

Optimisation aérodynamique de composants de vélos à l'aide de CFD et d'essais en soufflerie

Christian Piñas, Ingénieur

Patrick Haas, Professeur Ordinaire, Resp. de groupe

Filière de Génie mécanique

hepia Geneva Wind Tunnels

CADFEM ANSYS SIMULATION CONFERENCE SWITZERLAND
Lausanne, 4 septembre 2025

L'avenir est à créer



h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

1. L'AERODYNAMIQUE A HEPIA

Groupe de travail multidisciplinaire :

- Chap. 1 : Simulation CFD
- Chap. 2 : Essais en soufflerie aérodynamique
- Chap. 3 : Essais réelle sur prototype
- Chap. 4 : Autres ...

➔ *Chaque méthode apporte ses avantages / inconvénients*

Simulation CFD :

- Compréhension de l'écoulement
- Optimisation automatique

Essais en soufflerie :

- Détails de la géométrie
- Turbulence (taux, structure)
- Rugosité / surface



L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

AERODYNAMIQUE EXPERIMENTALE



Grande soufflerie du Pont-Butin (GE) :

- Section essais V1 : 2.0 m x 1.5 m, 340 km/h max.
- Section essais V4 : 3.0 m x 2.0 m, 155 km/h max.
- Equipée de balances pour la mesure des forces et moments

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

AERODYNAMIQUE EXPERIMENTALE



Banc d'essais pour vélos :

- Section essais V4
- Mesure des forces F_x , F_y , F_z et des moments M_x , M_y , M_z
- Mesure des forces sur les roues en rotation
- Support motorisé permettant tous les angles d'incidences de -20 à $+20$ degrés

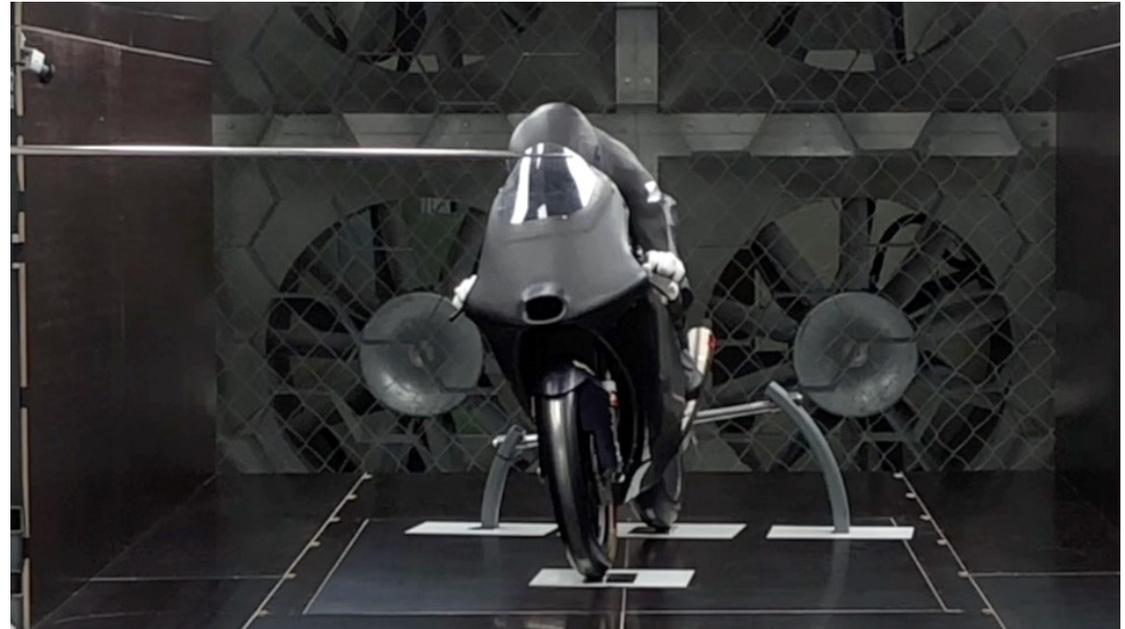
L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

AERODYNAMIQUE EXPERIMENTALE

Exemple de support motorisé



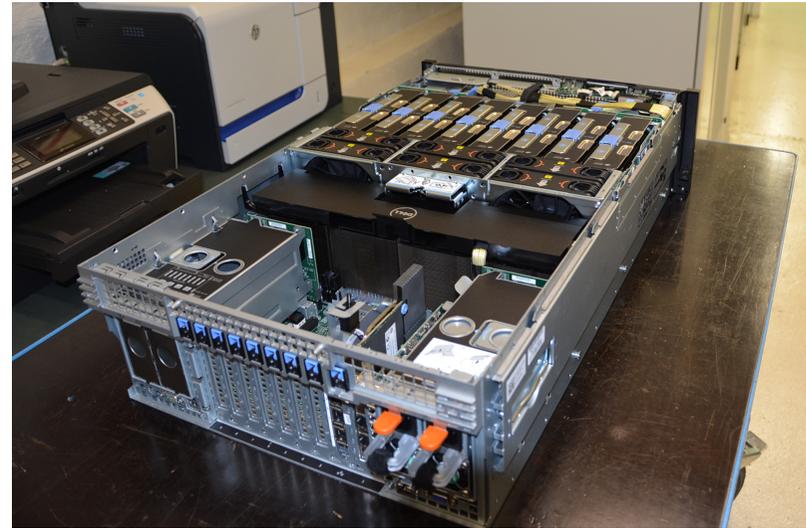
- Séquences d'essais automatiques
- Axe X : Bascule réalisée avec le CFPT
- Axe Z : Axe et servomoteur
- Balance 6 composantes sous l'ensemble
- Pas d'offset entre les séquences de mesures

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

MOYENS DE SIMULATION



Mutualisés avec UNIGE :

Baobab HPC : 6'500 CPU, 95 GPU, 10 To RAM

Intel Sandy Bridge, Broadwell and Cascade Lake,

Yggdrasil HPC : 4'300 CPU, 52 GPU, 10 To RAM,
Intel Gold

Interne au groupe :

EoleC6 : Dell, 96 CPU, 256 Go RAM

Workstations : 1 x 48 CPU, 384 Go et 8 x 16 CPU, 126 Go RAM

Stockage (NAS) : 2 x 120 To = 240 To, gestion de la confidentialité

Logiciels CFD : ANSYS CFD Associate (« industrial »), Research and Teaching – ANSYS Academic Partner

L'avenir est à créer

h e p i a

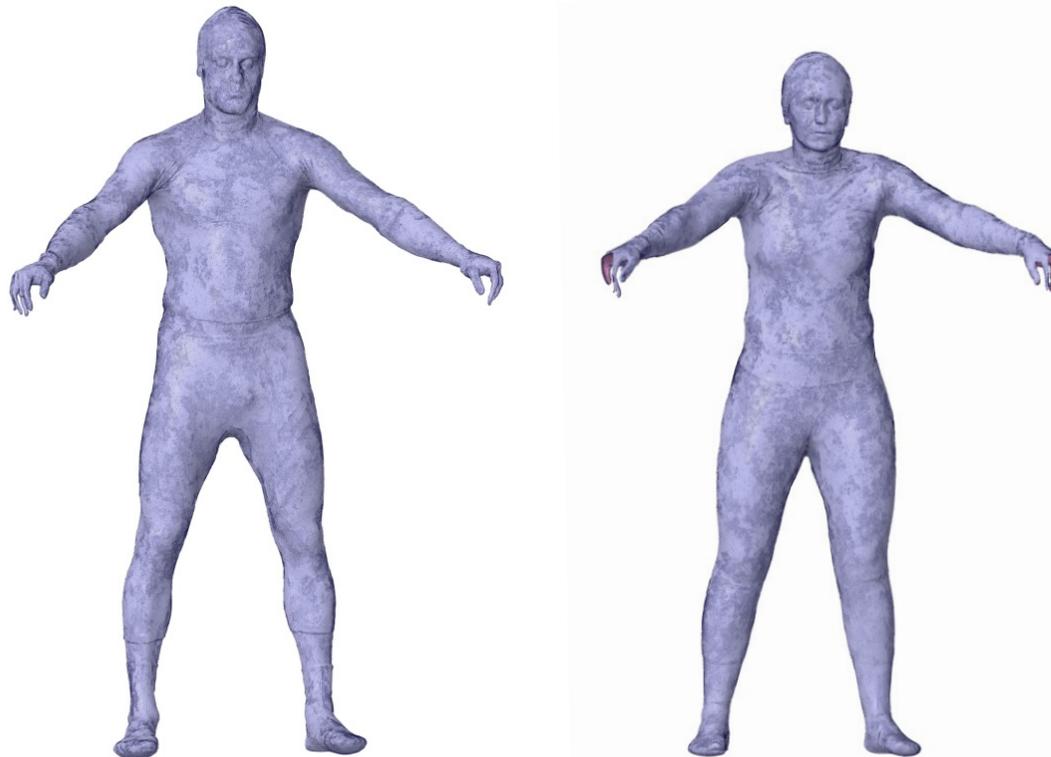
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

2. INTRODUCTION

Enjeux du monde du sport : « Athlète au départ du développement »

- Chaque athlète à une morphologie propre

➔ Développement personnalisé pour chaque athlète



L'avenir est à créer

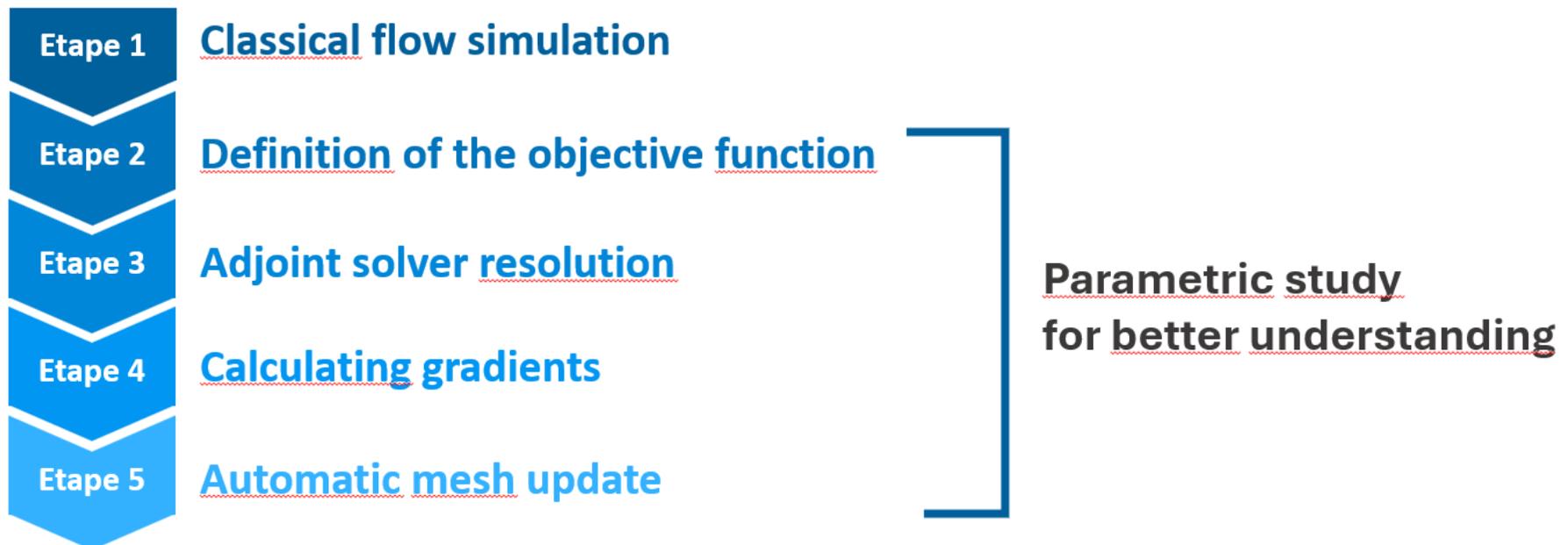
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

3. SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD SOLVEUR ADJOINT

Méthode

Simulation + optimisation automatique à l'aide de la méthode des gradients.



L'avenir est à créer

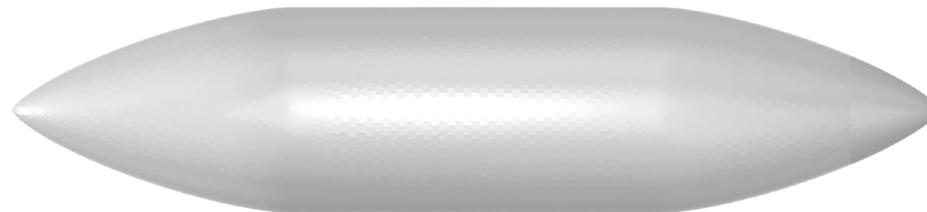
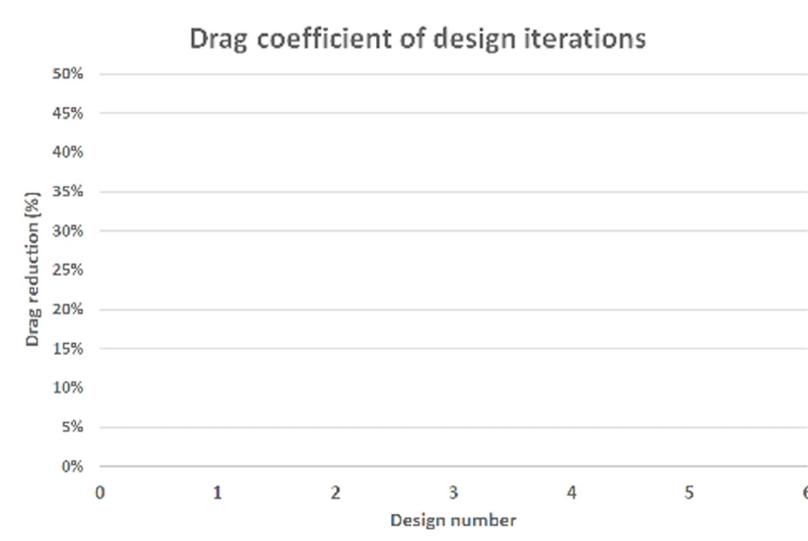
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD SOLVEUR ADJOINT

Exemple : Optimisation d'un véhicule Hyperloop

V = 600km/h
P = 100 Pa
Blocage = 0.25
Mach col = 0.95



- Méthode « Gradient based optimizer »
- Second order : pression, mouvement
- Gaz parfait

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

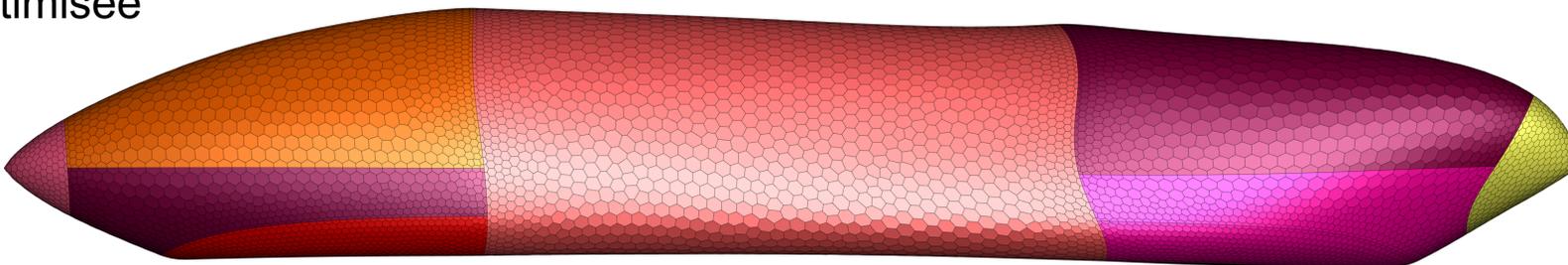
SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD - SOLVEUR ADJOINT

Exemple : Optimisation d'un véhicule Hyperloop

Ogive de base



Ogive optimisée



Partie avant peu modifiée

Partie arrière très modifiée

Géométrie optimisée

Gain sur la résistance d'environ 40%

L'avenir est à créer

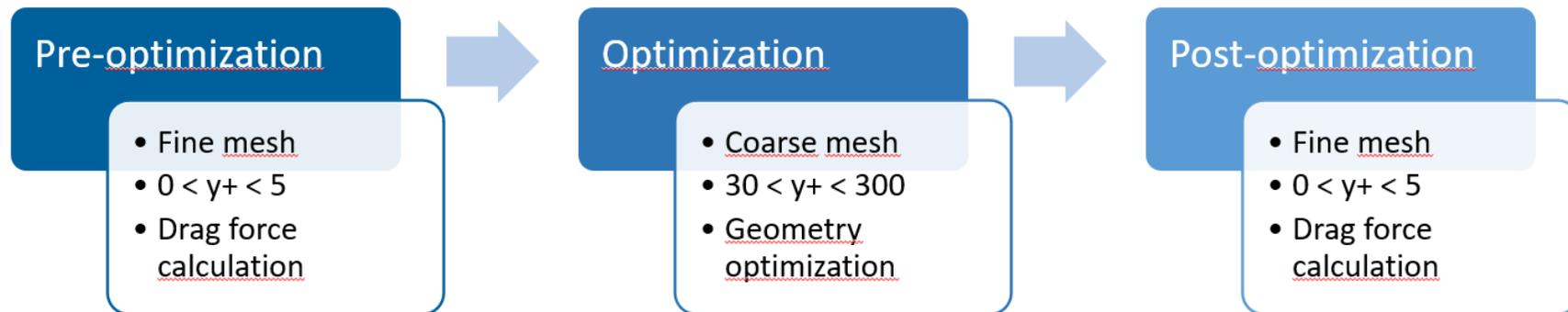
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD – SOLVEUR ADJOINT

Approche utilisée dans le cadre du vélo

- 3 étapes pour valider l'optimisation



➔ Géométrie initiale influence le résultat de l'optimisation

➔ Etude de sensibilité nécessaire pour approcher une solution globale

L'avenir est à créer

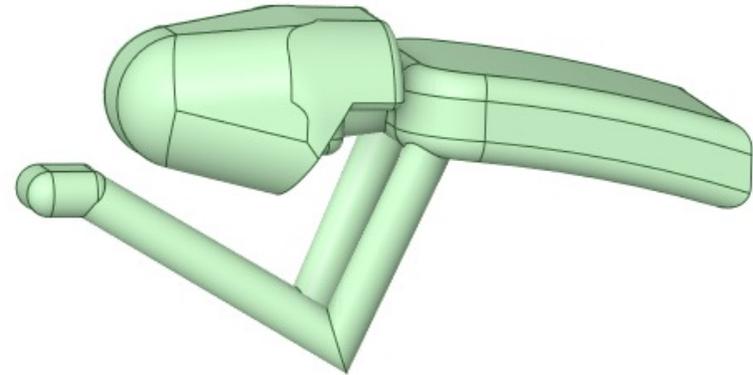
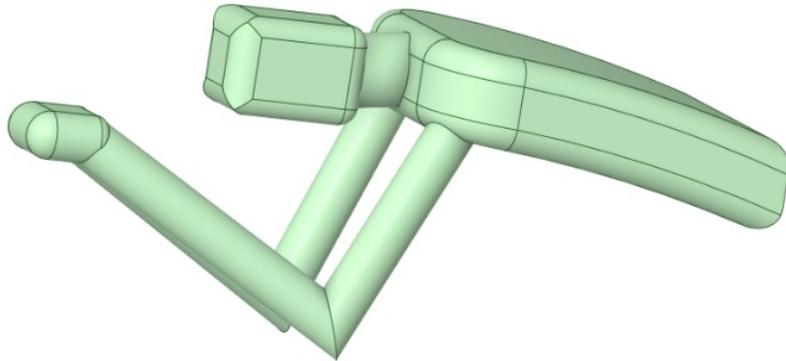
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

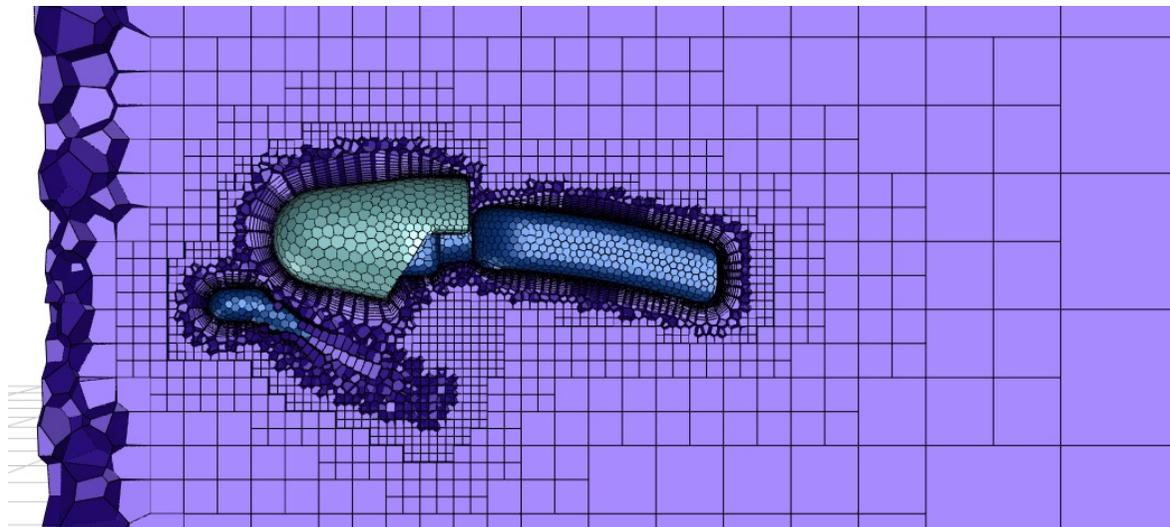
SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD – SOLVEUR ADJOINT

Démonstration avec des formes simples

- Géométrie type d'un cycliste en position TT :



- Maillage grossier pour optimisation :



L'avenir est à créer

h e p i a

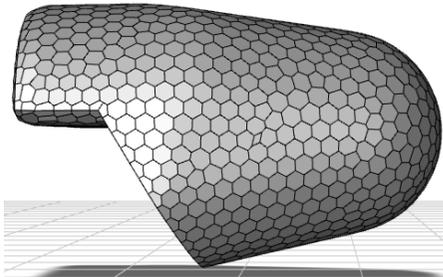
Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD – SOLVEUR ADJOINT

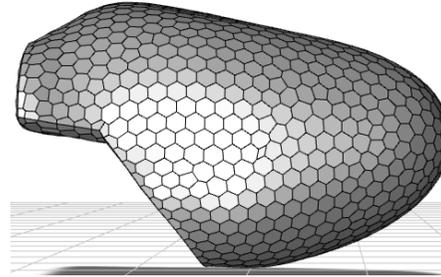
Démonstration avec des formes simples

Side view

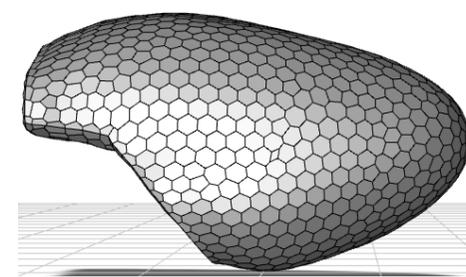
Starting geometry



Intermediate geometry

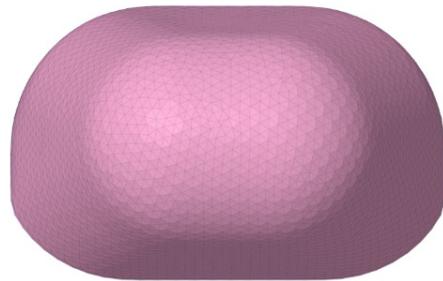


Final geometry

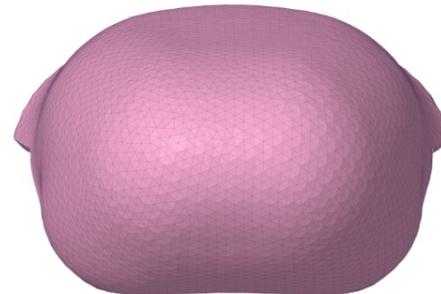


Front view

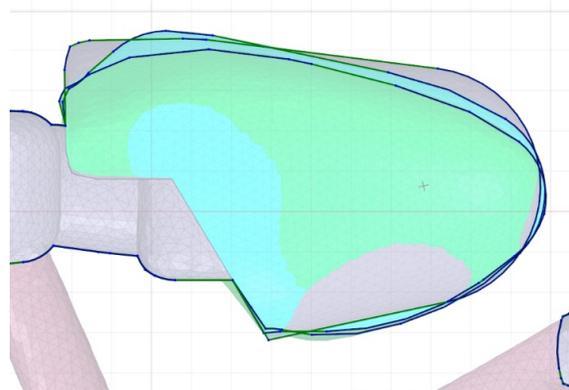
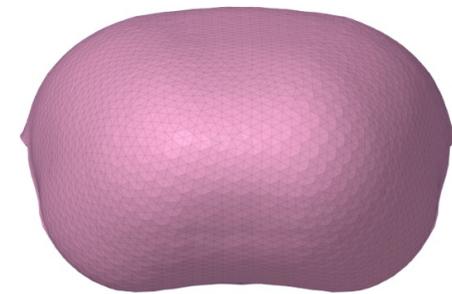
Starting geometry



Intermediate geometry



Final geometry



L'avenir est à créer

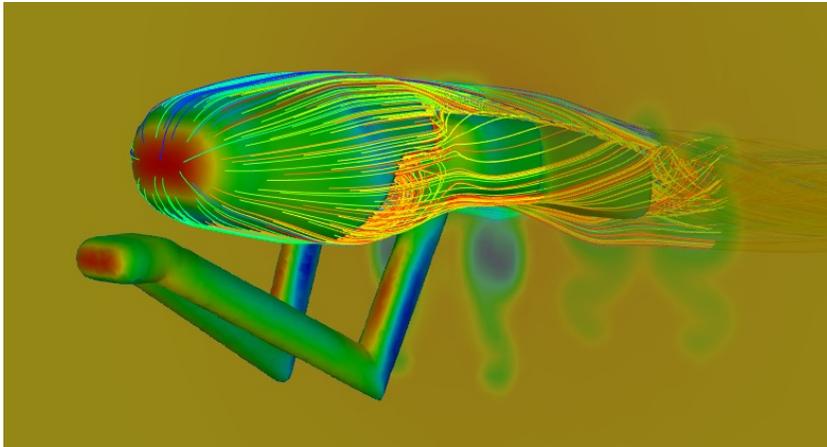
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

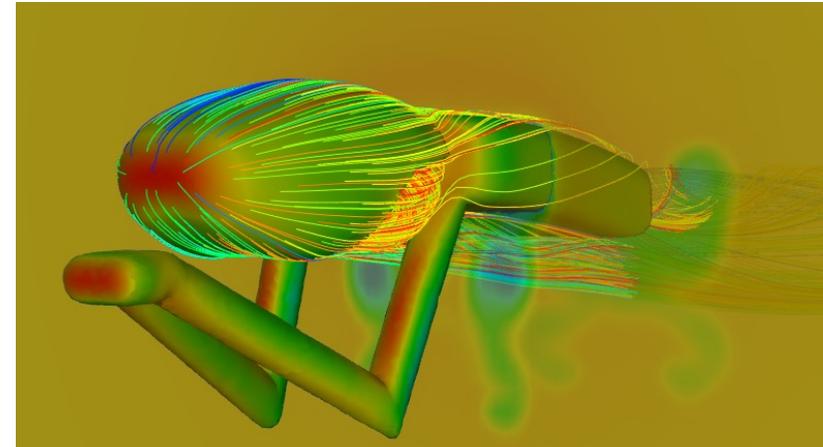
SIMULATION ET OPTIMISATION EN CFD – SOLVEUR ADJOINT

Démonstration avec des formes simples

Avant optimisation



Après optimisation



Pre-optimisation

Post-optimisation

Réduction

Résistance
aérodynamique
[N]

4.69

0.93

80%



L'optimisation permet de recoller l'écoulement sur le dos du coureur



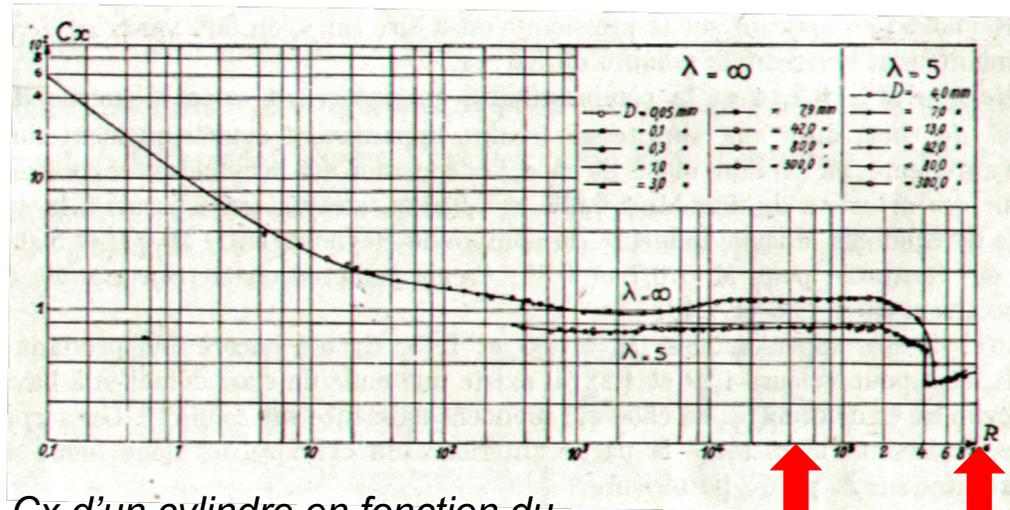
Le gain se fait sur le coureur

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

4. MODELES DE TURBULENCE ET MAILLAGE POUR LA SIMULATION DE VELOS



C_x d'un cylindre en fonction du nombre de Reynolds Re

Vélo

Application classique
(sports motorisés, industrie)

- Choix du modèle de turbulence difficile dans le domaine du vélo (et du souvent du sport)
- De même pour la taille des mailles, pas de temps, etc..



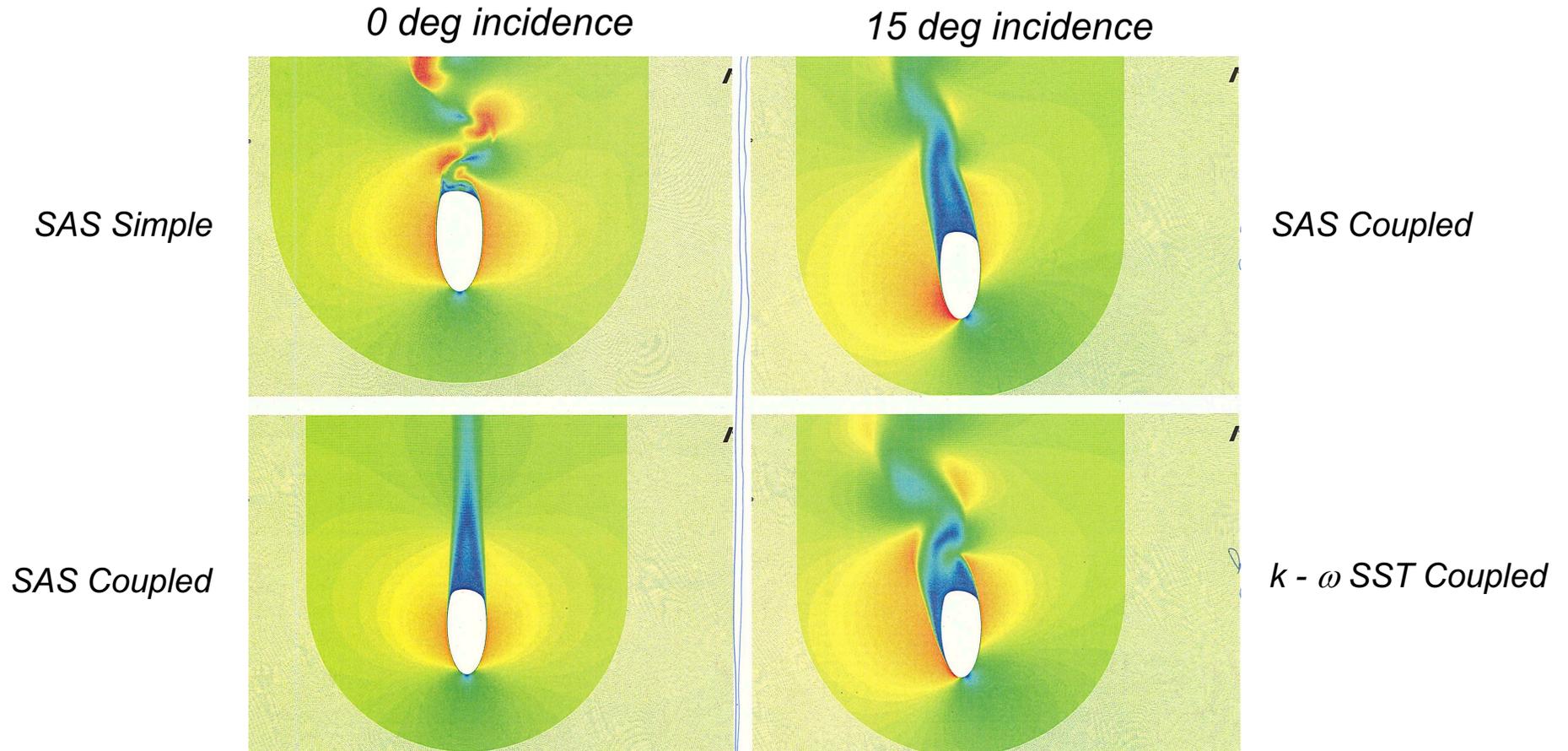
La nature de la turbulence est particulière à ces Re
(structure, taille, fréquence, stabilité...)

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

MODELES DE TURBULENCE ET MAILLAGE POUR LA SIMULATION DE VELOS



Très bonne référence :



Thijs van Druenen, Bert Blocken, *CFD simulations of cyclist aerodynamics: Impact of computational parameters*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 249 (2024) 105714.

L'avenir est à créer

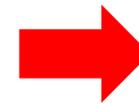
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

5. EXEMPLE DE PROJET INDUSTRIEL

Développement d'un casque de cyclisme sur route

Etape 1 - Scan du vélo et du cycliste en position



Développement à partir de l'athlète



Plusieurs positions

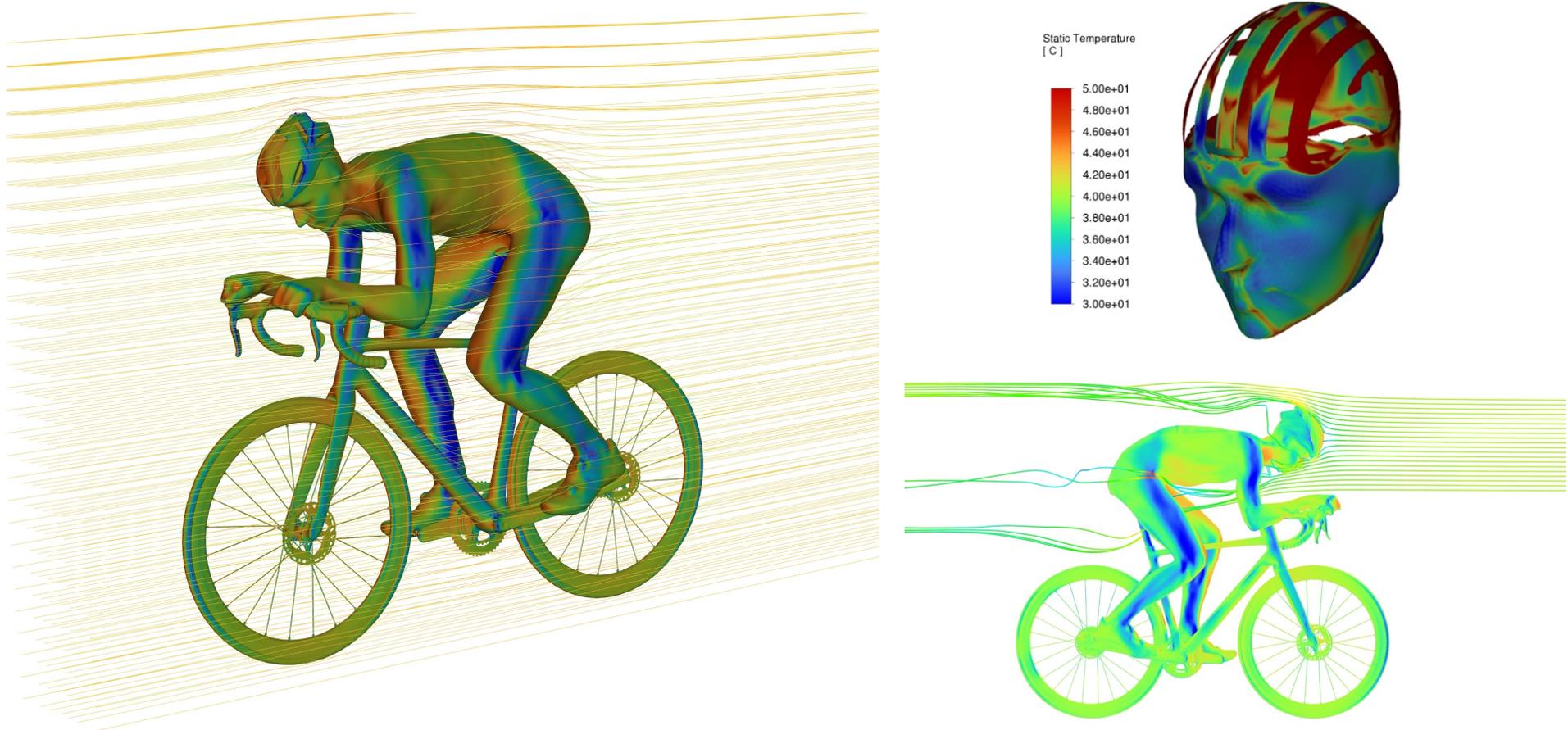
L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

DEVELOPPEMENT D'UN CASQUE DE CYCLISME SUR ROUTE

Etape 2 – Simulation CFD et optimisation pour tous les angles



Etude aérodynamique et aérothermique (refroidissement de la tête du cycliste)



Compréhension des phénomènes, idées

L'avenir est à créer

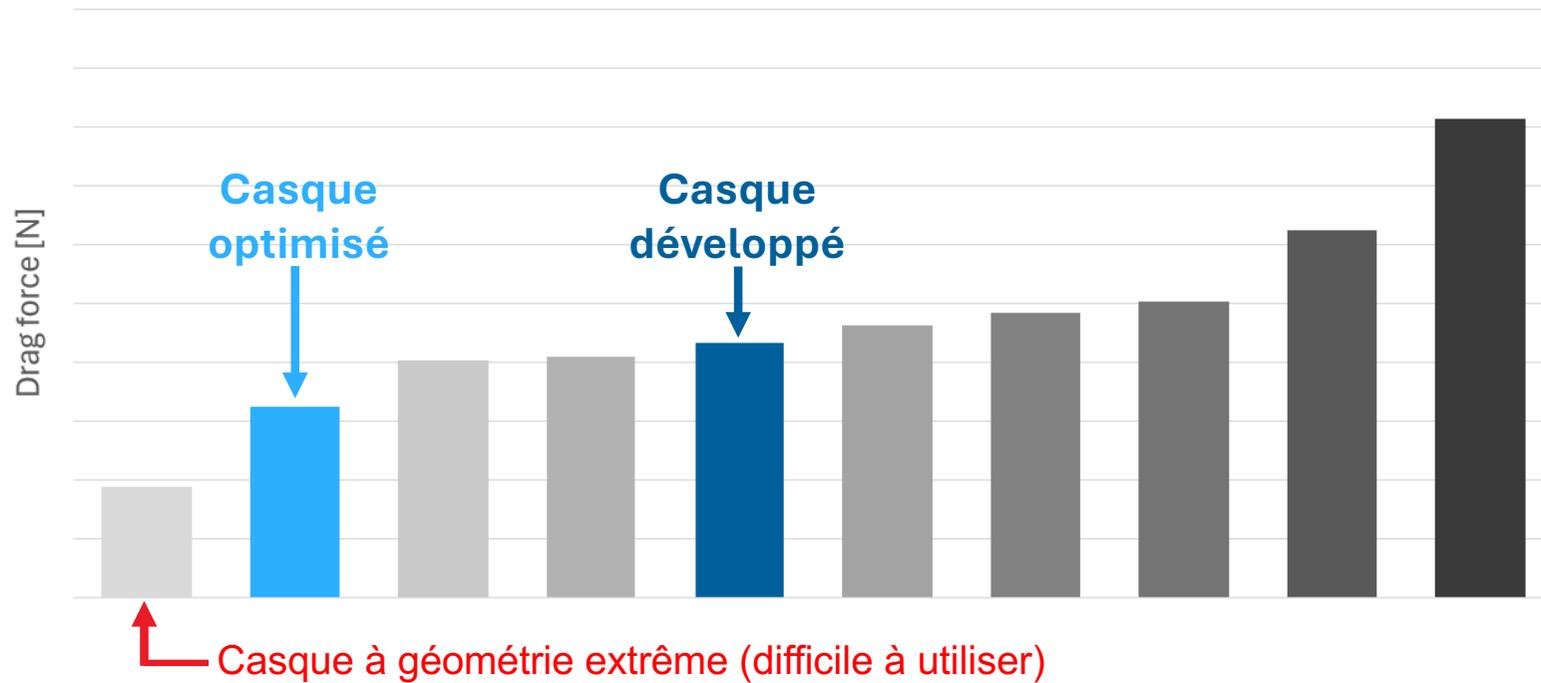
h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève

DEVELOPPEMENT D'UN CASQUE DE CYCLISME SUR ROUTE

Etape 3 – Validation en soufflerie

Drag force of various helmets on a mannequin at 0° yaw

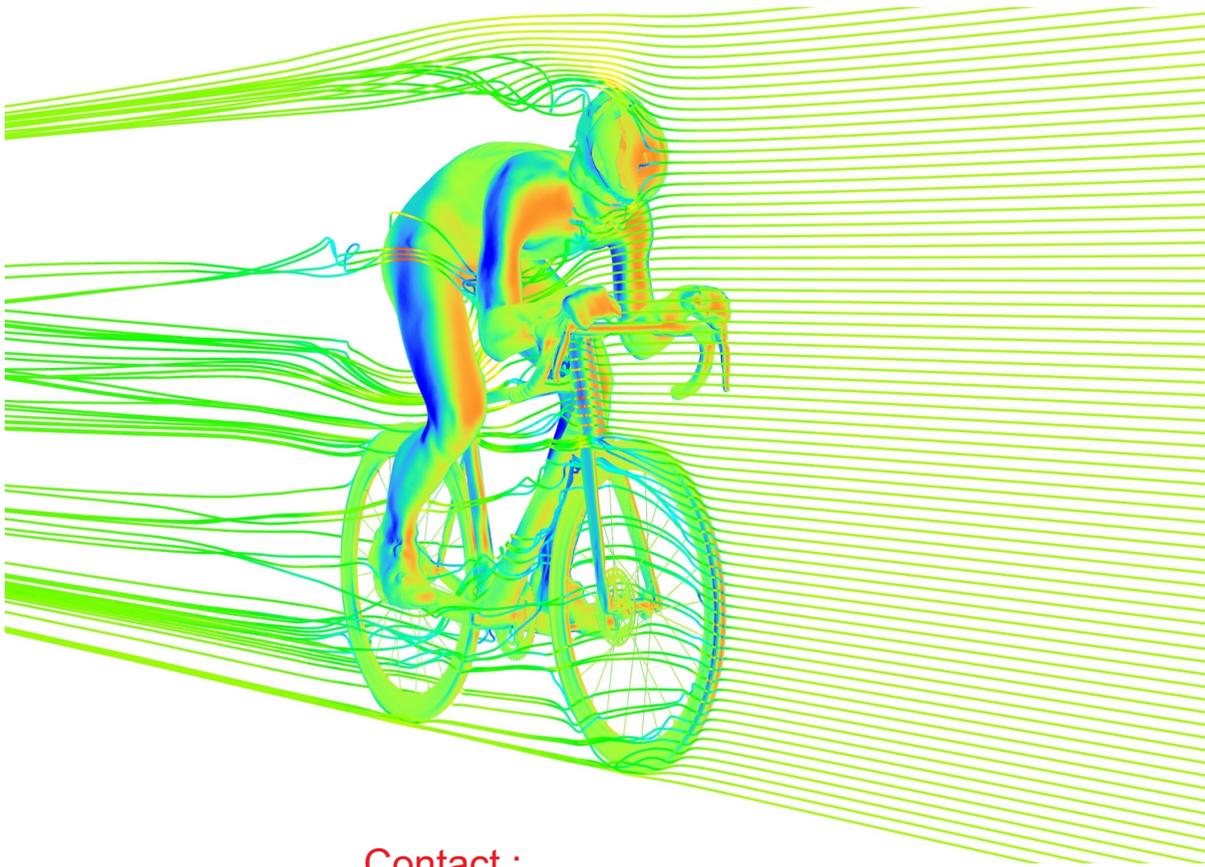


Mannequin sur vélo partiel

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève



QUESTIONS ?



hepia Geneva Wind Tunnels

Contact :

Christian Piñas, Ingénieur

Patrick Haas, Prof. Ordinaire

Haute Ecole du Paysage, d'Ingénierie
et d'Architecture de Genève (HEPIA)

HES-SO // Genève
4, Rue de la Prairie
CH 1202 Genève

christian.pinas-salles@hesge.ch

patrick.haas@hesge.ch

Tél +41 22 558 64 03

www.hepia-cmefe.ch

L'avenir est à créer

h e p i a

Haute école du paysage, d'ingénierie
et d'architecture de Genève