

TIPE : Application de la technique du vol en V des oiseaux migrateurs aux avions de ligne

Ezéchias Pira – 48906

2025-2026

Filière PSI

Thème cycles et boucles

Problématique

- Pourquoi le vol en V est-elle la meilleure configuration pour tirer parti des tourbillons marginaux ?

Plan du TIPE :

- I. Introduction
- II. Une première expérience
- III. Simulation grâce à Star CCM et quelques résultats
- IV. Analyse des intérêts économiques du dispositif de WER
- V. Ouverture

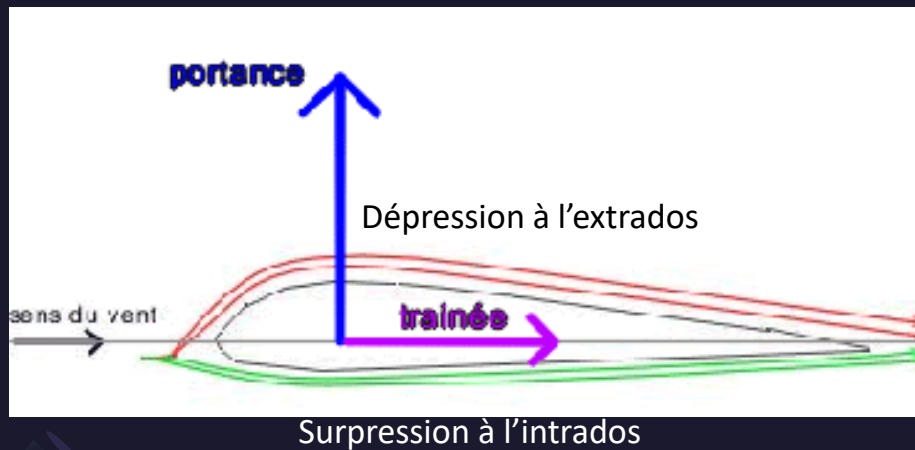
Objectifs du TIPE

- Etudier l'apport de portance dont bénéficie l'avion suiveur par rapport à une configuration à un seul avion
- Etudier l'impact de ce gain de portance sur la consommation et donc les économies potentielles permises par le dispositif
- Etudier les améliorations permises par une nouvelle forme d'aile (Architecture en fuselage intégré ou BWB)



I. Introduction : Qu'est ce que les tourbillons marginaux ?

- Structure et formation des tourbillons encore mal connue





I. Introduction : suite

- Les tourbillons marginaux sont très dissipateurs d'énergie
- Il existe donc plusieurs solutions pour résoudre le problème des tourbillons marginaux :
 - winglets : économiser du carburant en réduisant la traînée induite
 - Mais on peut choisir une autre approche : réutiliser l'énergie perdue : c'est le principe du Wake Energy Retrieval (WER) qu'utilise Airbus dans son projet appelé Fello'fly



I. Quel est le principe du WER ?

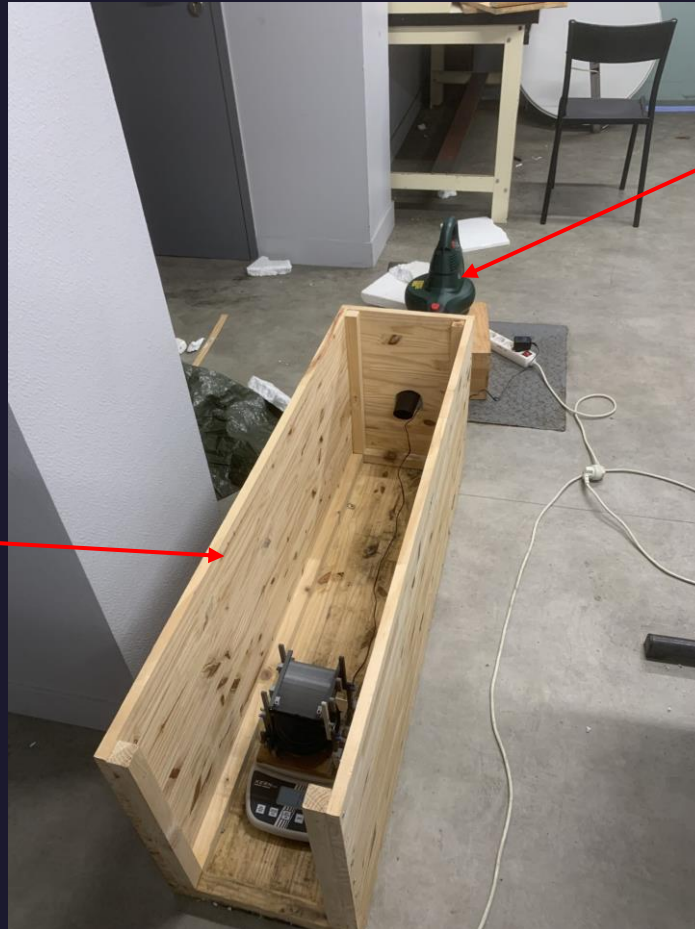
- Inspiré des oiseaux migrateurs
- Deux avions volent en paire, et l'avion suiveur vole dans le sillage de l'avion meneur afin de bénéficier d'une portance supplémentaire



II. Une première expérience

- Avec une aile

Veine d'essais



Souffleur à feuilles

Aile imprimée en 3D

Support



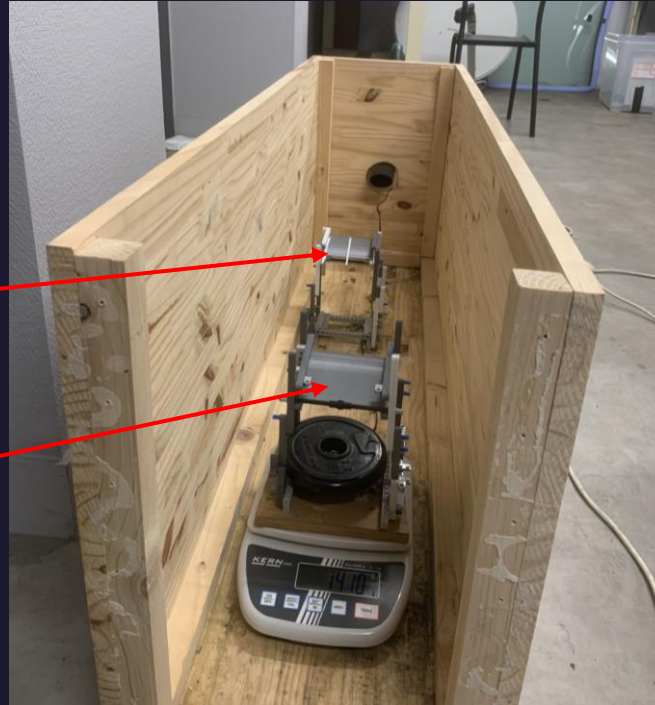
Balance de 6kg

II. Une première expérience

- Avec deux ailes

Aile meneuse

Aile suiveuse



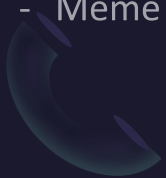
II. Une première expérience

- Paramètres :

- Vitesse : 20 m/s (mesuré à l'anémomètre avec une incertitude de 0,5m/s)
- Angle d'incidence : 5° (situation d'un vol de croisière)
- Distance entre les deux ailes : 60cm (à plus ou moins 1mm)
- Profil utilisé : NACA 2412

Protocole :

- Mesure de la masse de l'ensemble sans et avec souffleur : permet de déduire la portance
- Même série de mesures avec le dispositif à deux ailes



II. Conclusions de cette expérience

- Résultats :

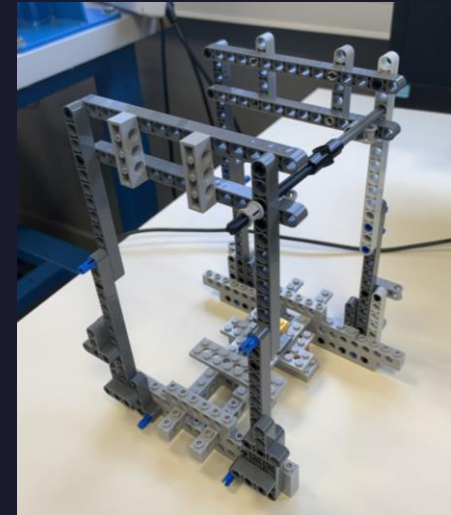
Portance mesurée avec une aile : 0,196 N (précision à plus ou moins 1g pour la mesure de masse)

Quasiment aucune variation dans la configuration à deux ailes, étonnamment on voit même une perte de portance

- Conclusion :

Expérience non concluante

Nécessité de passer à une simulation CFD sur ordinateur



III. Simulation grâce à Star CCM et quelques résultats

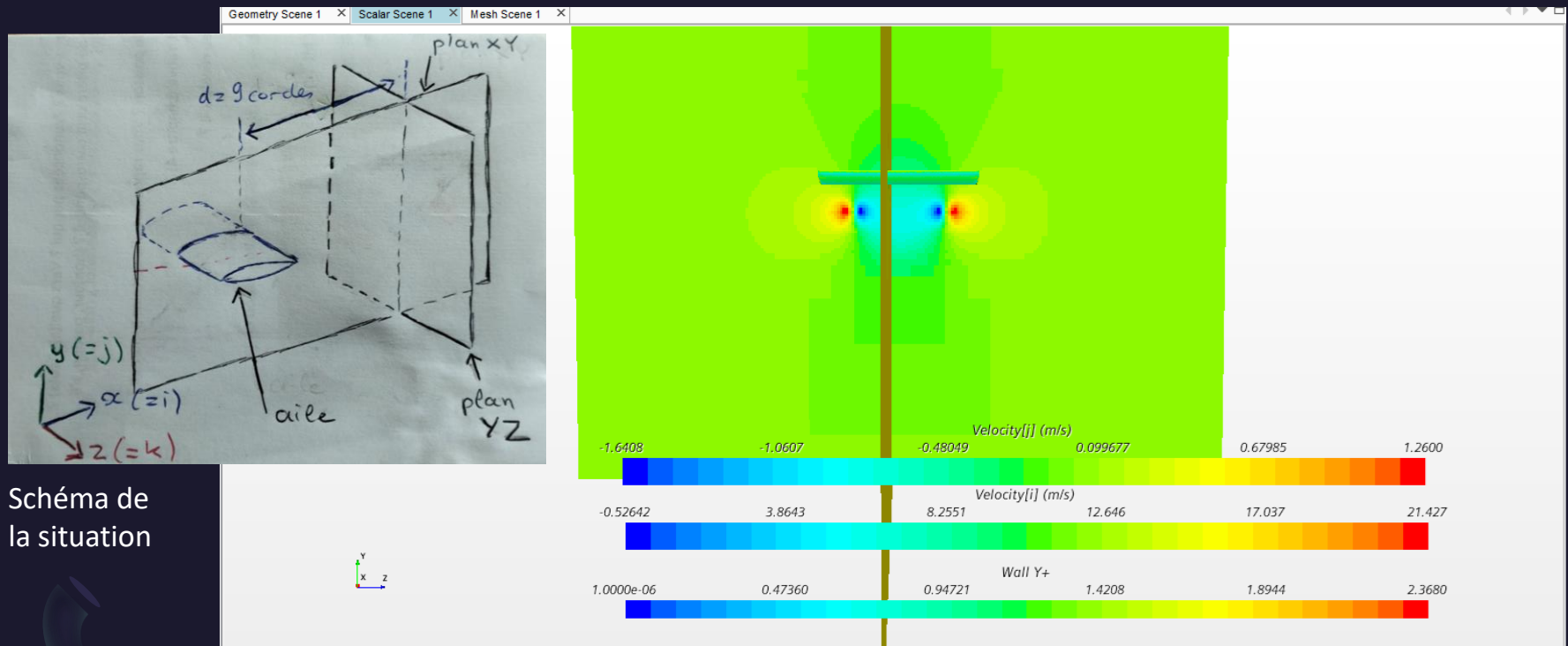
- Paramètres de la simulation :
 - Vitesse : 16 m/s
 - Angle d'incidence : 5°
 - Profil : NACA 0015, de longueur 23 cm et de corde 10 cm
 - Modèle de turbulence utilisé : Spalart-Allmaras

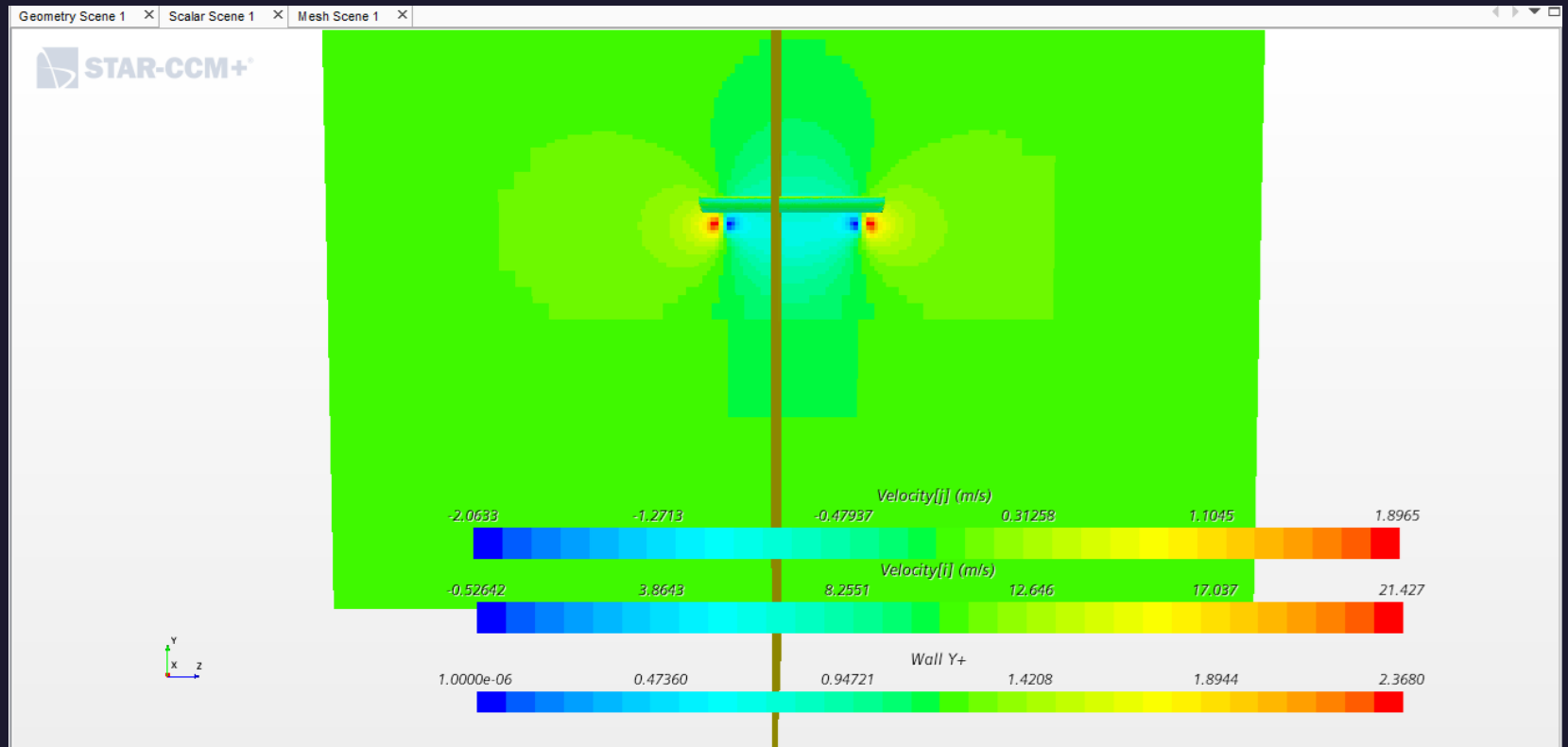
Les simulations ont été effectuées au laboratoire de mécanique des fluides Kampé de Fériet à Centrale Lille



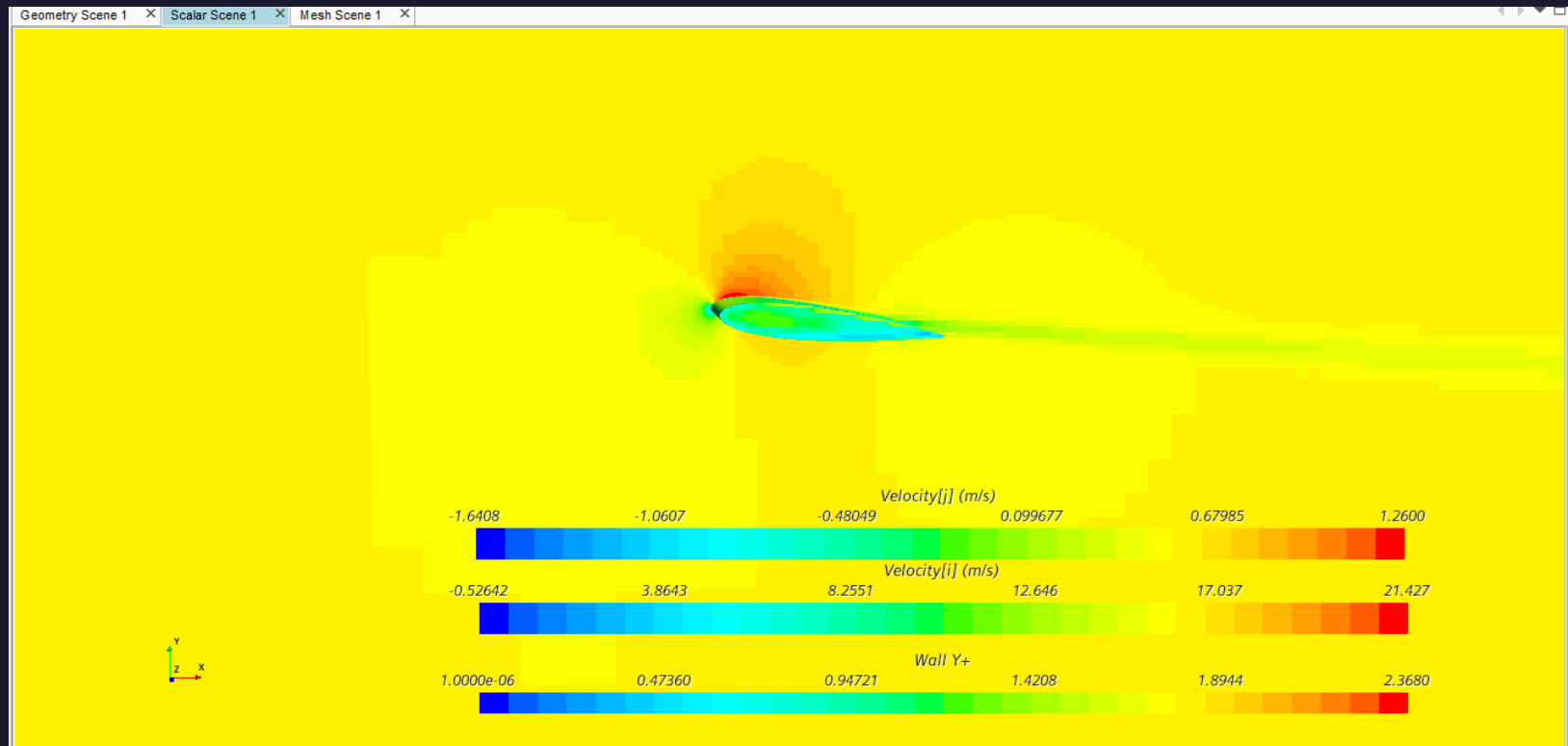
III. Simulation grâce à Star CCM et quelques résultats

Simulation 1 aile, coupe dans le plan YZ à une distance $d = 9$ cordes selon x , vitesse selon l'axe y





Même simulation mais cette fois à $D = 4$ cordes derrière l'aile



Visualisation de V_x dans le plan XY

III. Résultats obtenus avec la simulation à deux ailes

	1 aile seule	2 ailes (pour l'aile suiveuse)	Différence (%)
Portance	0,872 N	0,989 N	+ 13,4 %
Traînée	0,218 N	0,113 N	- 48 %



IV. Analyse des intérêts économiques

Quelques valeurs de consommation sans et avec WER

Avion	Moteur	Masse (kg)	Consommation sans WER	Consommation avec WER	Economie (%)
Airbus A320	CFM56-5B	60000	2052 kg/h	936 kg/h	54,4
Airbus A380	RR Trent 900	500000	13320 kg/h	6120 kg/h	54,1
Boeing 787	GE GEnx-1B76	252000	6336 kg/h	2916 kg/h	53,9
Airbus A350-1000	RR Trent XWB-97	316000	6984 kg/h	3168 kg/h	54,6

IV. Analyse des intérêts économiques

- Prix du Jet-A1 au 28/05/26 en France : 2,24 €/L (à Grenoble)
- Masse volumique du Jet-A1 : 0,80 kg/L
- Economies calculées ici sont très élevées, dans la réalité plutôt autour de 5%



V. Ouverture : utilisation d'une autre forme d'aile pour augmenter l'efficacité du dispositif

- Aile BWB ou architecture en fuselage intégré (en opposition à la configuration Tube and Wing classique) (non étudié dans le cadre de ce TIPE)
- Intérêt :
 - Meilleure répartition de la portance + augmentation de celle-ci à masse équivalente



Annexe : formules

- Calcul de la distance franchissable : formule de Bréguet

$$D = \frac{v \times C_z}{TSFC \times C_x \times g} \ln \left(\frac{m_i}{m_f} \right)$$

- Calcul de la consommation d'un moteur à réaction :

$$\frac{dm}{dt} = TSFC \times m \times g \times \left(\frac{C_x}{C_z} \right)$$

- Coefficient de traînée induite :

$$C_{x_i} = \frac{C_z^2}{\pi \lambda e}$$

Avec :

- v : vitesse de l'avion (m/s)
- TSFC : Thrust Specific Fuel Consumption : consommation spécifique du moteur (en g/(N/s)), donnée spécifique au moteur
- m_i : masse initiale de l'avion, m_f = masse finale
- m : masse de l'avion
- λ : allongement de l'aile
- e : coefficient d'Oswald (entre 0,85 et 0,90)

Annexe

- Wall Y_+ : grandeur utilisée en CFD qui exprime la distance de la première maille par rapport à la paroi donnée en unités de maille

$$Y_+ = \frac{Y u_T}{\nu}$$

Avec :

- Y : distance entre la paroi et le centre de la première cellule (en m)
- u_T : Vitesse de frottement liée à la contrainte de cisaillement à la paroi (en m/s)
- ν : viscosité cinématique du fluide (en m²/s)

