la courroie autour de la poulie de renvoi, **conclure**.



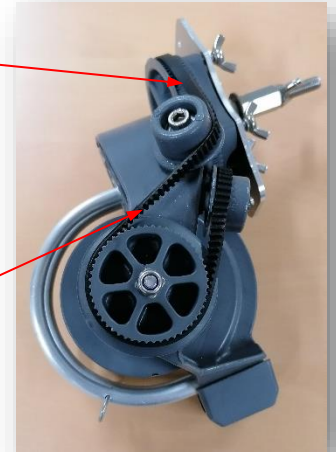




Angle de torsion  
d'environ  $\varphi = 90^\circ$

Nous observons le même phénomène sur l'autre galet de renvoi. Cette fois-ci, nous observons que la courroie est fortement sollicitée en torsion entre la poulie principale et la poulie de renvoi. La torsion est moindre entre la poulie crantée et la poulie de renvoi.

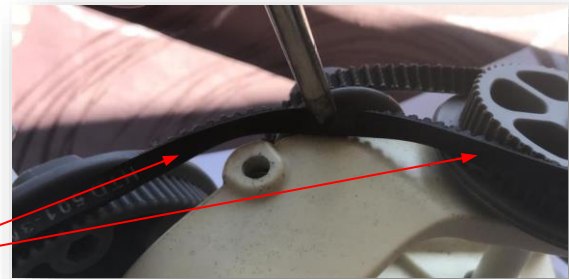
Angle de torsion  
d'environ  $\varphi = 10^\circ$



**Question 3** : Proposer une solution géométrique qui permettrait d'équilibrer cette différence de torsion. Pour cela, vous pouvez démonter le système réel et procéder à votre modification et réaliser une photo significative.

Nous changeons le positionnement de la poulie de renvoi et constatons que la torsion des brins de la courroie de part et d'autre de la poulie s'équilibre autour d'un angle  $\varphi = 45^\circ$ .

Angle de torsion  
d'environ  $\varphi = 45^\circ$



Si l'on applique des modifications de géométrie on a alors une énergie de déformation en torsion finale qui peut être divisée par 2. Nous observons par ailleurs qu'avec la sollicitation de l'ensemble des brins en torsion, les temps de parcours liés à la torsion doublent.

**Question 4** : Que peut-on dire de la puissance perdue associée à la déformation en torsion.

On obtient donc une puissance perdue associée à la déformation en torsion **divisée par 4**.

On observe alors **une diminution de 40% de la puissance moyenne perdue par déformation**.

Si l'on veut caractériser le matériau en faisant abstraction de la forme de la pièce et de ses dimensions, nous pouvons définir les éléments suivants :

. Angle unitaire de torsion  $\theta$  tel que :  $\theta = \frac{\alpha}{L}$  ( $\alpha$  en rad et L en mm)

. Allongement relatif ou déformation notée  $\varepsilon$  tel que :  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\Delta \theta}{\theta_0}$  ( $\varepsilon$  est sans unité, l en mm et  $\theta$  en rad)

. La contrainte notée  $\tau$  tel que :  $\tau = \frac{M_t}{I_G} \cdot r$  ( $\tau$  en N.mm<sup>-2</sup>,  $M_t$  en N.mm,  $I_G$  en mm<sup>4</sup>, r la distance à l'axe de torsion en mm)

$I_G$  est ici :  $I_G = \frac{b \cdot h^3}{12}$  b = 3 mm, h = 8 mm et r = 5 mm

$F = k \cdot \Delta l$ , pour une traction-compression (F en N, k en N.mm<sup>-2</sup> et l en mm)

$F = k \cdot \Delta \theta$ , pour une flexion (F en N, k en N.mm<sup>-2</sup> et  $\theta$  en rad)

$C = M_t = K \cdot \Delta \theta$ , pour une torsion (C en N.m, K en N.m.rad<sup>-2</sup> et  $\theta$  en rad)

. L'énergie de déformation notée ici  $\omega_{\text{déformation en torsion}}$ , est équivalent à :

$$\omega_{\text{déformation en torsion}} = \frac{1}{2} \cdot K \cdot (\theta - \theta_0)^2$$

**Question 5** : Donner l'expression de l'énergie liée à la déformation de la courroie en torsion de part et d'autre de la poulie de renvoi.

$$\omega_{\text{déformation en torsion}} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot K_{\text{torsion}} \cdot \left( \frac{\theta_{\text{torsion}}}{2} \right)^2$$

Le nombre de torsion est multiplié par 2 et l'angle de torsion divisé par 2.

Nous constatons que la puissance moyenne par déformation lorsque l'angle de torsion est équilibré (45° de chaque côté de la poulie de renvoi) est équivalente à 1,2 W.

**Question 6** : En analysant l'étude scientifique proposée « Étude scientifique du KiweeOne - Renvoi d'angle.pdf », identifier le gain ainsi réalisé sur la puissance par déformation en %.

La puissance moyenne par déformation dans l'étude est de 2 W ce qui équivaut à un gain :

$$\text{Gain} = \frac{2-1,2}{2} = 0,4 \text{ Soit un gain de } 40 \%$$

Pour la réalisation du renvoi d'angle, la courroie réalise un trajet complexe qui la tord dans plusieurs directions. Couplée aux efforts de tension dans le brin tendu, cette géométrie particulière induit une répartition d'effort que l'on va chercher à modéliser. Nous supposons dans cette partie que la courroie est indéformable au contact avec la poulie de renvoi.



**Question 7** : Identifier les endroits où la courroie appuie plus ou moins fort sur la poulie de renvoi en analysant la photo ci-dessus.

La courroie appuie plus sur la base de la poulie de renvoi.

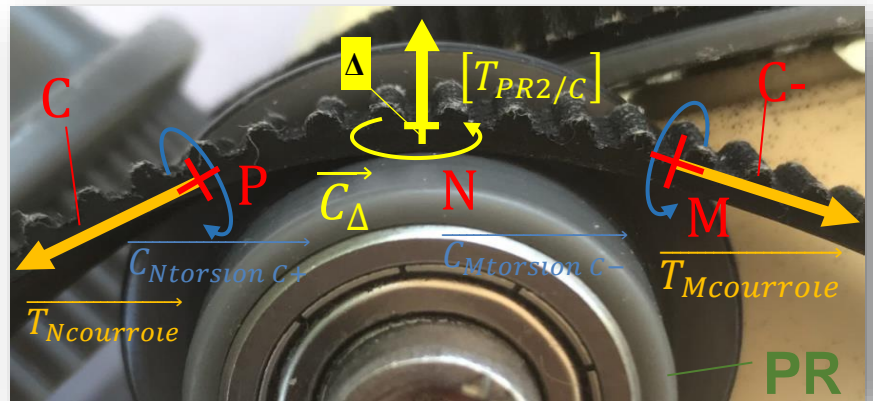
**Question 8** : Justifier un modèle représentatif simple de la répartition de pression au contact (linéique, surfacique, volumique).

Nous pouvons justifier cette modélisation compte tenu du contact entre la courroie et la poulie de renvoi proche du contact linéique.

**Question 9** : Relever dans l'étude scientifique la valeur de la pression maximale que la courroie applique sur la poulie de renvoi  $P_{\text{max}}$ . Expliquer la raison de l'unité choisie.

La pression maximale est de 20 N.mm<sup>-1</sup>. L'unité choisie est en N.mm<sup>-1</sup> car c'est une pression linéique.

**Question 10** : Réaliser le bilan des actions mécaniques extérieures appliquées sur la portion de courroie entre les points P et M. Placer ces actions mécaniques sur la photo ci-contre.



- . En N : Réaction de la poulie de renvoi  $[T_{PR2/C}]$  dont on suppose que la composante normale doit reprendre les efforts sur la génératrice  $\Delta$  afin de garantir l'équilibre de la courroie. Un couple  $\vec{C}_\Delta$  lié au glissement.
- . En P : Tension de la courroie  $\vec{T}_{Ncourroie}$  et un couple  $\vec{C}_{Ntorsion\ C+}$ . On fait l'hypothèse que cet effort est uniforme dans la section de courroie et ne génèrent aucune torsion de celle-ci au contact avec la poulie de renvoi.
- . En M : Tension de la courroie  $\vec{T}_{Mcourroie}$  et un couple  $\vec{C}_{Mtorsion\ C-}$ . On fait l'hypothèse que cet effort est uniforme dans la section de courroie et ne génèrent aucune torsion de celle-ci au contact avec la poulie de renvoi.

**Question 11** : Ecrire le Principe Fondamental de la statique sur la tranche de courroie isolée sur l'axe  $\Delta$ .

$$[T_{C/PR2}] = [T_{Ctorsion}] + [T_{Tcourroie}]$$

L'expression du torseur cinématique et du torseur mécanique a permis dans l'étude scientifique la détermination de la puissance intérieure.

**Question 12** : Relever dans cette étude l'ensemble des pertes liées à la transmission de puissance par la courroie sur les poulies de renvoi.

- . Pertes énergétiques de la courroie liées à sa déformation :  $P_{moyen\ déformation} \simeq 2\ W$
- . Pertes énergétiques de la courroie liées à son glissement sur les poulies de renvoi :  $\mathcal{P}_{int\ C/PR2} \simeq 2\ W$
- . Pertes liées à l'élongation de la courroie, effet polygonal : valeur non évaluée dans l'étude
- . Pertes énergétiques du roulement de la poulie de renvoi du brin tendu :  $P_{roulement} \simeq 0,8\ W$

**Question 13** : Que peut-on dire de l'ensemble de ces pertes par rapport à la production de l'éolienne de 100 W.

Les pertes représentent 4,8 W soit : Pertes totales =  $\frac{100 - 4,8}{100} = 0,952$  soit : 4,8% de la puissance produite.



## 2<sup>ème</sup> Partie : Expérimentation thermique

L'entièreté des pertes mécaniques au niveau du renvoi d'angle se dissipe sous forme de chaleur par effet Joule, la température des composants est donc un bon indicateur pour déterminer les pertes de rendement du renvoi d'angle.

En effet, il est intéressant de réaliser les modèles analytiques et numériques des différents phénomènes de pertes énergétiques afin de connaître l'influence des paramètres sur les différents types de pertes. Néanmoins, comme les phénomènes parasites sont nombreux, cela ne peut pas suffire pour dimensionner entièrement le système.

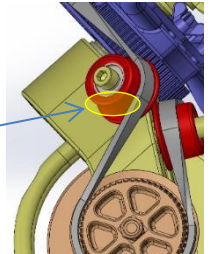
Le modèle thermique a donc pour objectif d'agir en "Reverse engineering" sur le système, c'est-à-dire qu'à partir de la température des composants mesurée expérimentalement, le modèle permet de remonter jusqu'à la puissance perdue dans le système et dissipée en chaleur.

Nous allons donc observer l'influence de la vitesse sur la quantité de pertes. Il faut pour cela **mettre en route le banc de KiweeOne et le laisser tourner durant quelques minutes.**

**Question 14** : Préparer la caméra thermique en sélectionnant le type de fichier au format « .IS2 ». Relever la valeur de température dans la zone prévisible d'échauffement avant de lancer l'essais.

La température relevée est de : 18,61 °C

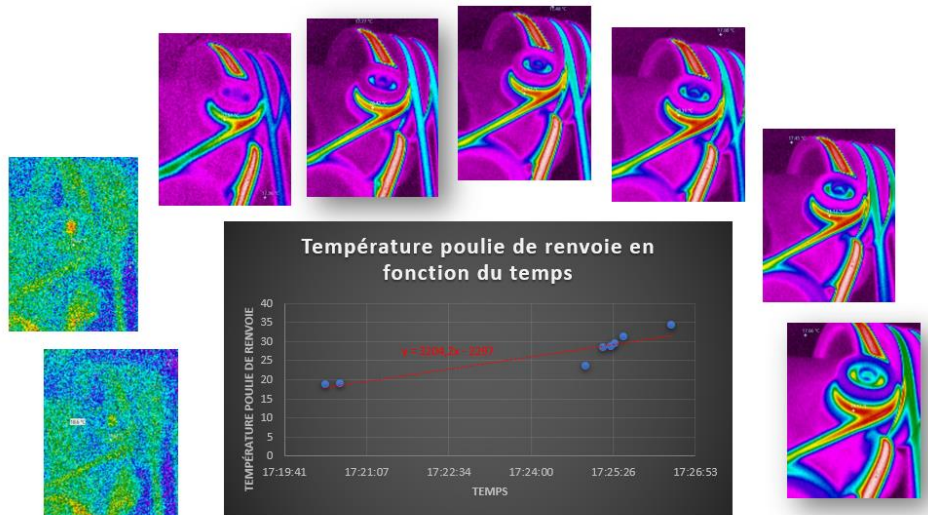
Zone de mesure de la température



**Question 15** : Préparer la mise en œuvre du banc avec une valeur de vitesse de vent, en consigne de 10m.s<sup>-1</sup>, cohérente pour la réalisation d'essais en conditions similaires aux situations réelles. Le temps de l'essai est d'environ 6 minutes, il faut relever les températures régulièrement toutes les 30s et les enregistrer. Lancer la caméra et le banc pour réaliser l'essai. Relever la cartographie thermique de la zone courroie / poulie de renvoi du brin tendu à l'aide de la caméra thermique. Extraire les données et proposer un bilan de vos mesures (tableau, graphique et photos de prises de température), au regard des préoccupations liées aux pertes de rendement sur le renvoi d'angle.

La température de la poulie de renvoi passe de 18,6°C à 34,2°C durant l'essai.

L'écart relevé est de 83,6 % entre le début et la fin de l'essai. Cela est important et permet de justifier les préoccupations liées aux pertes de rendement sur le renvoi d'angle.



Temps en hh:mm:ss	17:20:24	17:20:40	17:24:58	17:25:16	17:25:24	17:25:28	17:25:38	17:26:28
température poulie de renvoi en °C	18,61	19,02	23,61	28,42	28,67	29,31	31,17	34,17

### 3ème Partie : Simulation du comportement thermique de la courroie.

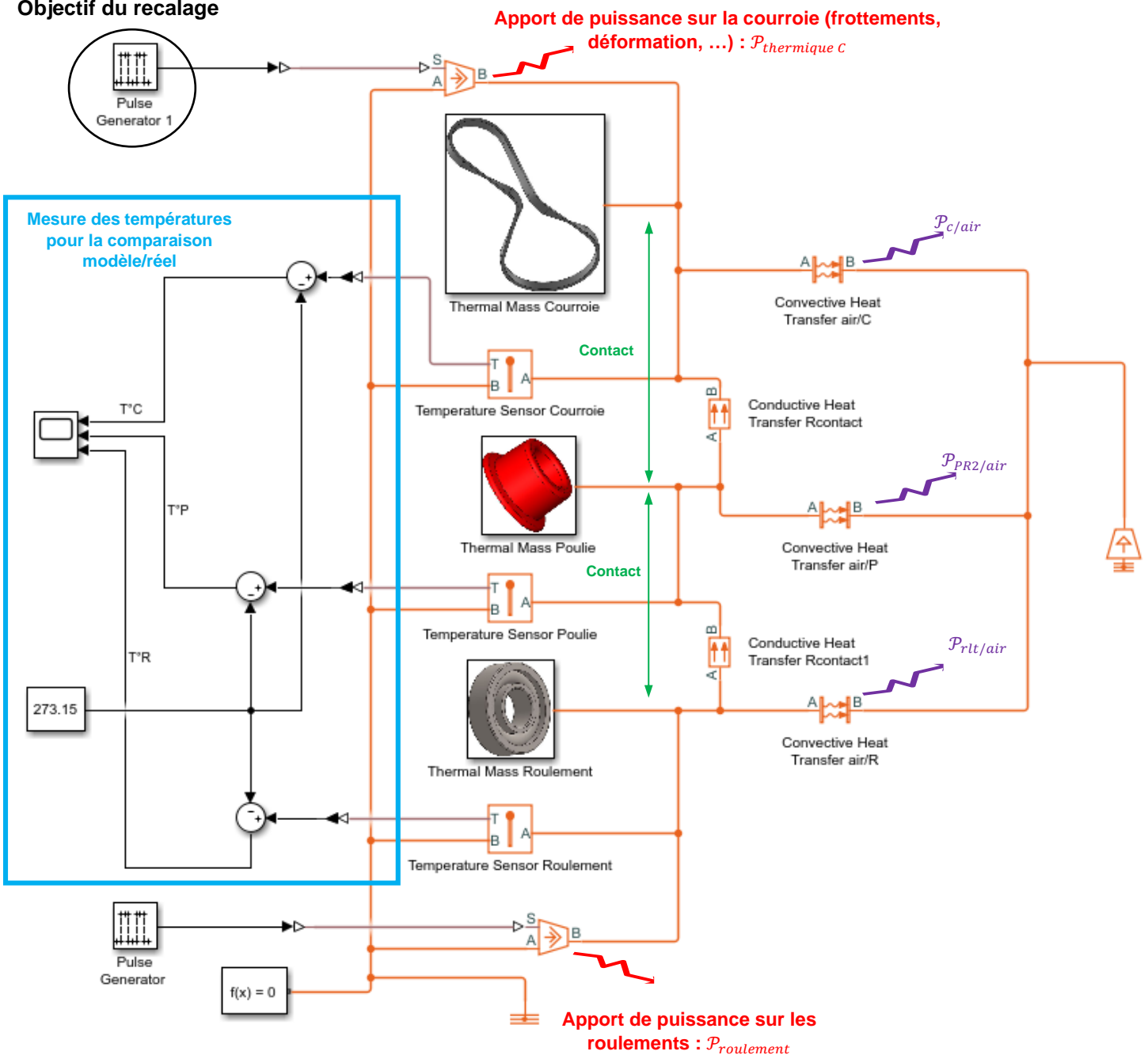
Le modèle *Simscape* créé modélise le comportement thermique des composants de la zone courroie/poulie de renvoi du brin tendu, avec en entrée des pertes de puissance mécanique traduites en apport de puissance thermique au niveau de la courroie et du roulement majoritairement.

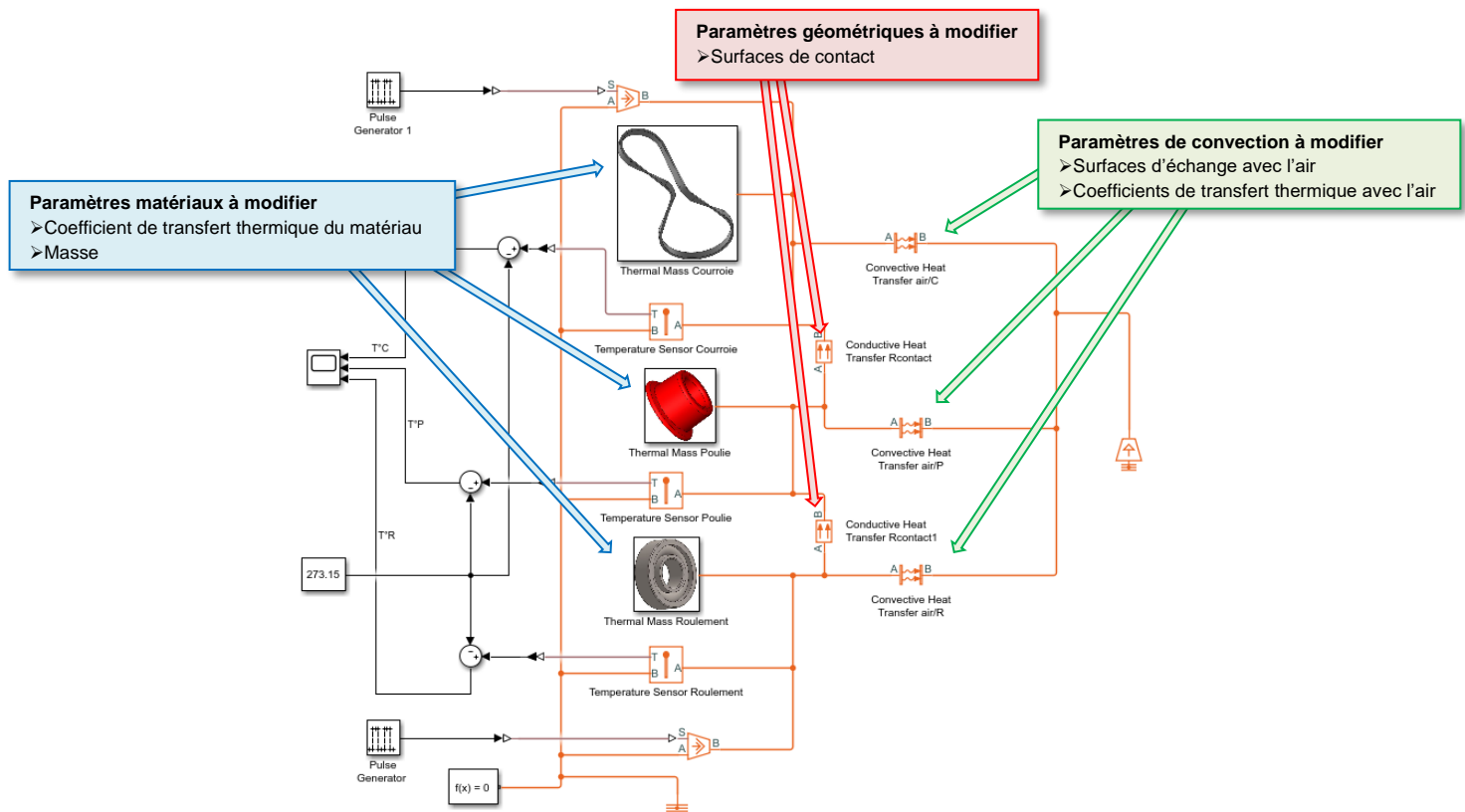
Pour alimenter correctement la modélisation, les caractéristiques géométriques et matériaux ont été extraites des documents CAO ainsi que des documents constructeurs ; un modèle condensateur thermique / résistance thermique de contact – dont un bloc *Simscape* a été conçu pour cette application – a été mis en place.

Modélisation thermique du contact courroie / poulie de renvoi sous *Simscape*.

Fichier : « **Simulation\_thermique.slx** » sous  **MATLAB®**

**Objectif du recalage**





**Question 16** : Entrer les paramètres de simulation suivant :

**Paramètres de convection :**

- . Transfert air/Courroie : Surface de transfert **10 864,37 mm<sup>2</sup>**
- . Coefficient de transfert air/Courroie : **0,102.10<sup>-3</sup> W/(m<sup>2</sup>.K)**
- . Transfert air/Poulie : Surface de transfert **3 559,52 mm<sup>2</sup>**
- . Coefficient de transfert air/Poulie : **0,107.10<sup>-6</sup> W/(m<sup>2</sup>.K)**
- . Transfert air/Roulement : Surface de transfert **1 400,41 mm<sup>2</sup>**
- . Coefficient de transfert air/Roulement : **3,29.10<sup>-3</sup> W/(m<sup>2</sup>.K)**

**Paramètres matériaux :**

- . Masse de la courroie de **14,15 g**
- . Masse de la Poulie de **8,49 g**
- . Masse de la Roulement de **13 g**
- . Chaleur spécifique courroie de **2,8.10<sup>-3</sup> J/kg/K**
- . Chaleur spécifique Poulie de **12,1.10<sup>-3</sup> J/kg/K**
- . Chaleur spécifique Roulement de **60,3.10<sup>-3</sup> J/kg/K**

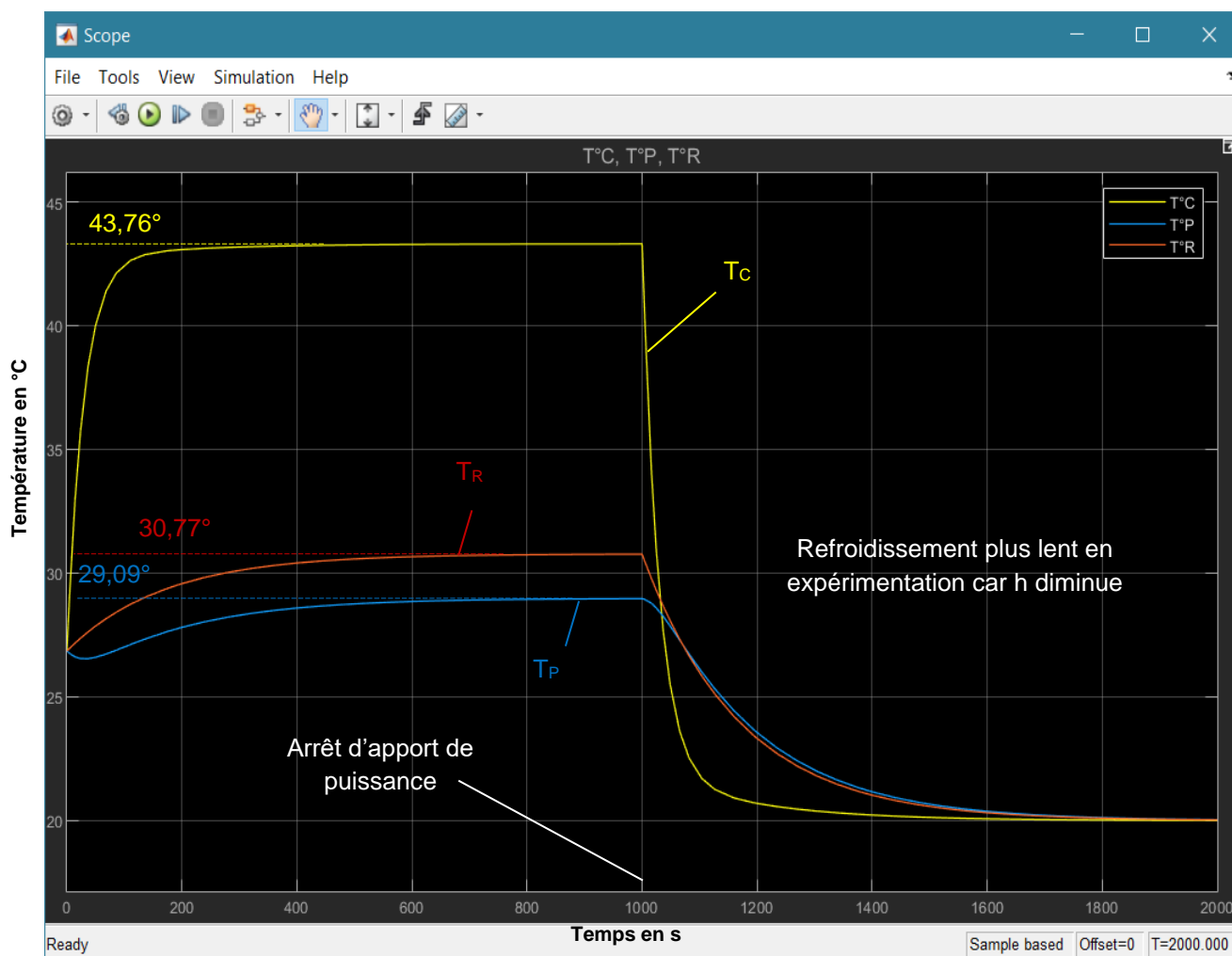
**Paramètres géométriques :**

- . Surface contact Poulie/Courroie : Surface de **6 mm<sup>2</sup>**
- . Épaisseur Poulie/Courroie : **0,1 m**
- . Surface contact Roulement/Poulie : Surface de **322,33 mm<sup>2</sup>**
- . Épaisseur Roulement/Poulie : **0,1 m**
- . Conductivité thermique Poulie/Courroie : **3,6.10<sup>-3</sup> W/(m<sup>2</sup>.K)**
- . Conductivité thermique Roulement/Poulie : **57.10<sup>-6</sup> W/(m<sup>2</sup>.K)**

**Question 17** : Quels sont les paramètres qui peuvent influencer les variations de pertes énergétiques. Préciser votre réponse.

- . Paramètres de convection : Surface de transfert (plus la surface est grande plus le transfert de chaleur sera rapide).
- . Paramètres des matériaux : Plus la pièce est volumineuse, plus le transfert de chaleur sera lent.
- . Paramètre géométrique : Plus la surface de contact est grande, plus la température augmente (liée aux frottements).

**Question 18** : Récupérer les valeurs de températures simulées.



$T_{C_{ref}} = 43,76^\circ$

$T_{R_{ref}} = 30,77^\circ$

$T_{P_{ref}} = 29,09^\circ$

**Question 19** : Faire varier les paramètres correspondants simulés en entrée du système puis analyser la température de la courroie simulée.

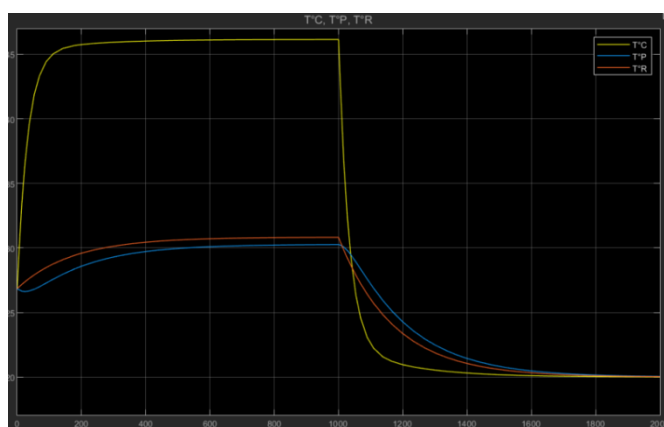
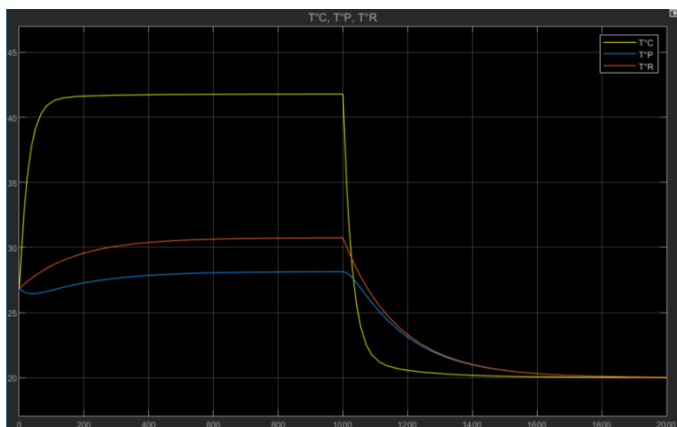
**Question 20** : Essai 1 : Variation de  $\pm 10\%$  de la surface de transfert Air/Poulie et Air/Courroie, proportionnellement.

Surface Courroie +10% = 11 951 mm<sup>2</sup>

Surface Courroie - 10% = 9 778 mm<sup>2</sup>

Surface Poulie +10% = 3 915 mm<sup>2</sup>

Surface Poulie -10% = 3 204 mm<sup>2</sup>



**TC = 41,78°    TR = 30,73°    TP = 28,14°**

**TC = 46,14°    TR = 30,81°    TP = 30,25°**

**TC<sub>ref</sub> = 43,76°**

**TR<sub>ref</sub> = 30,77°**

**TP<sub>ref</sub> = 29,09°**

La réduction de la surface de transfert, la température augmente de façon non proportionnelle et vice-versa.

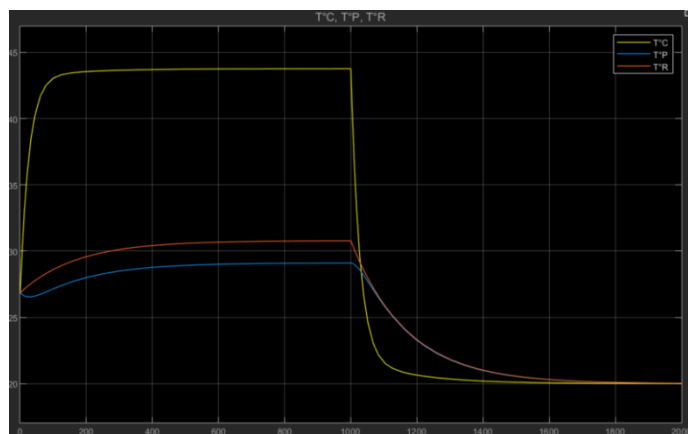
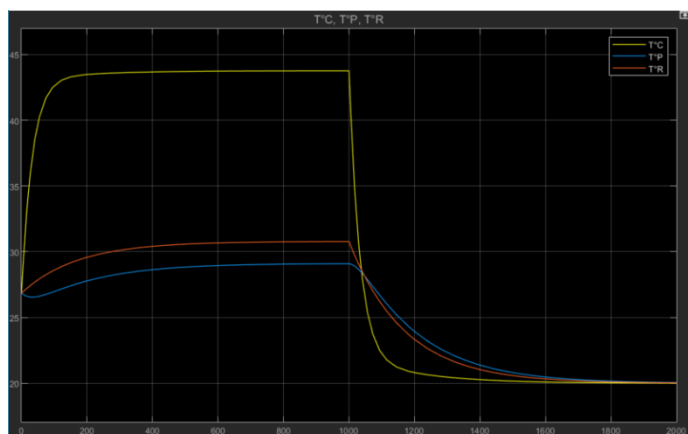
**Question 21** : Essai 2 : Variation de  $\pm 10\%$  de la masse de la poulie et courroie, proportionnellement.

Masse Courroie +10% = 15,565 g

Masse Courroie - 10% = 12,735 g

Masse Poulie +10% = 9,339 g

Masse Poulie -10% = 7,641 g



**TC = 43,76°    TR = 30,77°    TP = 29,08°**

**TC = 43,76°    TR = 30,77°    TP = 29,09°**

**TC<sub>ref</sub> = 43,76°**

**TR<sub>ref</sub> = 30,77°**

**TP<sub>ref</sub> = 29,09°**

La variation de masse sur des objets de faible masse ne permet pas d'observer de changements sur les températures.



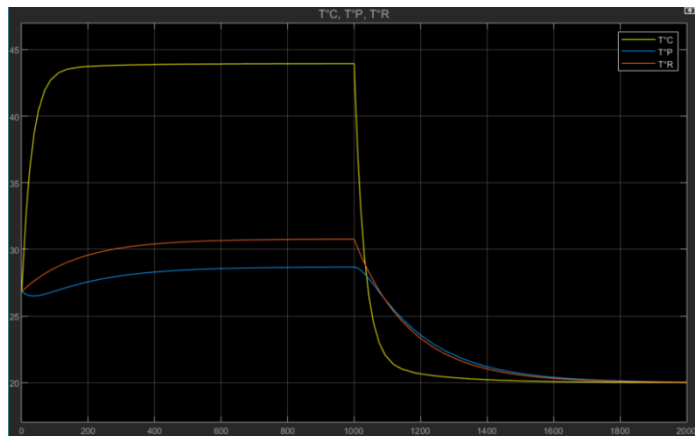
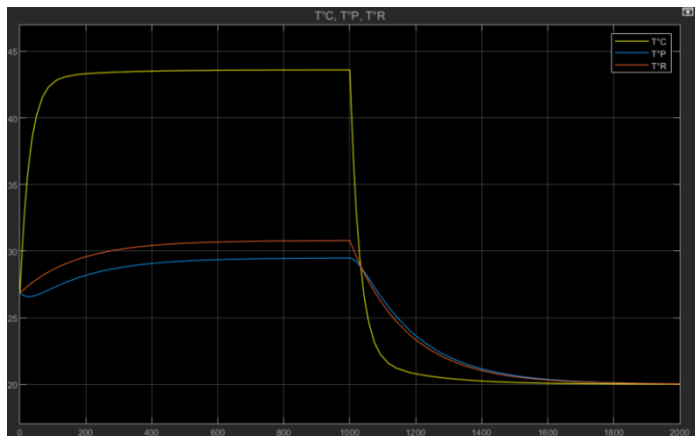
**Question 22 : Essai 3 : Variation de  $\pm 10\%$  des 2 surfaces de contact Poulie/Courroie et Roulement/Poulie.**

Surface de contact Poulie/Courroie +10% = 6,6 mm<sup>2</sup>

Surface de contact Poulie/Courroie - 10% = 5,4 mm<sup>2</sup>

Surface de contact Poulie/Roulement +10% = 355 mm<sup>2</sup>

Surface Poulie/Roulement -10% = 290 mm<sup>2</sup>



**TC = 43,59°    TR = 30,78°**

**TP = 29,47°**

**TC = 43,94°    TR = 30,76°    TP = 28,66°**

**TC<sub>ref</sub> = 43,76°**

**TR<sub>ref</sub> = 30,77°**

**TP<sub>ref</sub> = 29,09°**

La variation de la surface de contact a très peu d'impact sur les pertes par effet joule.

**Question 23 : Justifier qualitativement le résultat obtenu avec un mix optimisé de vos observations.**

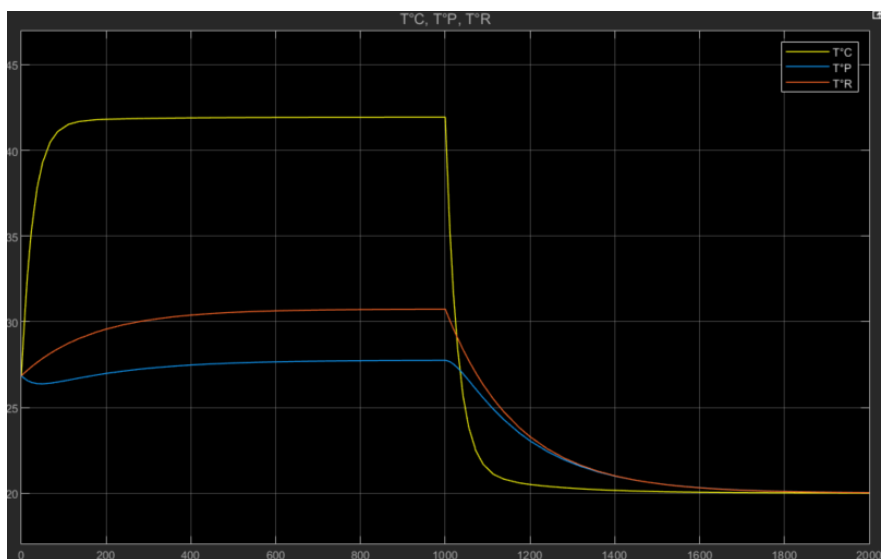
Nous choisissons de réduire la surface de contact et d'augmenter la surface de transfert pour obtenir de meilleurs résultats.

Surface Courroie - 10% = 11 951 mm<sup>2</sup>

Surface Poulie -10% = 3 915 mm<sup>2</sup>

Surface de contact Poulie/Courroie +10% = 5,4 mm<sup>2</sup>

Surface de contact Poulie/Roulement +10% = 290 mm<sup>2</sup>



**TC = 41,94°    TR = 30,73°    TP = 27,74°**

**TC<sub>ref</sub> = 43,76°**

**TR<sub>ref</sub> = 30,77°**

**TP<sub>ref</sub> = 29,09°**

**Question 24** : En se basant sur les résultats expérimentaux et par simulation, **conclure** sur les évolutions possibles afin de respecter au mieux le cahier des charges.

Nous avons pu observer que le positionnement des poulies de renvoie peut améliorer la situation lors du passage de la courroie et les pertes par effet joule engendrées. Nous avons par ailleurs observé par simulation que lorsque l'on réduit la surface de contact et que l'on augmente la surface de transfert, nous pouvons également réduire ces pertes.

Nous pouvons alors répondre au cahier des charges et ainsi maximiser la puissance transmise en minimisant les pertes énergétiques et maximiser le couple transmissible.