Jumeaux Numériques et optimisation de la performance en cyclisme

Florian Douzery, Thomas Ducasse, Sébastien Térol (Ph.D)

Georges Soto-Romero (PU)

LAAS-CNRS
/ Laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes du CNRS

Laboratoire conventionné avec
Université de Toulouse

La problématique

- Disponibilité des athlètes et des équipements
  (pour l'optimisation de la performance)

- Besoin d'outils permettant de répondre aux athlètes et staff
  (Choix d'équipement, choix de stratégie de course (ou de trajectoire)

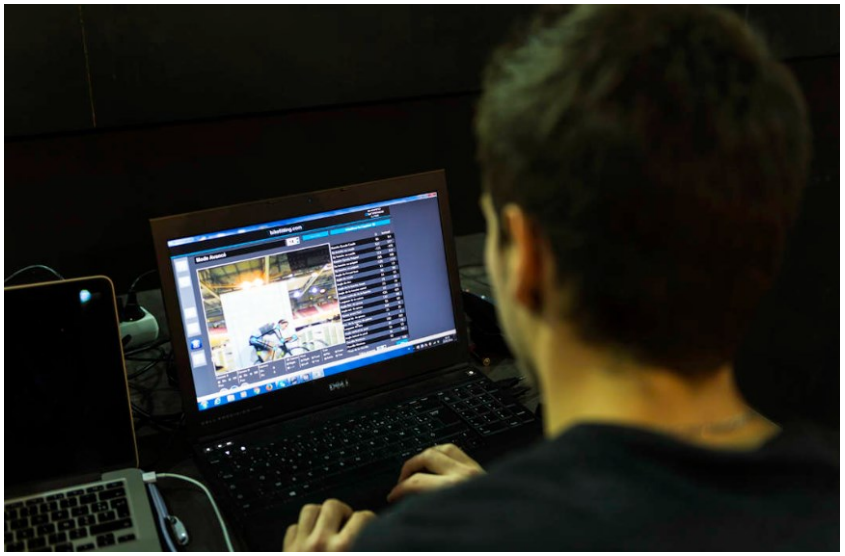
- Modélisation multiphysique et prédictive du système « humain-machine-environnement »
  (Evolution des jumeaux numériques : niveau 1 (statique) => niveau 4 (TR)

- Monitoring humain de la performance en cond. écologiques

Les premiers pas

- Monitoring « biomécanique » (vélo statique ⇔ MoCap)



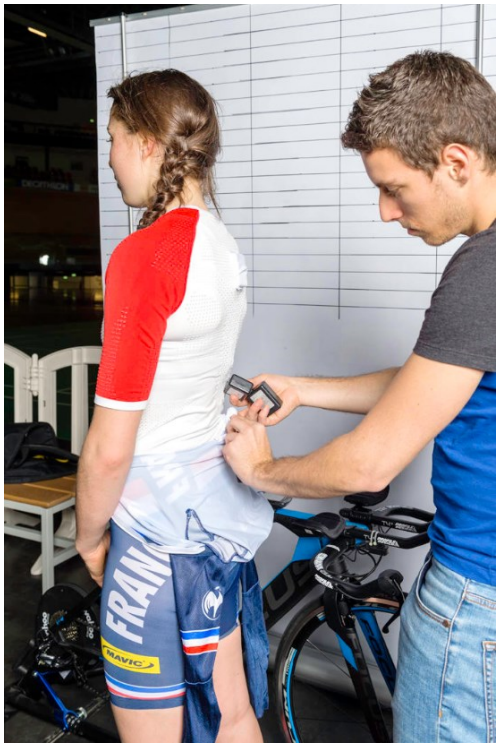


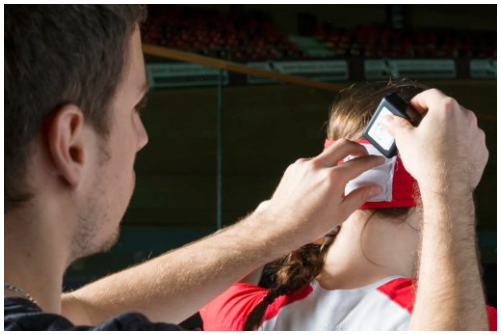
- Analyse « dynamique » (étude posturale, optim. position)

Travaux A. Bouillod (Ph.D)

Les premiers pas

- Monitoring « biomécanique » (cond.écologiques ⇔ IMU)









- Analyse « dynamique » (étude dégradation position, fatigue, SCx)

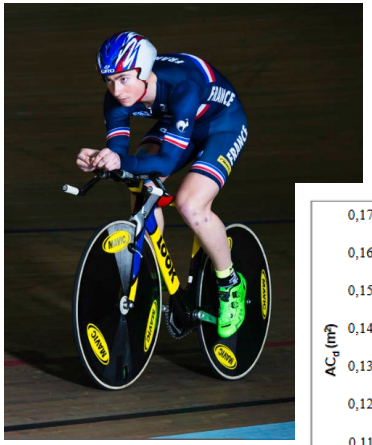
Travaux A. Bouillod (Ph.D)

Les premiers pas

- Scan 3D ⇔ CFD Vs. soufflerie Vs. terrain (vélodrome)







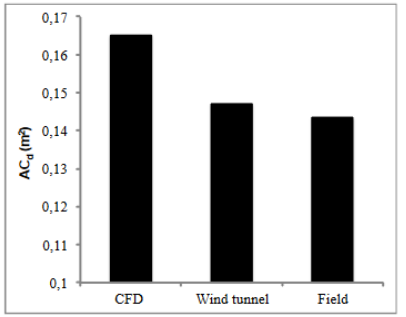


Figure 7: effective frontal area (AC_a) of the cyclist obtained with the CFD, wind tunnel and field protocols.

- Jumeau Numérique (niveau 1)

ne pédale pas, les roues ne bougent pas ⇔ modélisation du pédalage, maillage dynamique)

ne se fatigue pas, ne respire pas ⇔ JN méca/bioméca (pas de physio, thermo)

Aucun caractère prédictif sur des petits équipements (malgré fiabilité < 7%)

Travaux A. Bouillod (Ph.D)

Méthodologie initiale

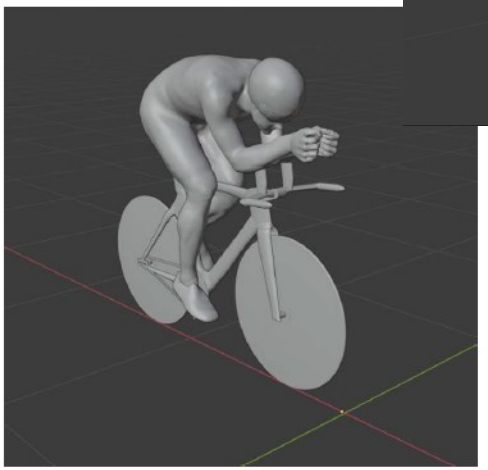
- Scan3D vers CFD puis vers Print3D (nouveaux outils)



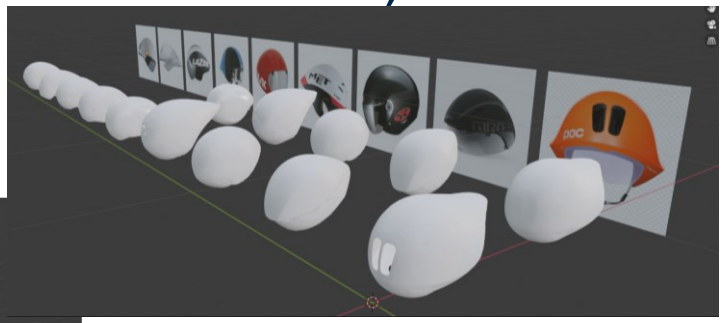
I. Scan 3D

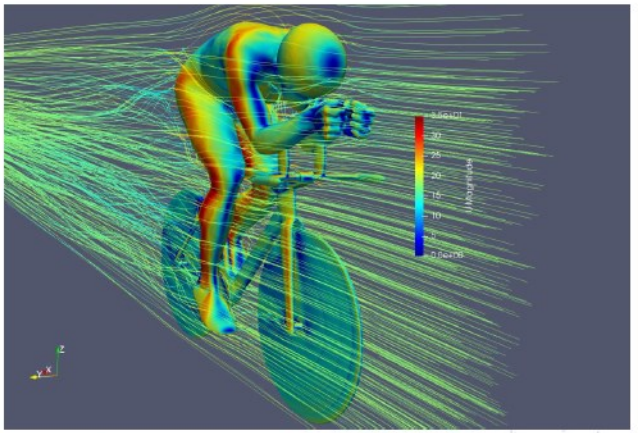


II. Nuage de points



III. Reconstruction + retro-engineering + Conception Biomécanique: Mannequin articulé



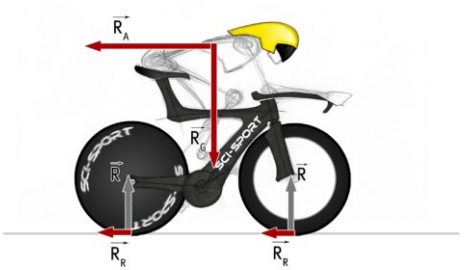


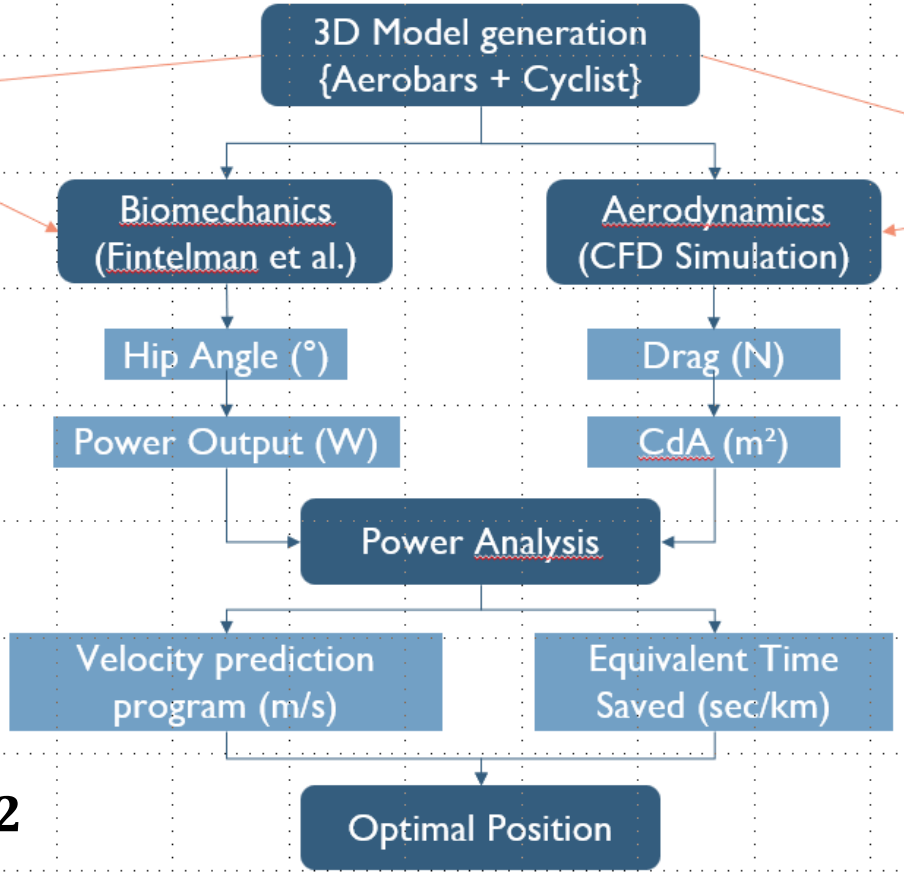
IV. Etude Aérodynamique CFD et Optimisation

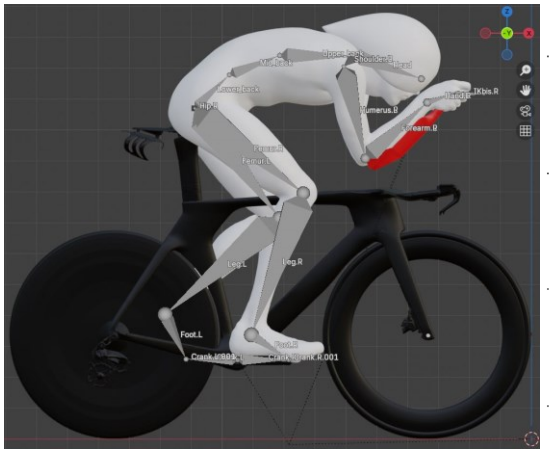
Quentin LAFARGUE

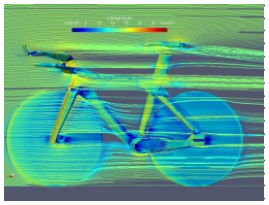
Champion du monde du kilomètre 2019

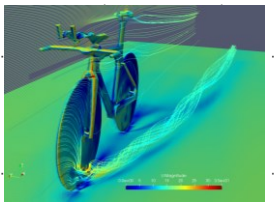
Intégration du « multiphysique »











$$R_A = \frac{1}{2}\rho S C_x V^2$$

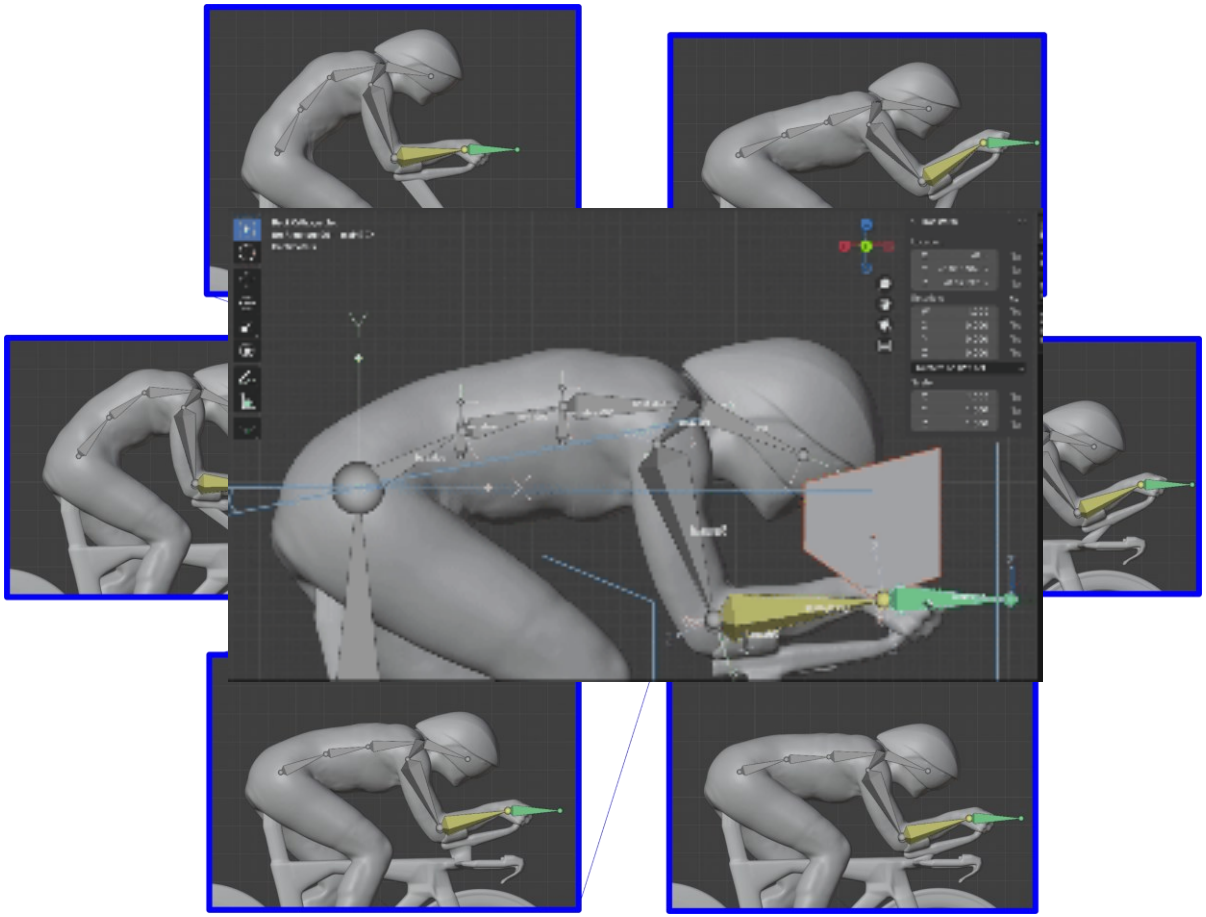
A grande vitesse, représente 90% des résistances totales opposées à l'avancement d'un cycliste. (Kyle et al. 1984)

Travaux S. Térol (Ph.D)

JN pour le prolongateur CLM







Each heat map sample corresponds to a position in the 3D geometry. This figure illustrates the change in hip angle by associating the Blender screenshot with the corresponding position.

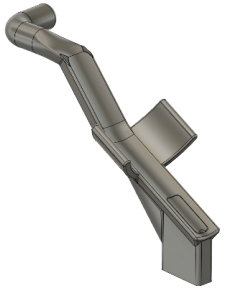
Travaux S. Térol (Ph.D)

Soufflerie + CFD

nov-2023 | dec-2023 | fev-2024 | fev-2024 | fev-2024 | juin-2024

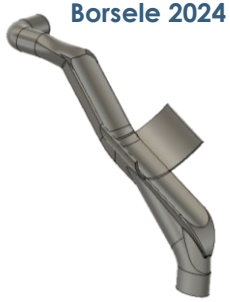
FACTOR 2024
Baseline SCx

Début du projet d'optimisation



Prolongateurs Blancs
Platine

Omloop van Borsele 2024



Protos A
Platine



Protos Thaïs
Platine

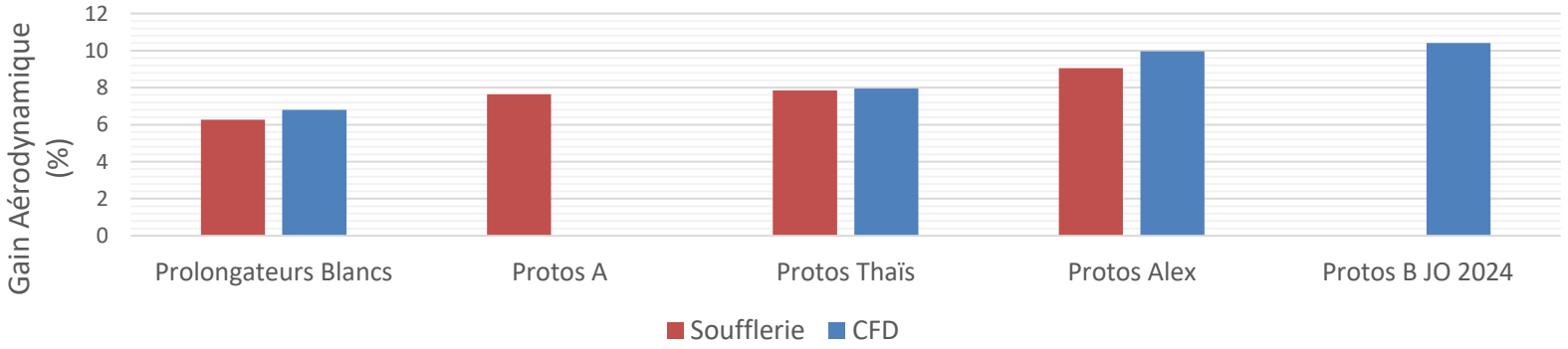


Protos Alex
Basebar

Championne de France 2024

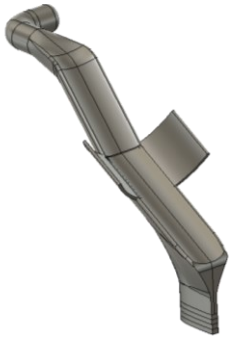


Protos B
Platine



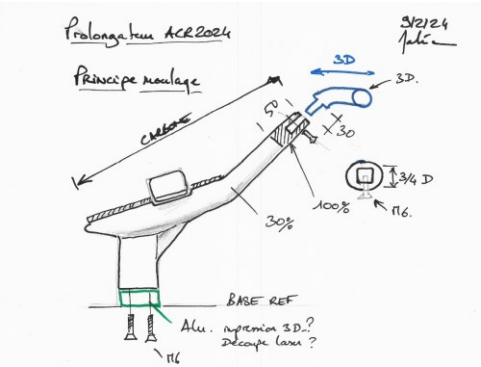
Travaux S. Térol (Ph.D)

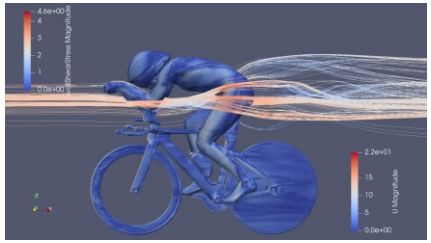
Soufflerie + CFD





Proto Carbone







Travaux S. Térol (Ph.D)

- Jumeau Numérique (niveau 2)

Pédale (peu), permet d'optimiser de l'équipement

Incomplet et toujours « mauvais » sur les petits détails

Résultats terrain







Estimation des gains

-45'' Position + Prolongateurs
-25'' Optimisation CLM

> Jumeau Numérique (niveau 2)

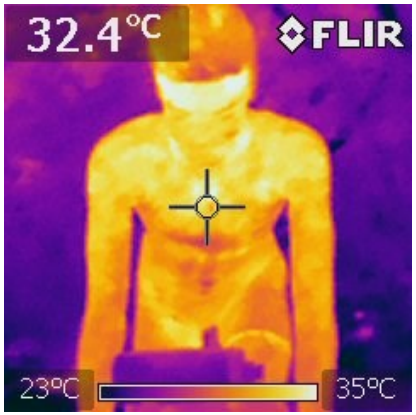
Aux limites de validation scientifique…

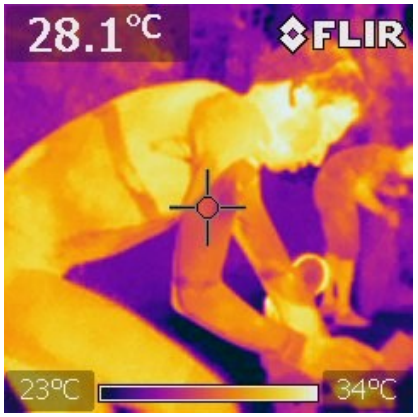
1	Audrey CORDON RAGOT	HUMAN POWERED HEALTH LADIES	50'32"
2	Cédrine KERBAOL	CERATIZIT-WNT PRO CYCLING	à 55"
3	Marion BORRAS	ST-MICHEL-MAVIC-AUBER 93 FEM	à 1'34"
4	Maeva SQUIBAN	ARKÉA-B&B HÔTELS FEMMES	à 1'46"
5	Marie LE NET	FDJ-SUEZ	à 1'53"
6	Océane MAHÉ	ARKÉA-B&B HÔTELS FEMMES	à 2'50"
7	Chloé FOURMIGUÉ	CYNISCA CYCLING	à 4'05"
8	Coralie DEMAY	FDJ-SUEZ	à 4'33"
9	Pauline ALLIN	CYNISCA CYCLING	à 4'34"
10	Julie BEGO	COFIDIS WOMEN TEAM	à 4'42"

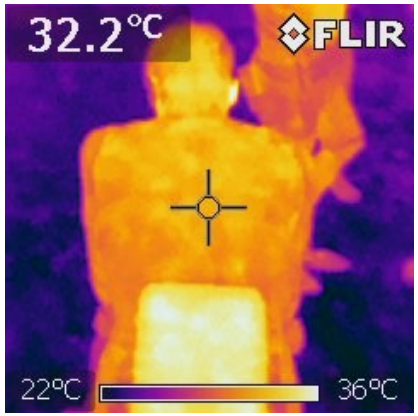
Travaux S. Térol (Ph.D)

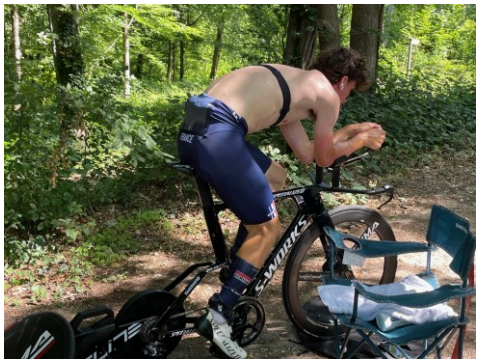
JN multiphysique (aéro-thermo-bioméca)

> En cours (prépa JO 2028)













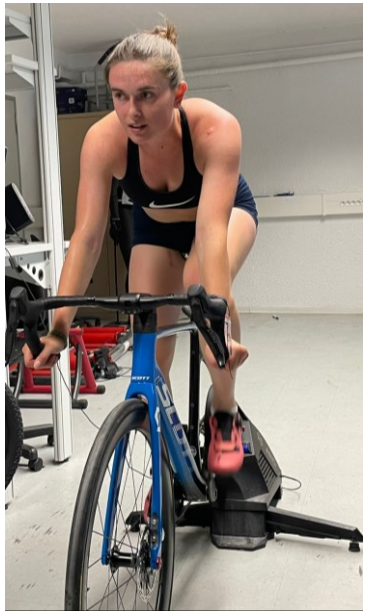


Etudier et optimiser la capacité de refroidissement de l'athlète selon l'environnement de course pour prévu, pour adapter sa préparation

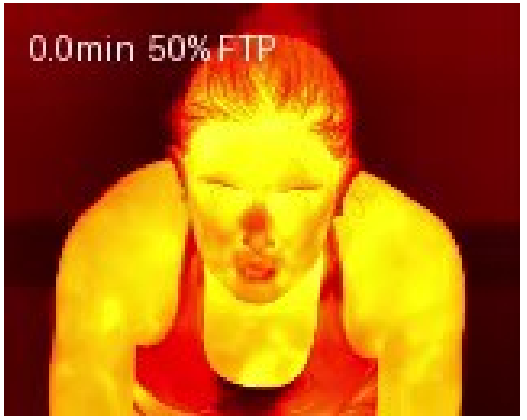
Travaux S. Térol (Ph.D)

JN multiphysique (aéro-thermo-bioméca)

- En cours (prépa JO 2028) ⇔ Collaborations possibles









- Jumeau Numérique (niveau 2)

Comportement thermique (maillage multiphysique)

Evaluation des protocoles de thermorégulation (prédictif)

Impact sur l'aérodynamique et la bioméca (niveau 3)

Travaux F. Douzery (Ph.D student)

Conclusion & Perspectives

- Jumeaux numériques qui répondent à des problématiques terrain (partiellement)

- « performance en cyclisme » ⇔ Système complexe associant plusieurs physiques dont le monitoring n'est pas autorisé (UCI)
  (et dont toutes les variables ne sont pas modélisées à ce jour)

- Optimum entre temps de calcul et expérimentation terrain

JN multiphysique (+ terrain)

> En cours (prépa JO 2028) ⇔ Collaborations possibles

- Intégration Aérodynamique + Physiologique +Thermique + Biomécanique *(Vs. soufflerie Vs. terrain)*

Travaux F. Douzery (Ph.D student)

- Instrumentation Vélo + Athlète + Cartographie TR 3D du terrain (en VTT DH) / Aide à la décision (IA)

Travaux T. Ducasse (Ph.D student)

> En cours (Equipe Pro WT) ⇔ Collaborations possibles

- JN niveau 4 interopérable, monitoring temps réel

Travaux A. Dulac (Ph.D student)



Gsotorom@laas.fr
06.25.23.04.30

FÉDÉRATION FRANÇAISE DE CYCLISME