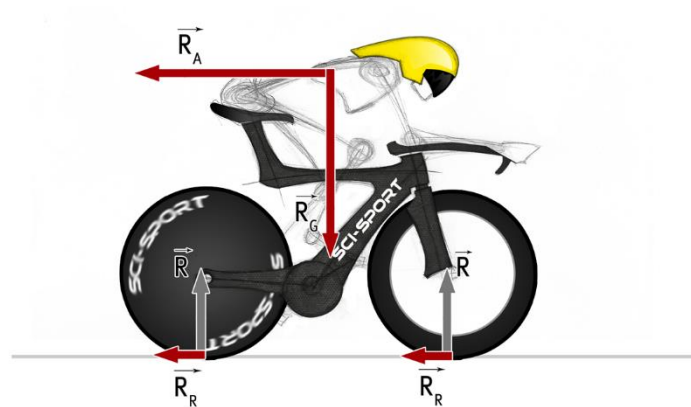


# Biomécanique

---

Analyse des résistances aérodynamiques dans le cadre d'un contre la montre sur terrain plat en cyclisme sur route

UFR STAPS



## 1- Analyse de l'épreuve contre la montre

L'objectif pour le coureur est de parcourir une distance en un minimum de temps, ce genre d'épreuve est parfois décisif dans les classements généraux. Les coureurs disposent d'un vélo spécifique conçu pour « fendre l'air » et permettent aux coureurs d'avoir une position plus aérodynamique, notamment grâce aux prolongateurs et à une différence de hauteur selle-poste de pilotage conséquente. Les nouvelles méthodes de mesures des résistances aérodynamiques permettent de mettre en avant les éléments importants impactant la résistance aérodynamique comme le choix du casque, le textile... ect mais surtout la position du coureur ! Sur terrain plat, à vitesse constante le coureur est soumis à deux forces contre lesquelles il doit lutter : Les forces de résistances au roulements et les résistances aérodynamiques. Lors d'une ascension, la vitesse diminue pour une même puissance : le poids devient la résistance majeure qui s'oppose au déplacement. L'engagement de l'athlète étant maximal, il doit se sentir à l'aise avec sa machine : la part du confort doit être prise en compte dans l'élaboration de la position.

Note : Certaines côtes du vélo doivent répondre à un règlement très strict établi par l'UCI

### Facteurs biomécaniques de la performance en contre la montre

Ainsi, on peut placer la position du coureur au centre :

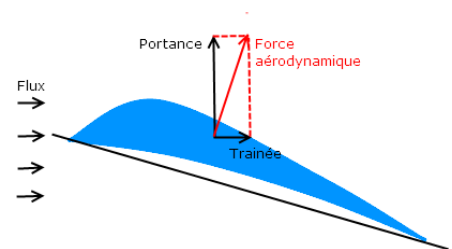
- ⇒ **La position détermine la biomécanique de pédalage** : comment transmettre au mieux les forces produites au niveau des muscles en préservant les différentes structures (mouvements répétés) ? L'analyse EMG est intéressante pour comprendre comment se construit musculairement un cycle de pédalage, l'analyse vidéo peut intervenir pour une mesure d'angles articulaires.
- ⇒ **La position du coureur influe sur les résistances aérodynamiques** : comment se positionner pour les réduire et ainsi aller plus vite pour un même niveau de puissance ?

## 2- Les résistances aérodynamiques : explications

Une résistance aérodynamique se caractérise par :

- ⇒ La portance (vers le haut)
- ⇒ La trainée (vers l'arrière)

La portance étant quasiment nulle en cyclisme, la trainée correspond alors à la seule composante de la résistance aérodynamique qui s'oppose à l'avancement du cycliste, **on parle alors de trainée aérodynamique**



Avec :

$C_r$  = coefficient de roulement

$M$  = masse en kg

$G$  = accélération de la gravité

$\rho$  = Densité de l'air en  $\text{kg.m}^3$

$V_{air}$  = Vitesse de déplacement + vitesse du vent (positif si contre, négatif si derrière) en m/s

$V_d$  = vitesse de déplacement en m/s

$$P_{méca\ totale} (W) = (\overrightarrow{Rroulement} + \overrightarrow{Rair}) \times V_d$$

$$\overrightarrow{Rroulement} (N) = C_r \times m \times g$$

$$\overrightarrow{Rair} (N) = \frac{\rho}{2} \times SCx \times V_{air}^2$$

$$P_{air} (W) = \overrightarrow{F_{air}} \times V_d$$

La résistance aérodynamique est alors proportionnelle à : **la densité de l'air, le coefficient de trainée aérodynamique et la vitesse de l'air.**

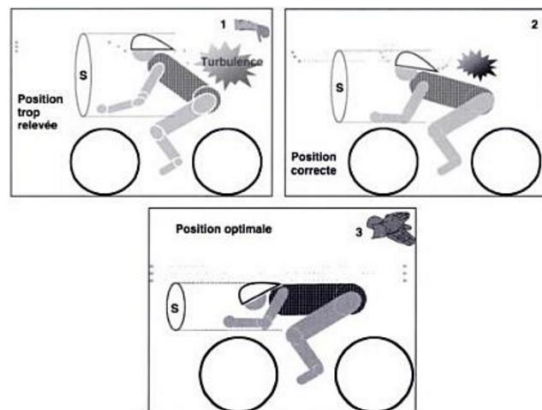
- ⇒ Ainsi, plus le cycliste ira vite et plus les résistances de l'air seront grandes : pour une vitesse < à 40km/h, elles représentent au moins 85-90% de la résistance totale<sup>1</sup> ! On comprend donc l'importance du facteur aéro en cyclisme...
- ⇒ Le coefficient de trainée aérodynamique constitue un facteur qui peut être amélioré, notamment par la position : **plus il sera faible, plus les résistances à l'air seront faibles et donc à puissance égale, le cycliste ira plus vite !! = meilleure performance**

« Une diminution de 10% de la traînée entraîne une diminution similaire de la puissance développée pour maintenir la même vitesse de déplacement : on comprend alors mieux l'intérêt d'optimiser la position du coureur »<sup>2</sup>

## Construction de la traînée aérodynamique en cyclisme : Le « SCx »

Le SCx correspond au produit de 2 éléments :

- ⇒ **La surface projetée** par le système coureur-bicyclette perpendiculairement au flux d'air (« surface frontale », en m<sup>2</sup>)
- ⇒ **Le coefficient de forme**, sans unité, tient en compte de la viscosité du fluide et du diamètre du corps en mouvement. Il est représentatif de la forme du système coureur + vélo en déplacement et dépend de la position du coureur, du caractère profilé des différents segments, de la texture de la surface du textile... ect



Plus l'écoulement de l'air sera laminaire, c'est-à-dire lorsque les couches avoisinantes d'air glissent les unes à côté des autres, et moins le Cx sera important. C'est l'inverse pour un écoulement dit « turbulent » (filets d'air désorganisés).

L'objectif dans l'établissement de la position la plus aérodynamique pour un coureur sera alors de :

**Minimiser la surface frontale (principalement) et créer un profil aérodynamique (déjà très largement défini par le profil aéro des différents segments et de l'équipement)**

### 3- Méthodes pour caractériser l'aérodynamisme du coureur

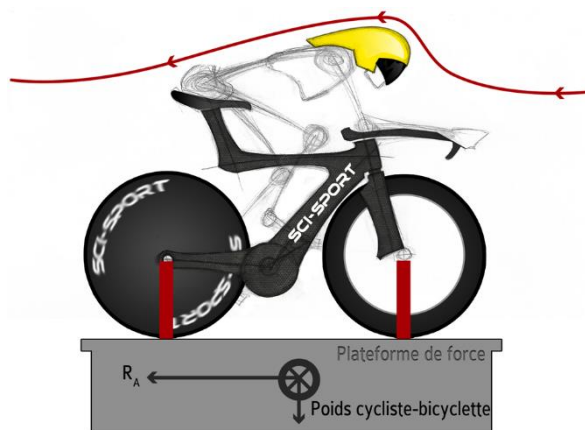
L'analyse en soufflerie constitue la méthode de référence utilisée pour la mesure d'un SCx. Le flux d'air est appliqué artificiellement, l'ensemble vélo + coureur est disposé sur une plateforme de force qui mesure la traînée aérodynamique (composante horizontale) : le flux d'air rencontre une résistance lorsqu'il rencontre le coureur, la plateforme de force mesure cette résistance qui correspond à la résistance aérodynamique ( $\overrightarrow{R_{air}}$ )

Une fois que l'on connaît  $\overrightarrow{R_{air}}$  il est possible de déterminer un SCx :  $SCx = \frac{2 \times \overrightarrow{R_{air}}}{\rho \times V_{air}^2}$

Il est ensuite possible de déterminer les différentes composantes du SCx : l'aire frontale projetée peut être évaluée par photographie puis traitement informatique (étalonnage nécessaire). Une fois cette surface connue (en m<sup>2</sup>), le coefficient de forme peut être déterminé :

$$C_x = \frac{2 \times \overrightarrow{R_{air}}}{\rho \times S \times V_{air}^2}$$

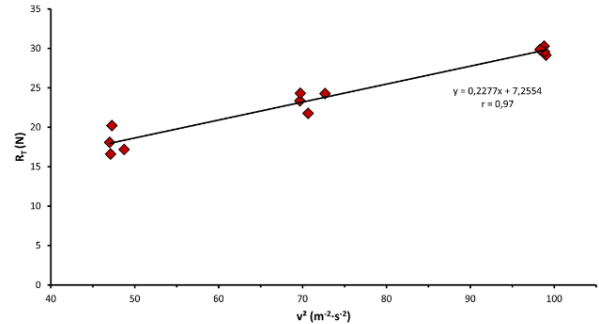
La méthode d'analyse en soufflerie à l'avantage d'être très précise mais représente cependant un coût élevé et présente quelques limites : par exemple les tests réalisés en stationnaires sont peu représentatifs des conditions réelles (roues stationnaires, oscillations dues au pédalage non présentes). Pour les analyses en mouvement, le pédalage peut induire du bruit dans les mesures de la résistance aérodynamique.



## Autres méthodes

L'Analyse par régression linéaire représente une méthode de terrain fiable, très utilisée et relativement facile à mettre en place : on mesure la puissance développée sur terrain plat à différentes vitesses dans une position définie. On obtient alors une puissance moyenne développée pour chaque vitesse de déplacement, on peut alors calculer une résistance totale «  $R_{tot}$  » en newton :  $\overrightarrow{R_{tot}} = \frac{P}{va}$

On peut ensuite créer un nuage de points et obtenir une relation  $R_{tot}$  – Vitesse de déplacement. L'équation de la courbe sous la forme  $\overrightarrow{R_{tot}} = av^2 + b$  nous permet ensuite de déterminer un coefficient de roulement :  $b = Cr \times m \times g$   
Ainsi qu'un  $SCx$  :  $a = 0,5 \times \rho \times SCx$



**Limite principale :** pour appliquer cette méthode, il faut soit connaître avec perfection la direction et l'intensité du vent si cette méthode est appliquée en extérieur ou bien un environnement clos (piste couverte) qui contourne ce problème et permet de définir une vitesse de l'air égale à la vitesse de déplacement.

On peut citer deux autres méthodes permettant d'estimer ce  $SCx$  : La méthode « de remorquage » ou l'on mesure les forces de traction en remorquant un cycliste, et les méthodes d'accélération ou de décélération ou l'on applique la seconde loi de newton :  $\sum F = m \times a$ .

### Proposition d'une méthode de terrain, applicable en extérieur

L'arrivée sur le marché d'un nouveau type de « capteur de puissance » pourrait nous permettre d'évaluer un  $SCx$  et d'apprécier son évolution au cours du temps sur le terrain. Le « *power pod* » n'est pas réellement un capteur de force (pas de jauges de contraintes) mais contient plusieurs outils comme un accéléromètre, un altimètre barométrique et une « sonde pilot » qui mesure la vitesse de l'air avec précision, du même type que celles qui mesurent la vitesse d'un avion. A partir de ces informations, un calcul est réalisé pour déterminer les différentes composantes de la résistance totale et ainsi estimer une puissance développée.



Nous ne l'utiliserons pas pour sa fonction première mais bien pour utiliser les valeurs de vitesse de l'air. Par exemple pour un vent de face de 3m/s et une vitesse de déplacement de 9m/s : la sonde pilot est censée enregistrer une valeur de vitesse de l'air égale à 12m/s.

$$\text{Rappel : } \overrightarrow{R_{tot}} = \frac{\rho}{2} \times SCx \times V_{air}^2 + Cr \times m \times g$$

Couplé à un capteur de puissance pour déterminer  $R_{tot}$ , on peut alors estimer  $SCx$  en résolvant cette équation à une inconnue. On pourrait soit utiliser des valeurs moyennes sur différents intervalles de temps ou bien enregistrer chaque seconde pour apprécier l'évolution du  $SCx$  en fonction de la vitesse de l'air, de la puissance développée... ect La seule difficulté réside dans l'établissement d'un coefficient de roulement mais on peut le définir assez grossièrement en fonction de la pression des pneus et du type de revêtement<sup>1</sup>.

Telle quelle, cette méthode s'applique sur un terrain plat ! On pourrait intégrer cette méthode lors d'une ascension en appliquant cette relation :

$$\overrightarrow{R_{tot}} = \frac{\rho}{2} \times SCx \times V_{air}^2 + M \times g \times \frac{\text{dénivelé}}{\text{distance}} + Cr \times Mg \times \cos \alpha$$

### Sources :

[1] « Cyclisme et optimisation de la performance » 2<sup>nd</sup> édition – Frédéric grappe

[2] « Approche aérodynamique et biomécanique de l'amélioration des performances de cyclistes en course contre la montre » - Thèse de Vincent CHABROUX