



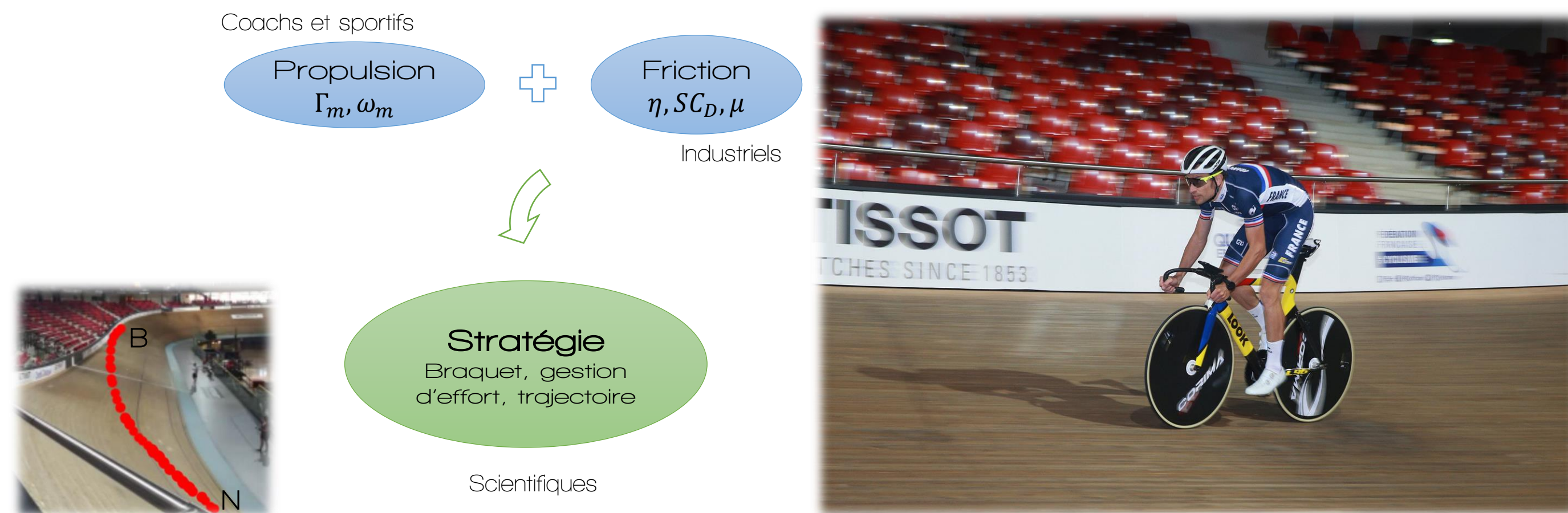
OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE EN CYCLISME SUR PISTE

S. LAIGRET, C. CLANET, C. COHEN, E. BRUNET, J. ROY – ÉCOLE POLYTECHNIQUE

MOTIVATION

Pendant l'épreuve individuelle de qualification au sprint, les cyclistes disposent de trois tours pour gagner de la vitesse avant d'être chronométrés sur les derniers 200 mètres. Les pistards doivent réaliser plusieurs choix :

- Le **braquet** qui ne change pas pendant toute la course : le braquet est le rapport entre la taille du plateau et du pignon, il a une influence sur la vitesse de pédalage mais aussi sur la force nécessaire pour avancer.
- Le **lieu du plongeon sur le vélodrome** : le cycliste profite d'une montée sur les hauteurs du vélodrome (balustrade) et réalise un gain de vitesse lorsqu'il descend pour le chronométrage (noire).



OBSERVATION ET MODÉLISATION DES COURSES DE CYCLISME SUR PISTE

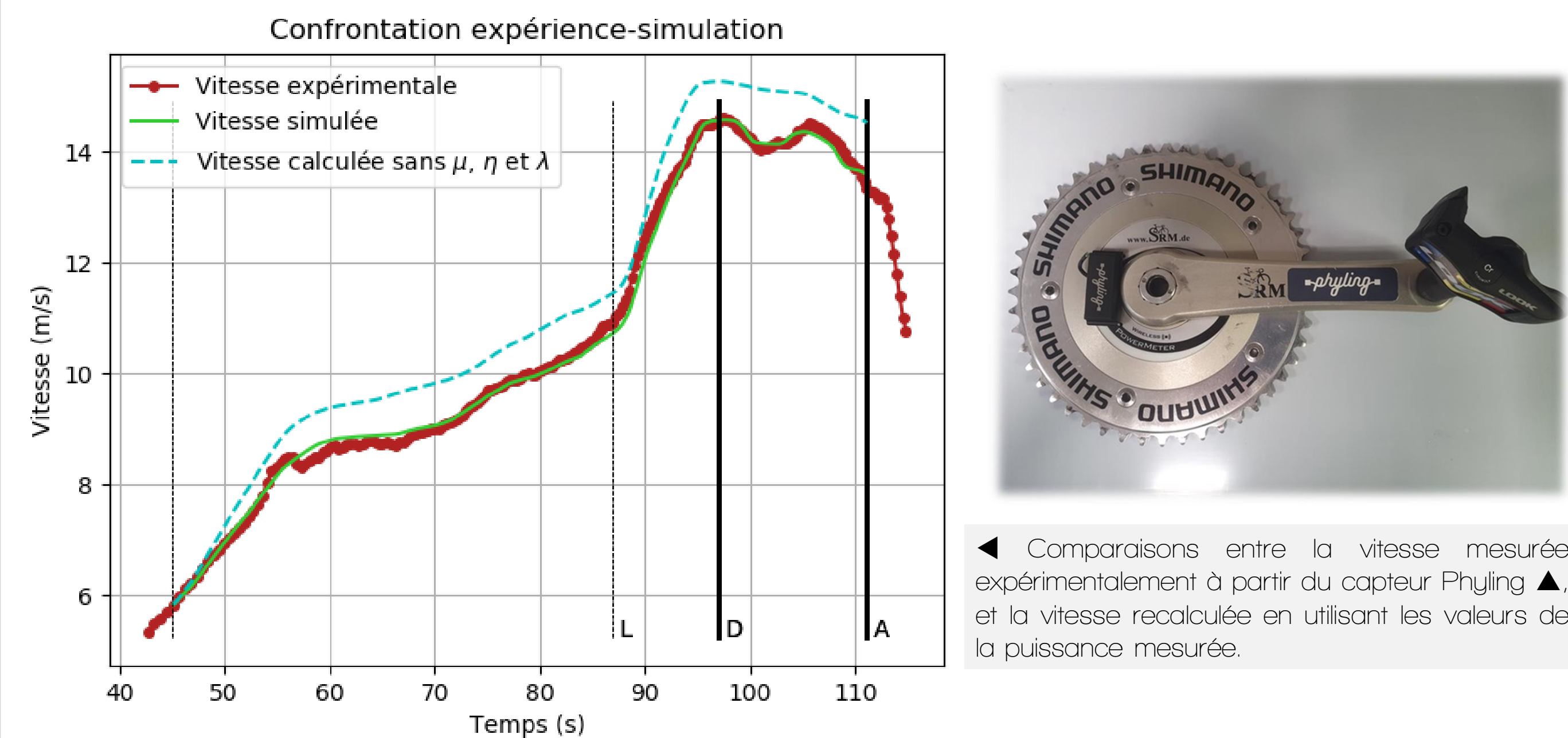
Dynamique du cycliste

La variation d'énergie mécanique du cycliste dépend de sa **puissance musculaire**, des **pertes dues à la traînée aérodynamique et à la friction solide**, mais aussi de la **géométrie spécifique du vélodrome** :

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} M \left(1 - \frac{L_G \sin(\beta(s, V))}{R_c(s, r)} \right)^2 V^2 + Mgz \right) = \eta(V) P_m - \underbrace{\frac{1}{2} \rho S C_D \left(1 - \frac{L_A \sin(\beta(s, V))}{R_c(s, r)} \right)^3 (V - v_w)^3 - \mu M g \frac{\cos(\alpha(s) - \beta(s, V))}{\cos(\beta(s, V))} V}_{\text{Puissances fricatives}}$$

Validation du modèle

Des **mesures de puissance** et de vitesse ont été réalisées à l'aide de deux cyclistes professionnels afin de valider le modèle. La course choisie correspond au profil de la qualification : trois tours dédiés à l'accélération et un tour chronométré. On **déduit de la comparaison entre simulations et expérience** la friction, le rendement mécanique et le coefficient de traînée du cycliste.



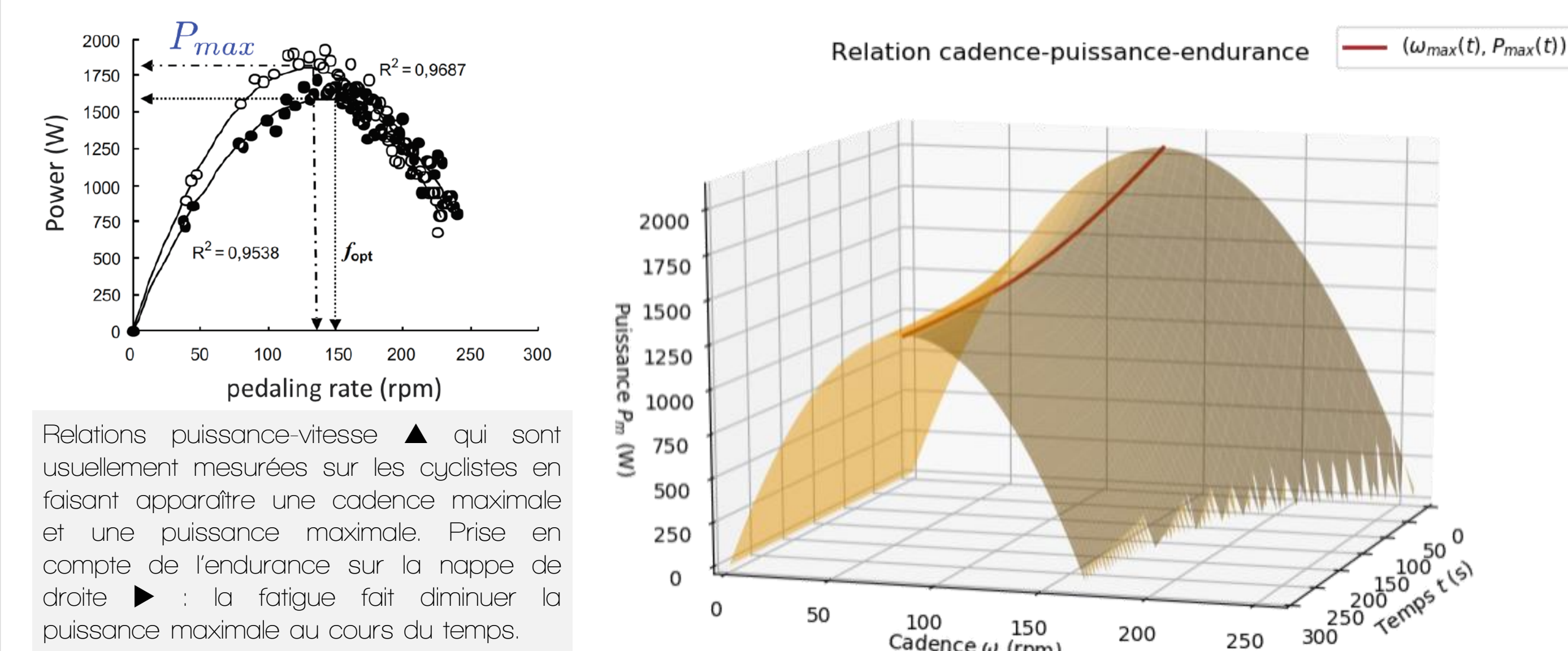
Besoin de prédire la puissance !

En vue d'**optimiser les courses**, il est nécessaire de devenir indépendant de mesures et de disposer d'un modèle de puissance musculaire pour le cycliste. On adapte le modèle classique de Hill pour prendre en compte l'effet de la fatigue :

$$P_m(\omega, t) = \Gamma_{max} \omega \left(1 - \frac{\omega}{\omega_{max,1} + (\omega_{max,0} - \omega_{max,1}) \exp(-t/\tau_H)} \right)$$

- La **force** via le couple Γ et le couple maximal Γ_{max} ;
- La **vitesse** via la cadence $\omega = \frac{V}{r_{roue}}$ et la cadence maximale ω_{max} ;
- L'**endurance** via le temps t et le temps caractéristique de transition aérobie-anaérobie τ_H .

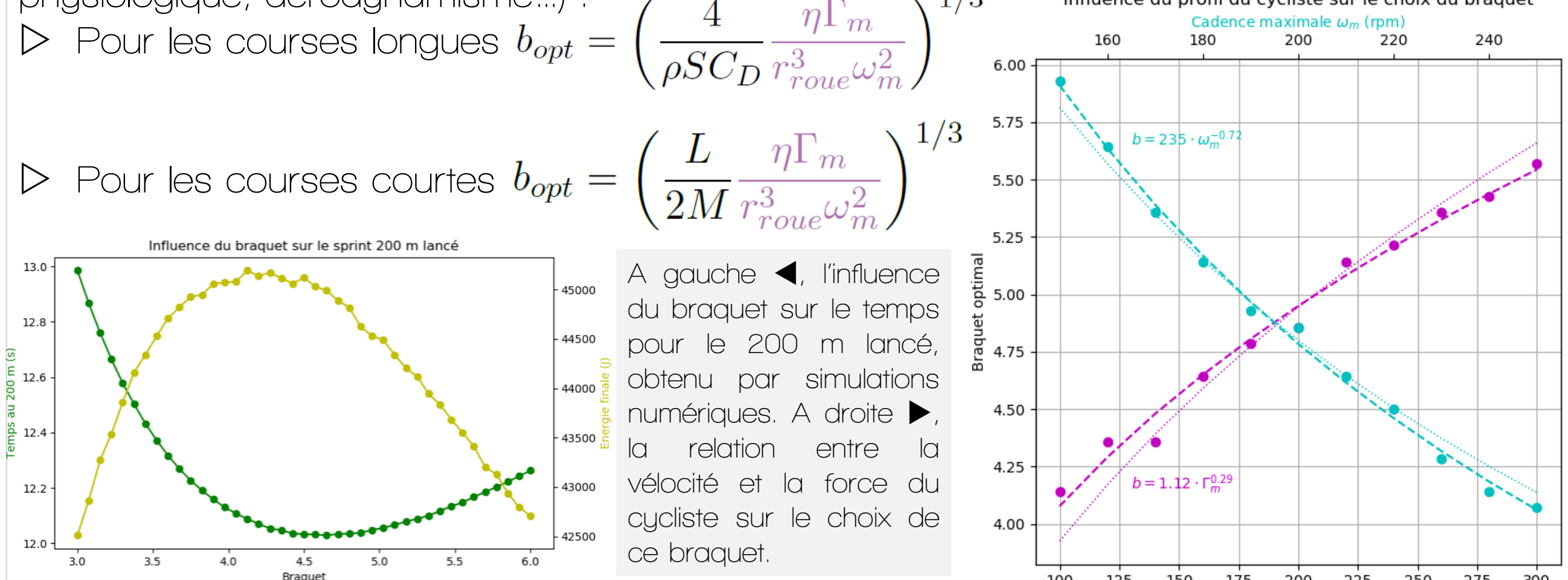
Ces caractéristiques sont **propres à chaque cycliste** et doivent donc être mesurées lors de tests standardisés.



DÉTERMINATION DES STRATÉGIES OPTIMALES

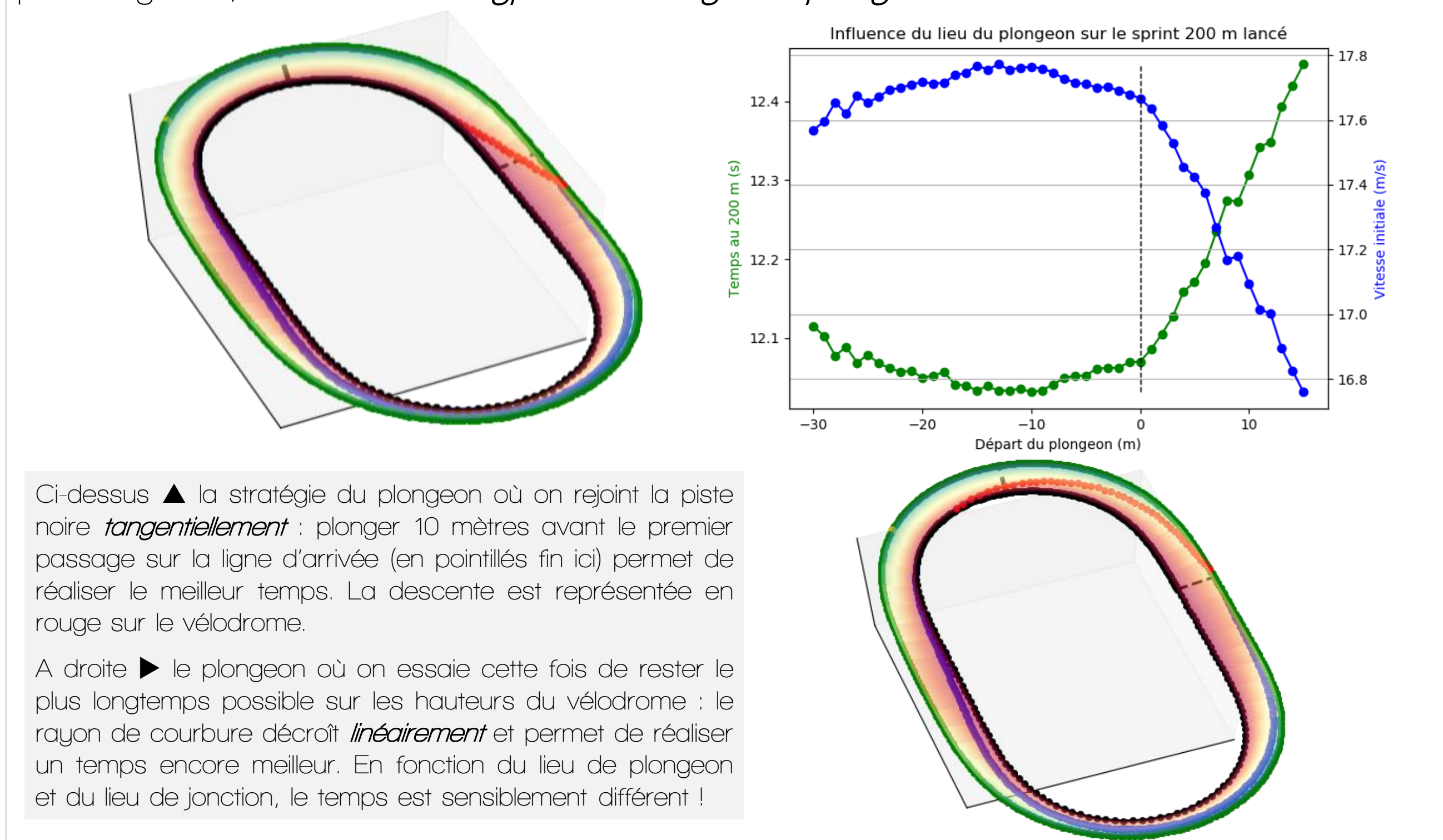
Optimisation du braquet

Moyennant quelques hypothèses simplificatrices sur la dynamique du cycliste, il serait possible de prédire le braquet optimal en fonction des qualités du cycliste (profil physiologique, aérodynamisme...) :



Optimisation du lieu de plongeon

Le modèle numérique permet de voir l'influence du lieu de plongeon sur le temps final réalisé par le cycliste, en fonction du **type de stratégie de plongeon**.



CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce projet de modélisation et d'optimisation a permis de :

- Valider un **modèle physique** permettant de simuler les courses cyclistes et de mesurer les données d'un coureur en fonction de ses performances ;
- Proposer des **conseils adaptés** pour choisir quelques paramètres en fonction de la physiologie des athlètes.

Le gain de temps estimé en choisissant son braquet et son lieu de plongeon est proche de 0.2", ce qui peut faire la différence dans des courses qui durent environ 10".

Bien des choses restent à poursuivre ! Entre autres, il s'agirait d'être plus précis encore sur la personnalisation des conseils et sur la vérification des modèles théoriques. Il serait aussi possible d'essayer de prendre en compte les **effets du vent généré** et la **compétition entre deux athlètes** via de la théorie des jeux.

QUELQUES RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Billy Fitton and Digby Symons. A mathematical model for simulating cycling : applied to track cycling. *Sports Engineering*, 08 2018.
- [2] Joseph Keller. A theory on competitive running. *Physics Today - PHYS TODAY*, 26, 09 1973.
- [3] Jean-Romain Rivière. Effet de la vitesse sur les capacités de production de force des membres inférieurs lors d'efforts intenses uniques et répétés. PhD thesis, Université Savoie Mont Blanc, 2020.
- [4] Michael Slawinski and Theodore Stanoev. On modelling bicycle power-meter measurements for velodromes : Motion of centre of mass for individual pursuits. 05 2020.