

Du papier pour étudier l'aérodynamique

À travers la physique du vol et l'étude du matériau de sa construction, j'ai trouvé que l'avion en papier représentait un sujet d'étude très intéressant. À cela s'ajoutent les nombreuses expériences possibles et les modèles qui peuvent s'adapter facilement à la réalité du transport aérien.

Les problèmes liés aux carburants dans l'aviation poussent les industriels à rechercher de nouveaux matériaux, légers et pour lesquels les forces de traînée seront fortement diminuées. Les avions en matériau papier/carton, facilement manipulables, peuvent aider à résoudre certains de ses problèmes d'optimisation.

Positionnement thématique (phase 2)

PHYSIQUE (Mécanique), PHYSIQUE (Physique de la Matière), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (phase 2)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>aérodynamique</i>	<i>aerodynamics</i>
<i>optimisation</i>	<i>optimisation</i>
<i>avion</i>	<i>plane</i>
<i>papier</i>	<i>paper</i>
<i>traînée</i>	<i>resistance</i>

Bibliographie commentée

Un planeur est un aérodyne non motorisé à voilure fixe dont il n'est pas aisé au premier abord d'expliquer le vol. [1]

Le théorème de Bernoulli prédit qu'une augmentation de la vitesse en un point d'une ligne de courant s'accompagne d'une diminution de la pression en ce même point. Accompagné du « principe des temps de transitions égaux » il permet de comprendre comment un avion peut voler. Mais cette description populaire est sujet à controverse. [2] C'est pourquoi il est nécessaire de détailler et de rentrer dans une étude précise des mouvements des masses d'air, en particulier dans la couche limite autour de l'aile.[6] C'est la portance qui permet à l'avion de voler ; elle correspond à la force de Magnus due à la circulation de la vitesse autour de l'aile. Outre le théorème de Bernoulli, on peut aussi utiliser la méthode de la transformée de Joukowski pour l'exprimer.[3]

On peut décomposer la force aérodynamique en une composante normale au vent relatif (la portance caractérisée par le coefficient C_z) et en une composante tangentielle (la traînée, qui freine l'avion, de coefficient C_x).L'aérodynamisme a pour but de maximiser la finesse de l'aile, rapport entre C_z et C_x . [3]

Les formes d'ailes (rectangulaire, en flèche, trapézoïdale ou encore delta) et de nez (plat ou

pointu...) influencent grandement le vol car les coefficients de portance et de traînée en dépendent.[3] Or, à l'aide d'un matériau léger, comme le papier, on peut reproduire à petite échelle divers modèles d'avions pour appréhender expérimentalement ces influences[8]. Ainsi, à l'aide d'une étude statistique on peut les quantifier même si dans la réalité la forme de l'aile (profil de la ligne moyenne) est plus complexe que le modèle d'aile à 2D réalisé avec le papier.[1]

Ensuite, comme la portance dépend de l'angle d'incidence de l'avion dans l'air, il est important de s'intéresser à cet angle lors de l'expérimentation des planeurs en papier. C'est pourquoi la conception d'un lanceur avec pente variable est préconisée.[4] A l'aide d'un élastique et d'une pince métallique, on peut lancer divers avions avec des conditions initiales de vol presque identiques et ainsi assurer la reproductibilité et la fiabilité des expériences réalisées.[3]

A l'aide d'un logiciel informatique ou d'un algorithme, on peut calculer les coefficients de portance et de traînée C_x et C_z lors du vol filmé d'un de nos planeurs en papier. Cet algorithme se base sur un pointé ou une détection de contours afin de repérer la trajectoire de l'avion. On en déduit sa vitesse et son accélération qui mènent au calcul des forces mises en avant dans l'étude théorique.[3] La détection de contour peut se faire de différentes façons, que ce soit par simple seuillage, par convolution avec des filtres de gradient (Prewitt par exemple), un filtre laplacien ou encore par une autre méthode plus élaborée.[5] Ainsi, en faisant fonctionner cet algorithme sur divers avions, on peut optimiser les caractéristiques de construction de ces derniers.

Outre la forme et le lancé de l'avion, l'étude de son matériau est évidemment très importante car, dans la couche limite, les frottements de l'air dépendent de l'état de surface de la matière. En ce qui concerne le papier (classique ou journal par exemple), on peut mesurer ses propriétés à l'aide de méthodes, dites, à écoulement d'air (rugosité et lissé) ou à l'aide d'appareils de mesures spécifiques (Bekk, Bendtsen...). [7] Et toujours à l'aide d'expérience, on relie ces paramètres à la qualité de vol et ainsi on peut comprendre certains choix de construction ou de revêtement d'ailes.

Problématique retenue

Quels sont les paramètres de construction d'un avion à optimiser pour obtenir une distance de vol maximale ?

Objectifs du TIPE

- étude expérimentale et choix du modèle de l'avion
- étude et choix du matériau de construction de l'avion
- confrontation entre le modèle du planeur en papier et la théorie.

Références bibliographiques (phase 2)

- [1] TDU PUY DE GOYNE, Y PLAYS, P LEPOURRY, JACQUES BESSE : Initiation à l'aéronautique : *6e édition, Cépaduès*
- [2] D ANDERSON, S EBERHARDF : Comment volent les avions, une description physique de la portance : *traduction de Philippe Marbaise*

- [3] UNIVERSITÉ PARIS DIDEROT : Avion en papier : *www.msc.univ-paris-diderot.fr/~phyexp/pmwiki.php/Avion/AvionsEnPapier* (consulté le 10/10/2018)
- [4] UN PARTICULIER : Paper airplane launcher : *https://frugalfun4boys.com/paper-airplane-launcher/*
- [5] D LINGRAND : Introduction au traitement d'images : *édition Vuibert, 2004*
- [6] E.GUYON, JP.HULIN,L.PETIT : Hydrodynamique physique : *édition Savoirs Actuels*
- [7] JF BLOCH, I DESLOGES, C MARTIN : Travaux pratiques de physique du papier : *Ecole Grenoble INP Pagora, année 2018-2019*
- [8] B GERBER, R BAUR : Avions en papier 44 pliages à faire voler : *édition Vigot, 2016*