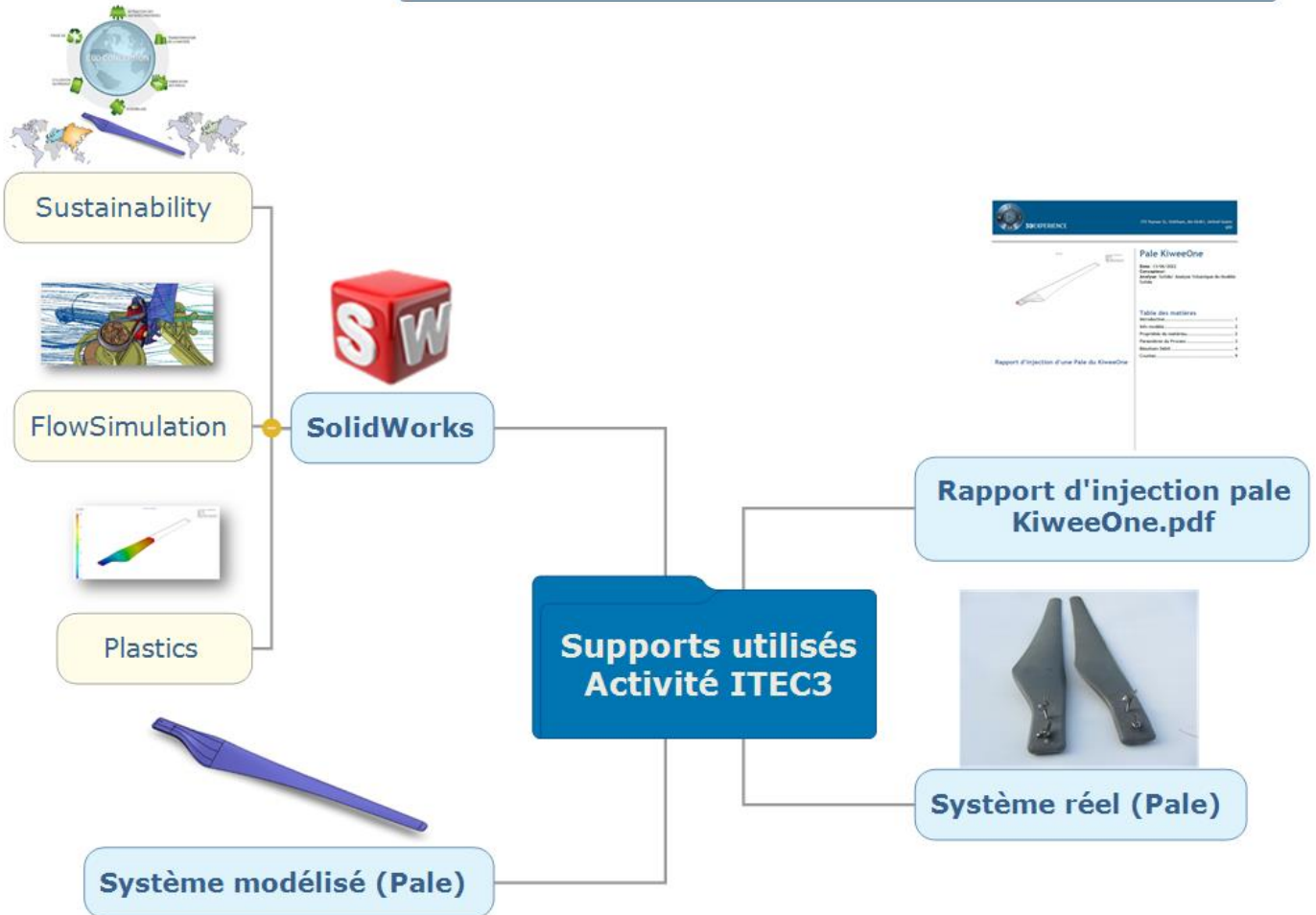


## DOSSIER PEDAGOGIQUE

### Activité ITEC3 - Process de fabrication des Pales (Eléments de correction)

Problématique : Justifier le choix de la mise en œuvre optimisée de la fabrication des pales.



<b>Activité ITEC3 - Process de fabrication des Pales</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 (modeleur 3D), il faut permettre de modéliser la mise en œuvre de la fabrication.		
<b>Problématique :</b>  Justifier le choix de la mise en œuvre optimisée de la fabrication des pales.		
<b>Résumé des activités :</b>  1 <sup>ère</sup> Partie : Analyse du système réel, forme de la pièce à fabriquer et contraintes environnementales  2 <sup>ème</sup> Partie : Justification du choix de la mise en œuvre de fabrication  3 <sup>ème</sup> Partie : Simulation de la fabrication, mise en œuvre pratique et simulation du prototype soumis au vent.		
<b>Matériel Nécessaire :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Système réel actuel KiweeOne</li><li>• Système modélisé actuel KiweeOne</li><li>• Poste informatique</li><li>• Document technique du KiweeOne</li></ul>	<b>Environnement logiciel :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Module de simulation 3D afin de mettre en place la fabrication par moulage et le prototypage en impression 3D</li><li>• SolidWorks Sustainability</li><li>• SolidWorks FlowSimulation</li><li>• SolidWorks Plastics</li></ul>	
<b>Connaissances associées :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• CO1.1. Justifier les choix des structures matérielles et/ou logicielles d'un produit, identifier les flux mis en œuvre dans une approche de développement durable</li><li>• CO1.2. Justifier le choix d'une solution selon des contraintes d'ergonomie et de design</li><li>• CO1.3. Justifier les solutions constructives d'un produit au regard des performances environnementales et estimer leur impact sur l'efficacité globale</li><li>• CO4.1. Décrire une idée, un principe, une solution, un projet en utilisant des outils de représentation adaptés</li><li>• CO6.2. Identifier et régler des variables et des paramètres internes et externes utiles à une simulation mobilisant une modélisation multiphysique</li><li>• CO7.1. Réaliser et valider un prototype ou une maquette obtenue en réponse à tout ou partie du cahier des charges initial.</li></ul>	<b>Compétences développées :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>1.1.3. Approche design et architecturale des produits</b></li><li>• <b>1.5.2. Mise à disposition des ressources</b></li><li>• <b>1.5.3. Utilisation raisonnée des ressources</b></li><li>• <b>3.1. Modélisation et simulation</b></li><li>• <b>4.1.1. Représentation numérique des produits</b></li><li>• <b>4.2.2. Choix des matériaux</b></li><li>• <b>4.3.4 Conception numérique d'une pièce</b></li><li>• <b>6.1. Moyen de prototypage rapide</b></li><li>• <b>6.2. Expérimentations et essais</b></li></ul>	

## 1<sup>ère</sup> Partie : Analyse du système réel, forme de la pièce à fabriquer et contraintes environnementales

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.

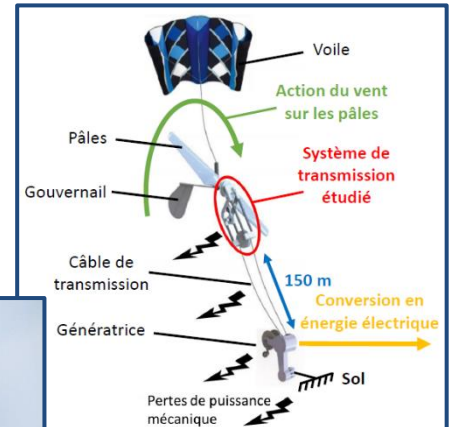
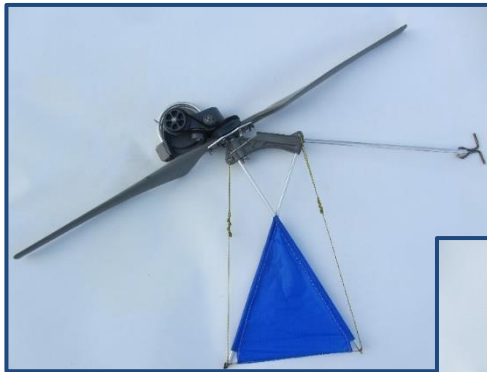


Figure 2 : Fonctionnement du KiweeOne

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, nous nous intéressons à la transmission de puissance et aux rendements associés. 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).

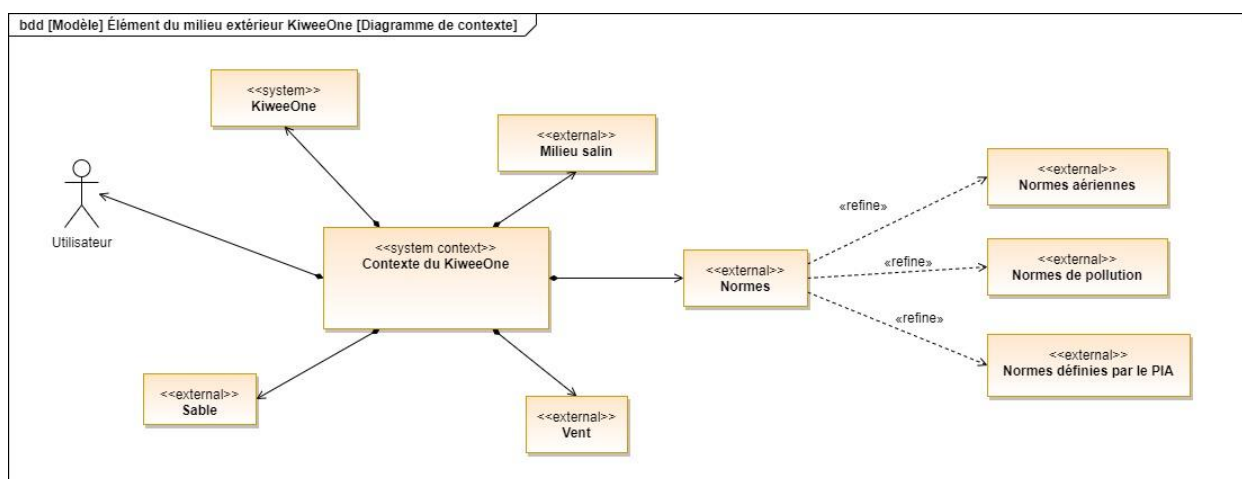


Figure 3 : Diagramme de contexte

**1.2. Choix du matériau de la pale du KiweeOne**

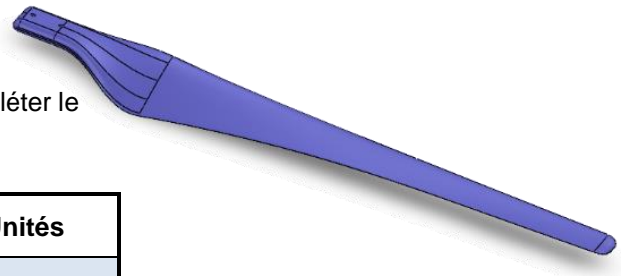
À partir du répertoire « **Kiwee Motrice BE V5** », ouvrir l'assemblage « **Kiwee Motrice BE V5.SLDASM** » et extraire une des pales du KiweeOne « **1\_Pale KiweeOne.sldprt** ».



**Question 1** : Identifier le matériau utilisé pour la fabrication de la pale KiweeOne.

Le matériau utilisé est le PUR (**POLYURETHANE**)

**Question 2** : Extraire les caractéristiques de ce matériau et compléter le tableau ci-dessous :



Propriétés	Valeur	Unités
Module d'élasticité	<b>2,4 . 10<sup>9</sup></b>	<b>N.m<sup>-2</sup></b>
Coefficient de Poisson	<b>0,3897</b>	<b>S.O.</b>
Module de cisaillement	<b>862,2 10<sup>6</sup></b>	<b>N.m<sup>-2</sup></b>
Masse volumique	<b>1 260</b>	<b>kg.m<sup>-3</sup></b>
Limite de traction	<b>40 . 10<sup>6</sup></b>	<b>N.m<sup>-2</sup></b>
Conductivité thermique	<b>0,2618</b>	<b>W.(m.K)<sup>-1</sup></b>
Chaleur spécifique	<b>1 900</b>	<b>J.(kg.K)<sup>-1</sup></b>

**Question 3** : Quel sont les avantages de ce matériau ?

Le polyuréthane (PUR) est un matériau idéal pour toutes les applications. Très peu de plastiques combinent aussi bien esthétique, ergonomie et fonctionnalités.

- . Rentabilité
- . Liberté de design
- . Pas de déformations
- . Bonne rigidité
- . Faible poids
- . Résistance aux chocs
- . Isolation phonique
- . Recyclabilité
- . Bonne résistance aux produits chimiques

À partir de l'onglet « Evaluer », lancer « Sustainability ». Dans cette partie, nous choisissons un matériau similaire d'un point de vue caractéristiques pour notre analyse d'impact environnemental.



Rechercher un matériau similaire									
Matériaux	Classe de matéri...	Module d'élast... N/m <sup>2</sup>	Coefficient de ... S.O.	Module de cis... N/m <sup>2</sup>	Masse volumiq... kg/m <sup>3</sup>	Conductivité th... W/(m.K)	Chaleur spéciqi... J/(kg.K)	Limite de tra... N/m <sup>2</sup>	
<input checked="" type="checkbox"/> PUR	Plastiques	2.41e+09	2.41e+09	8.622e+08	1260	0.2618	1900	4e+07	
<input type="checkbox"/> ABS	Plastiques	2e+09	0.394	3.189e+08	1020	0.2256	1386	3e+07	
<input checked="" type="checkbox"/> ABS PC	Plastiques	2.41e+09	0.3897	8.622e+08	1070	0.2618	1900	4e+07	
<input type="checkbox"/> Acrylique (impact moye...	Plastiques	3e+09	0.35	8.9e+08	1200	0.21	1500	7.3e+07	
<input type="checkbox"/> CA	Plastiques	2.41e+09	0.3897	8.622e+08	1310	0.2618	1900	4e+07	
<input type="checkbox"/> Delrin 2700 NC010, cop...	Plastiques	2.9e+09	0.3		1410			4.07e+07	
<input type="checkbox"/> Epoxy, renforcé	Plastiques	2.415e+09	0.35		1100	0.188		2.8e+07	
<input type="checkbox"/> EPDM	Plastiques				900			2.4e+07	
<input type="checkbox"/> Résine mélamine	Plastiques	7.59e+08			1470	0.272		3.5e+07	

**Question 4** : Identifier la principale caractéristique qui diffère entre les 2 matériaux (PUR et ABS PC)

La principale caractéristique qui diffère est le coefficient de Poisson



**Question 5** : Expliquer en quoi cette différence n'influe pas sur notre analyse.

Le coefficient de Poisson permet de caractériser la contraction de la matière perpendiculairement à la direction d'un effort appliqué sur la pièce. Cette caractérisation n'intervient pas dans notre analyse d'impact environnementale.

Dans un premier temps l'analyse repose sur une fabrication en Asie et une utilisation en Europe. Le document de synthèse est proposé : « **Sustainability Pale KiweeOne Asie-Europe.pdf** »

Dans un deuxième temps l'analyse repose sur une fabrication en Europe et une utilisation en Europe. Le document de synthèse est proposé : « **Sustainability Pale KiweeOne Europe-Europe.pdf** »

**Question 6** : Proposer une analyse comparative de ces 2 documents, conclure :

Impact sur l'environnement		 Fabrication Europe Utilisation Europe	 Fabrication Asie Utilisation Europe	Écart
Empreinte carbone kg CO <sub>2e</sub>	Matériau	2,3	2,3	0,00%
	Fabrication	11	5,7	-92,98%
	Transport	0,015	0,036	58,33%
	Fin de vie	0,265	0,265	0,00%
Énergie totale consommée MJ	Matériau	47	47	0,00%
	Fabrication	110	110	0,00%
	Transport	0,192	0,532	63,91%
	Fin de vie	0,197	0,197	0,00%
Acidification de l'air kg SO <sub>2e</sub>	Matériau	0,0075	0,0075	0,00%
	Fabrication	0,159	0,038	-318,42%
	Transport	5,1E-4	7,4E-4	31,08%
	Fin de vie	1,5E-4	1,5E-4	0,00%
Eutrophisation de l'eau kg PO <sub>4e</sub>	Matériau	7,5E-4	7,5E-4	0,00%
	Fabrication	6,2E-3	1,4E-3	-342,86%
	Transport	4,8E-5	3,8E-5	-26,32%
	Fin de vie	2,7E-4	2,7E-4	0,00%

L'écart entre ces de modèle est en moyenne de - 39%, la fabrication ayant le plus d'impact. Il est donc préférable de fabriquer et d'utiliser ce produit en Europe.



## 2ème Partie : Justification du choix de la mise en œuvre de fabrication

**Question 7** : Parmi les 3 exemples proposés comme procédés de fabrication en prototypage rapide pour les pales, préciser les avantages et inconvénients (un tableau comparatif est proposé ci-dessous) :

	DÉPÔT DE FIL FONDU (FDM)	FRITTAGE SÉLECTIF PAR LASER (SLS)	COULÉE par GRAVITÉ	OUTILS CNC
Résolution	★★☆☆☆	★★★★☆		★★★★★
Précision	★★★★☆	★★★★★	★★★★☆	★★★★★
Finition de surface	★★☆☆☆	★★★★☆	★★★★☆	★★★★★
Facilité d'utilisation	★★★★★	★★★★☆	★★★★☆	★★★☆☆
Modèles complexes	★★★☆☆	★★★★★	★★★★☆	★★★☆☆
Volume d'impression	Jusqu'à 300 x 300 x 600 mm	Jusqu'à 165 x 165 x 300 mm		Dépend de l'outil utilisé
Matériaux	Thermoplastiques standard, tels que l'ABS, le PLA et leurs variantes.	Thermoplastiques techniques, comme le nylon et ses composites.	Résines comme Epoxy, PUR, EP Thermodurcissables Matériaux composites	Plastiques, métaux mous, métaux durs (machines industrielles), bois, acrylique, pierre, verre, composites.
Applications	Modèles de démonstration de faisabilité simples, prototypage peu coûteux de pièces simples.	Géométries complexes, prototypes fonctionnels et prototypes d'ingénierie.	La coulée sous vide permet la fabrication de pièces rondes et donne une flexibilité par rapport au choix des matériaux.	Conceptions simples, pièces structurales, composants métalliques.
Gamme de prix	Les imprimantes et les kits d'impression 3D entrée de gamme commencent à quelques centaines d'euros. Les imprimantes de bureau milieu de gamme de meilleure qualité commencent autour de 2000 €, et les systèmes industriels sont disponibles à partir de 15 000 €.	Les systèmes industriels d'atelier commencent à 15 000 €, et les imprimantes industrielles traditionnelles sont disponibles à partir de 100 000 €.	Pour les moules de petites pièces autour de 100 € 5 000 € pour des moules en aluminium Jusqu'à 100 000 € pour des pièces de grande dimension et grande série	Les petites machines CNC commencent autour de 2000 €, mais les outils professionnels vont bien au-delà. Les graveurs de base sont disponibles pour moins de 500 €, tandis que les découpeuses laser milieu de gamme commencent autour de 3500 €. Les découpeuses à jet d'eau commencent autour de 20 000 €.

### . Enlèvement de matière par usinage - procédés de fabrication soustractive

Les procédés de fabrication soustractive sont généralement utilisés pour créer des pièces en plastique ou en métal à des fins de prototypage.

Elles sont idéales pour les applications qui nécessitent des tolérances étroites et des géométries difficiles à mouler, à couler ou à produire avec d'autres méthodes de fabrication traditionnelles.

Les déchets sont nombreux lors de la fabrication mais recyclables, Le coût de production est élevé s'il n'est pas produit en grande quantité.



**. Le frittage sélectif par laser**

C'est la technologie de fabrication additive la plus courante pour les applications industrielles. Les ingénieurs et les fabricants de différents secteurs lui font confiance pour sa capacité à produire des pièces solides et fonctionnelles.

De haute qualité d'impression 3D, elle permet de réduire les déchets. De plus, elle augmente la durabilité des objets. Seulement, La surface des pièces est poreuse et la finition de surface peut être grossière et les pièces peuvent se déformer de façon significative.

**. Prototypage rapide imprimante 3D**

Le prototypage rapide permet de transformer rapidement et sans risque vos idées initiales en conceptions ayant l'apparence de véritables produits. Il permet aux concepteurs d'aller au-delà de la visualisation virtuelle, de mieux saisir l'aspect et la sensation d'une conception, et de les comparer en les mettant côte à côte.

Les pièces réalisées sont cependant plus fragiles que pour les autres procédés.

**. Coulée par gravité**

La coulée par gravité et par basculement permet de produire des coulées denses de haute qualité dont les attributs mécaniques, comme la résistance et la rigidité, sont excellents.

L'investissement requis pour la production de petits et de moyens volumes est réduit. Les pièces présentent des propriétés mécaniques excellentes.

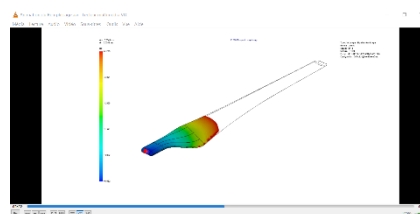
**3ème Partie : Simulation de la fabrication, mise en œuvre pratique du prototypage et Simulation du prototype soumis au vent.**

Dassault Systemes Injection Molding Simulation permet de simuler l'injection de matière lors la fabrication d'un objet. À partir de l'onglet : « SolidWorks Plastics » l'étude de simulation a été réalisée. Le fabricant nous donne un temps de fabrication d'une pale estimée à 5 minutes.

L'analyse de l'écoulement lors de l'injection de la matière est proposée sur le document proposé

**« Rapport d'injection pale KiweeOne.pdf »**

Une vidéo de l'écoulement lors de l'injection est proposée

**« Animation du Remplissage.avi »**

**Question 8 : Relever** sur les éléments proposés le temps de remplissage du moule et le temps de refroidissement simulé.

**Le temps total d'injection est de 9,95 s et le refroidissement de 208,95 s soit 3 min et 28 s.**

**Question 9 : Que peut-on dire** de ce résultat de simulation avec les données du fabricant.

**Le temps estimé par le fabricant est supérieur au temps simulé. Il prend en compte la fermeture du moule, l'extraction après refroidissement ainsi que la préparation de la matière pour l'injection.**

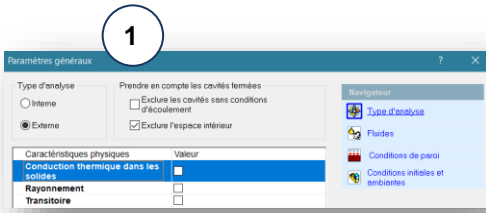
Dans cette partie de l'analyse nous souhaitons voir l'influence du vent sur la motrice et observer si la conception de la tête ne perturbe pas la récupération de l'énergie cinétique du vent par les pales. Pour cela nous allons réaliser une simulation à l'aide de FlowSimulation de SolidWorks.

Pour cela nous utiliserons les données suivantes à paramétrer :

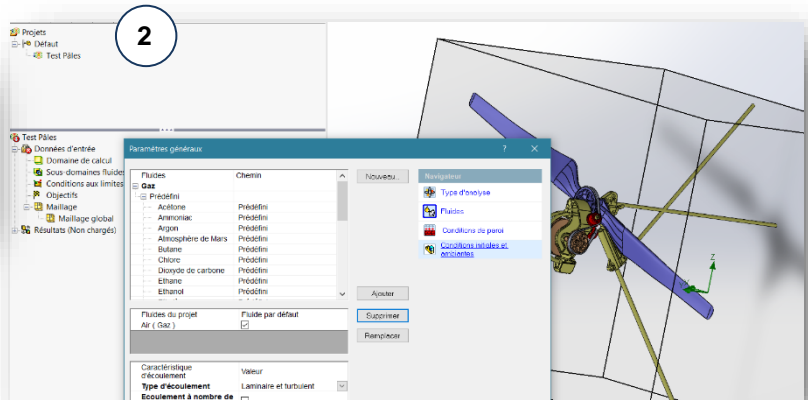
- . Type d'analyse : Externe
- . Type de fluide : gaz (air)
- . Vitesse du vent :  $10\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- . Surface prise en compte : surface des pales et de la tête face au vent (porté par l'axe Y)



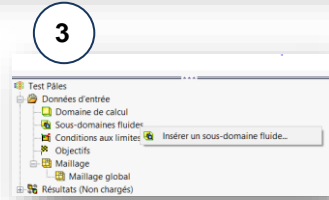
Quelques saisies d'écran vous permettront sans doute d'y trouver les différents paramètres à saisir lors de cette simulation. Pour commencer, il faut ajouter le complément FlowSimulation à SolidWorks.



1



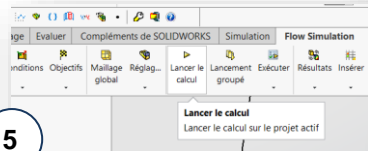
2



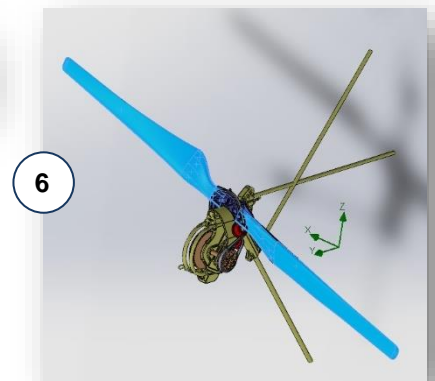
3



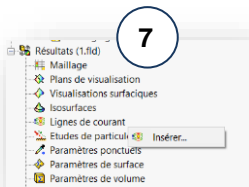
4



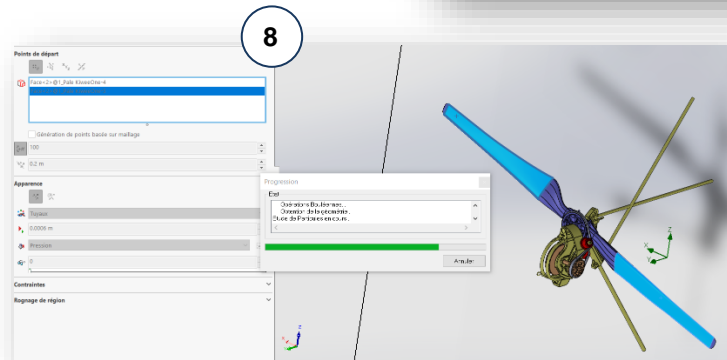
5



6

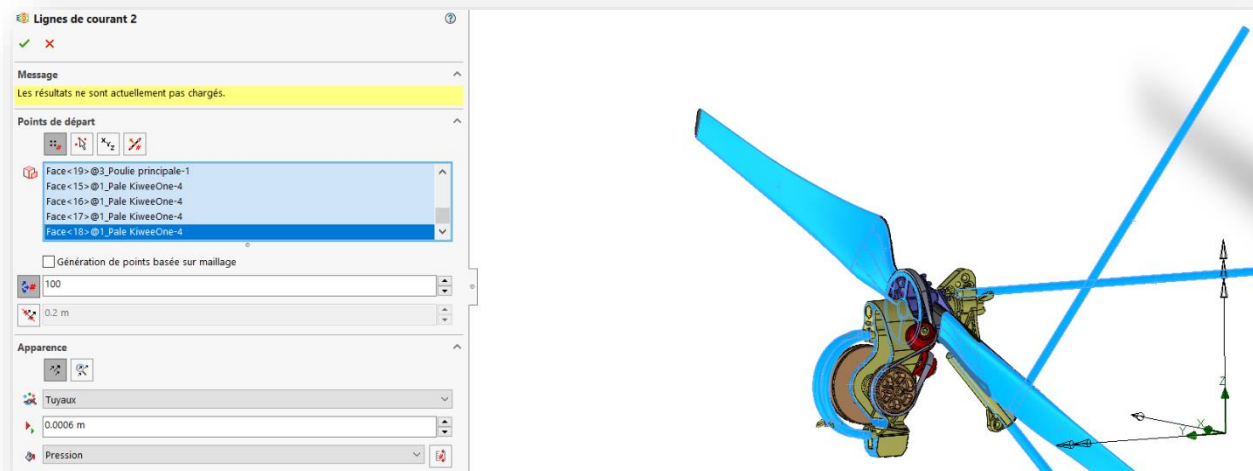


7

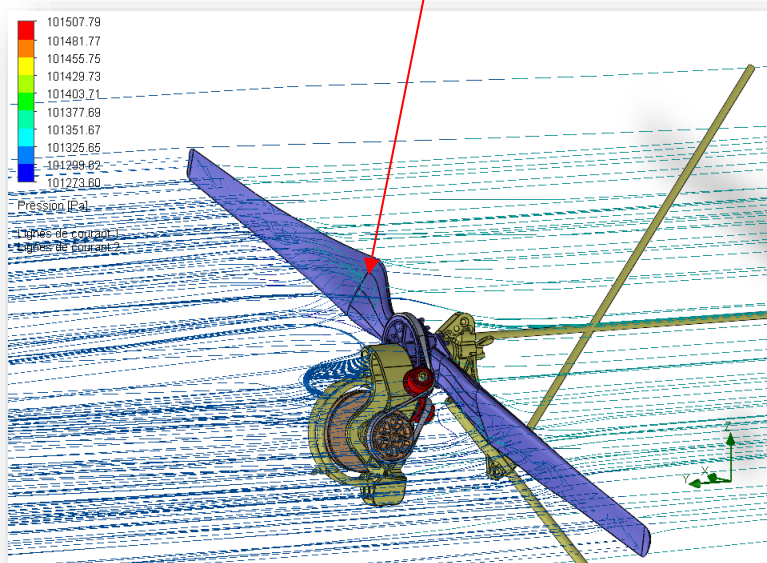


8

**Question 10** : Une fois le calcul lancé, **Relever** le comportement de notre ensemble en consultant les résultats de la simulation. **Conclure** quant à la problématique citée en début de partie.



Le vent arrive sur notre ensemble et s'y diffuse sur la tête sans trop perturber la récupération du vent.



En analysant plus particulièrement le vent dans la pale, nous remarquons qu'une dépression se creuse en bas de cette dernière, provoquant sa rotation.

