

1. MISE EN CONTEXTE

La marque Volkswagen a inauguré en 2017 son nouveau centre de test à Wolfsburg : « Wind Tunnel Efficiency Center ». Cette soufflerie qui a coûté 100 millions d'euros, permet de simuler des vents allant jusqu'à 250 km/h et des conditions climatiques allant de -30° à $+60^{\circ}$.

En France, à Modane (Savoie), l'ONERA (Office National d'Etudes et de Recherches Aéronautiques) possède depuis 1946, la soufflerie la plus puissante du monde : S1MA. On peut y créer des vents pouvant atteindre Mach 1. Son tunnel est long de 400 m et mesure 24 m de diamètre. Sur le même site, on trouve trois autres souffleries S2, S3 et S4 pouvant produire des vents atteignant respectivement Mach 3, Mach 6 et Mach 12.



Figure 1 - Tunnel de la soufflerie de l'ONERA

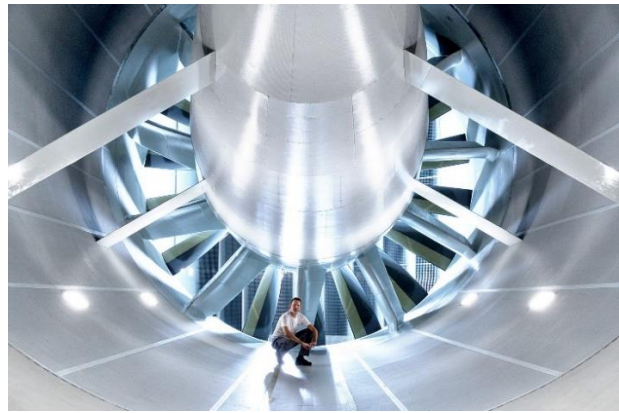


Figure 2 - Tunnel de la soufflerie de Wolfsburg

On s'intéresse ici à un ventilateur industriel de 5 m de diamètre équipant une soufflerie. Le rotor du ventilateur peut tourner à $N = 3000 \text{ tr. min}^{-1}$ et est équipé de 12 pales.

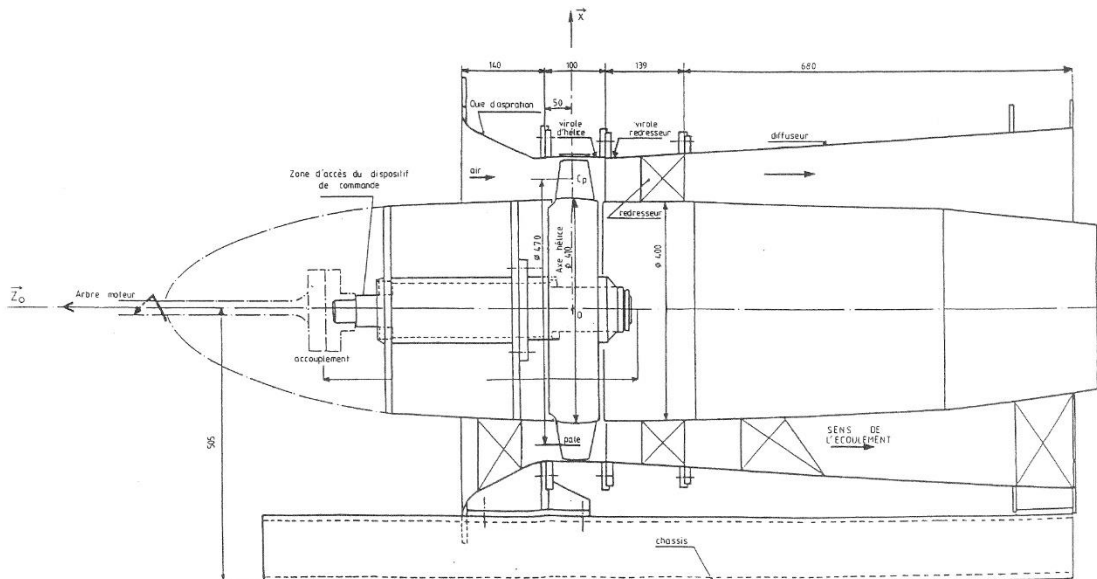
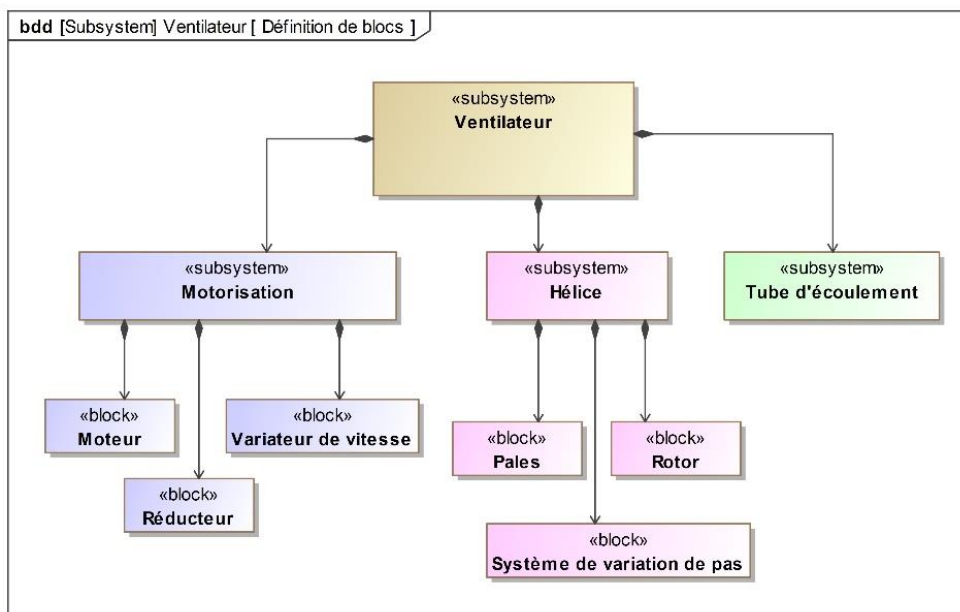
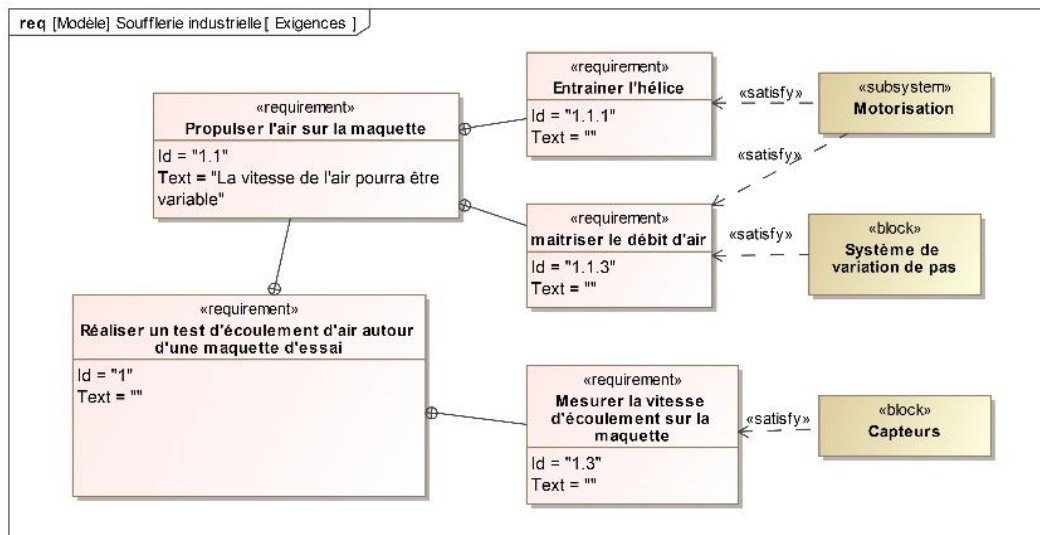
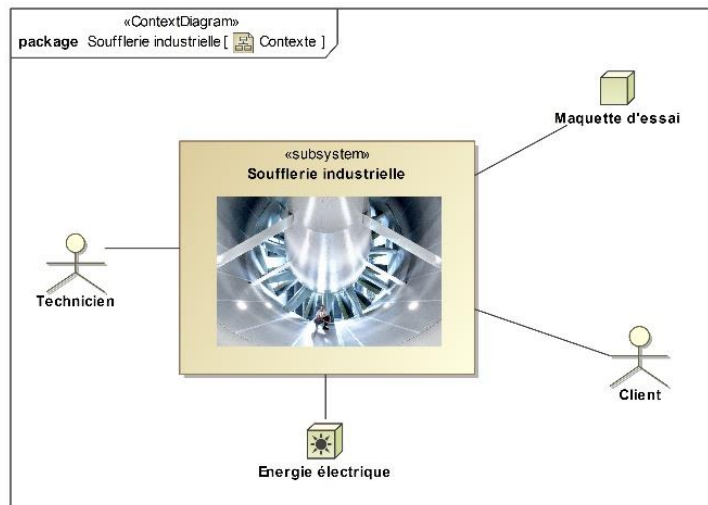


Figure 3 - Vue latérale du ventilateur industriel

On propose ci-après les diagrammes de contexte et d'exigences de la soufflerie et le diagramme de définition de blocs du ventilateur objet du sujet.



2. MODELISATION DE L'ACTION DE L'AIR SUR UNE PALE DE VENTILATEUR

Objectif : On recherche le moment créé par l'action de l'air (poussée aérodynamique) sur le rotor autour de son axe de rotation (O, \vec{z}_0) afin de choisir le moteur d'entraînement du rotor.

On considère les 3 repères suivants :

$R_0(O, \vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$ repère galiléen lié au bâti $\mathbf{0}$.

$R(O, \vec{x}, \vec{y}, \vec{z}_0)$ repère tournant lié au rotor.

$R_1(G, \vec{x}, \vec{y}_1, \vec{z}_1)$ repère lié à la pale.

1^{er} modèle : densité surfacique d'effort uniforme

Le paramétrage de la pale est donné figure 4.

La pression aérodynamique est supposée constante sur toute la surface de la pale : $p_e = 3700 \text{ Pa}$.

La pale est supposée sans épaisseur.

Dimensions utiles : $L = 65 \text{ mm}$; $l = 35 \text{ mm}$; $r = 205 \text{ mm}$

- 1.1 Déterminer l'expression de la résultante de l'action de l'air sur une pale : $\vec{R}(\text{air} \rightarrow \text{pale})$.
- 1.2 Déterminer l'expression du moment résultant en O de l'action de l'air sur une pale : $\vec{M}(O, \text{air} \rightarrow \text{pale})$.
- 1.3 Extraire la composante de $\vec{M}(O, \text{air} \rightarrow \text{pale})$ générant un moment autour de l'axe (O, \vec{z}_0) .
- 1.4 En déduire le couple du moteur nécessaire à la propulsion de l'air.

2^{ème} modèle : densité linéique d'effort variable linéairement

Le paramétrage de la pale est donné figure 5.

L'action de l'air sur la pale est modélisée par une densité linéique d'effort distribuée linéairement suivant la direction (O, \vec{z}_1) . La distribution se fait le long de la

Elle suit la loi suivante :

$$\vec{p}(x) = (p_0 + q \cdot x) \cdot \vec{z}_1 \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} p_0 &= 65 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \\ q &= 2 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

- 1.5 Expliquer pourquoi on peut se ramener à une densité linéique d'effort sur la ligne (A, \vec{x}) .
- 1.6 Déterminer l'expression de la résultante de l'action de l'air sur une pale : $\vec{R}(\text{air} \rightarrow \text{pale})$.
- 1.7 Déterminer l'expression du moment résultant en O de l'action de l'air sur une pale : $\vec{M}(O, \text{air} \rightarrow \text{pale})$.
- 1.8 Extraire la composante de $\vec{M}(O, \text{air} \rightarrow \text{pale})$ générant un moment autour de l'axe (O, \vec{z}_0) .
- 1.9 En déduire le couple du moteur nécessaire à la propulsion de l'air.
- 1.10 Comparer le résultat avec celui obtenu avec le premier modèle.
- 1.11 Déterminer l'abscisse x_p du centre de poussée C_p tel que :

$$\vec{OC}_p \wedge \vec{F}(\text{air} \rightarrow \text{pale}) = \int_{M \in S} \vec{OM} \wedge d\vec{F}(\text{air} \rightarrow \text{pale})$$

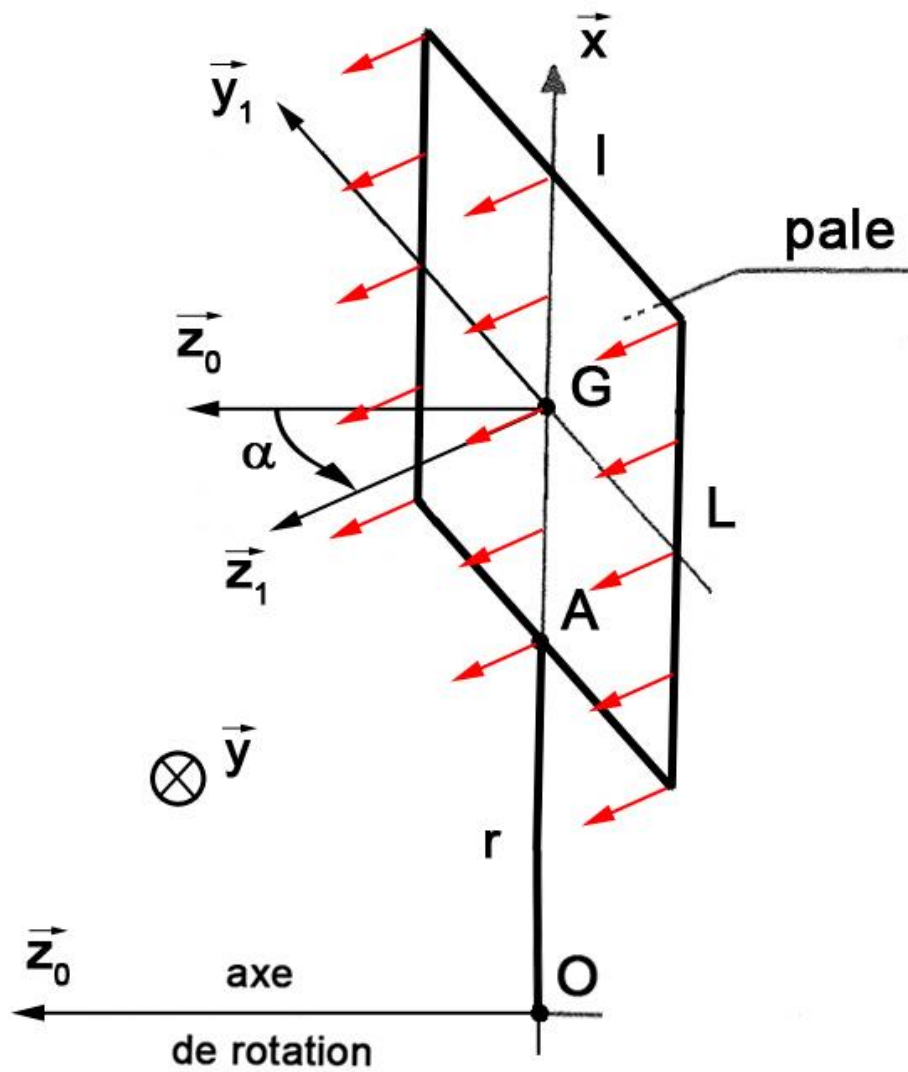


Figure 4 - Paramétrage d'une pale (1^{er} modèle)

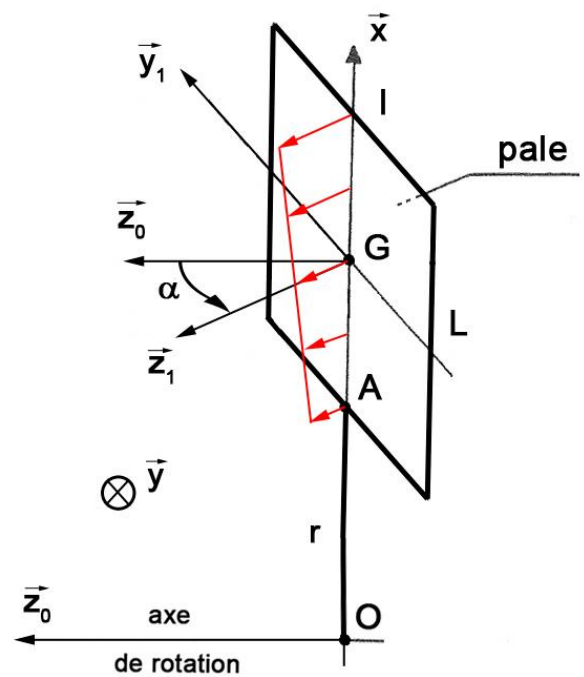
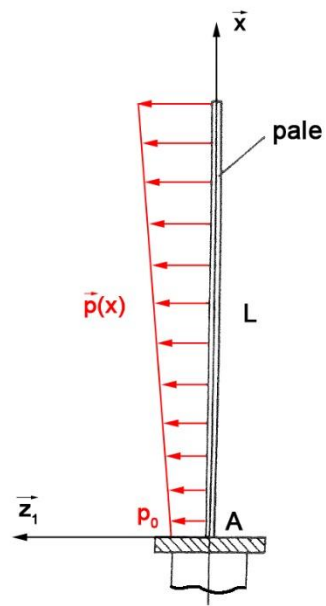
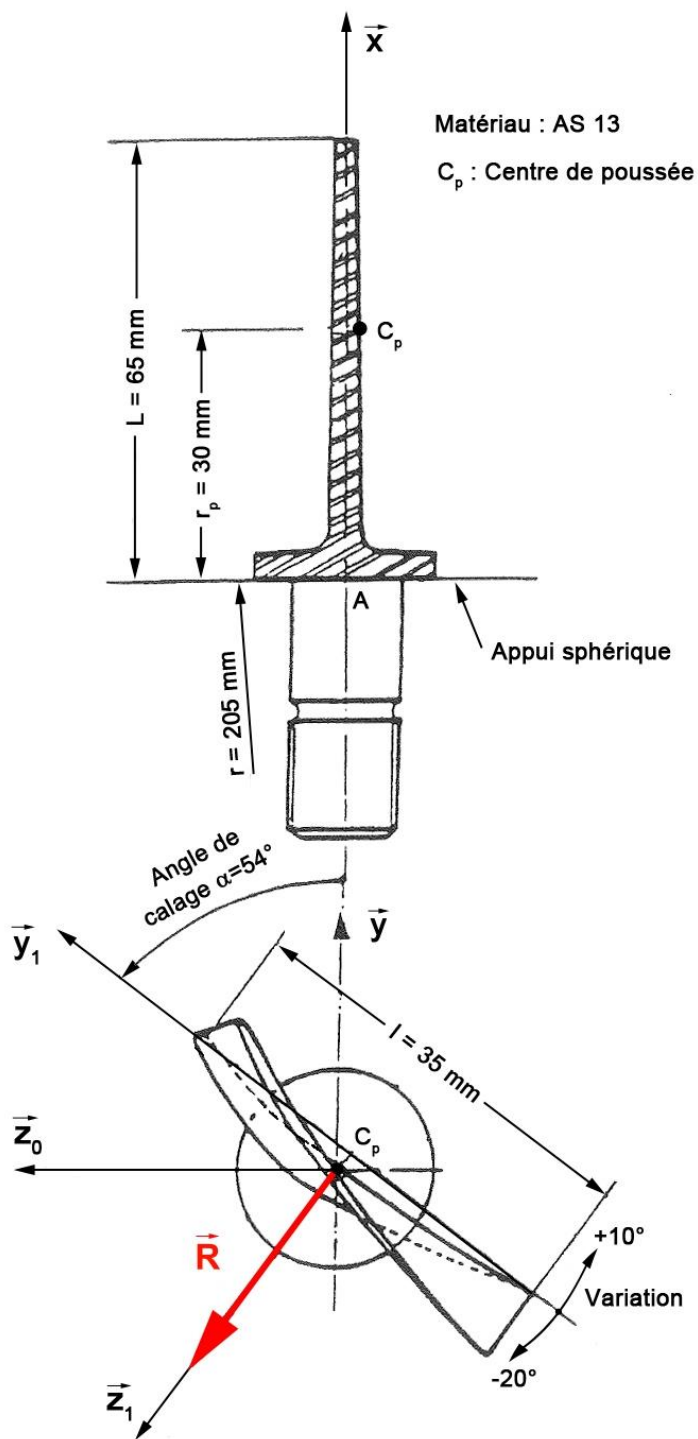


Figure 5 - Paramétrage de la pale (2^{ème} modèle)