

..... **SOMMAIRE**

PUISSANCE ET PERFORMANCE EN CYCLISME

Direction de l'ouvrage par :

- **Frédéric GRAPPE** : Maître de Conférences Universitaire, HDR (UPFR des Sports de Besançon) ; BE 2^{ème} degré cyclisme ; Consultant en Entraînement Sportif ; Entraîneur de l'équipe cycliste professionnelle « Française Des Jeux ».

Ont collaboré à cet ouvrage les auteurs suivants :

- **William BERTUCCI** : Maître de Conférences Universitaire, HDR (UFR-STAPS de Reims)
- **Bertrand BARON** : Maître de Conférences Universitaire, HDR (UFR-STAPS de la Réunion)
- **Mickaël GEORGES** : Manager Timing Sport & Performance, Société MATSPORT.

PUISSANCE ET PERFORMANCE EN CYCLISME

Chapitre I : Modèle holistique du cycliste comme source de puissance développée

- I - La production de la puissance mécanique, un modèle complexe
- II - Vers un modèle holistique du cycliste

Chapitre II : Critères d'évaluation de la validité de la mesure avec un capteur de puissance

- I - Validité d'un capteur de puissance
- II - Caractéristiques principales d'un système de mesure
- III - Qualités et propriétés d'un capteur de puissance
 - 3.1 - Validité de la mesure
 - 3.2 - L'étendue de mesure
 - 3.3 - La sensibilité
 - 3.4 - La précision (fidélité)
 - 3.5 - L'exactitude (justesse)
- IV - Précautions à prendre lors de l'utilisation d'un capteur de puissance
 - 4.1 - Conditions spécifiques d'utilisation
 - 4.2 - Procédure d'étalonnage d'un capteur de puissance
 - 4.3 - Détermination de la pente d'étalonnage
- V - Conclusion
- VI - Références

Chapitre III : La puissance au centre de la performance

- I - La "puissance" de la mesure
- II - Définition de la puissance développée
- III - Les différents systèmes de mesure
 - 3.1 - Les ergomètres de laboratoire
 - 3.1.1 - *Le Monark*
 - 3.1.2 - *Les cycloergomètres à frein électromagnétique*
 - 3.1.3 - *L'Indoortrainer*
 - 3.1.4 - *Le Wattbike*
 - 3.2 - Les home-trainers
 - 3.3 - Les systèmes de mesure embarqués
 - 3.3.1 - *Le SRM Training System*
 - 3.3.2 - *Le PowerTap*
 - 3.3.3 - *L'Ergomo*
 - 3.3.4 - *Le capteur de puissance Polar® S710*
 - 3.3.5 - *L'I-bike*
 - 3.4 - La validité de la puissance mesurée
- IV - Relations entre la puissance et les variables de la performance
 - 4.1 - Savoir interpréter les signaux
 - 4.2 - Relation puissance - fréquence cardiaque
 - 4.3 - Relation puissance - cadence de pédalage
 - 4.4 - Relation puissance - couple de pédalage
 - 4.5 - Relation puissance - perception de l'exercice
 - 4.6 - Relation puissance - inertie du pédalage
- V - Puissance et dépense énergétique
 - 5.1 - Rendement mécanique

- 5.2 - Coût énergétique du déplacement
 - 5.2.2 - *Généralités*
 - 5.2.3 - *Estimation du CE en routine*
 - 5.2.4 - *Evolution du CE avec la cadence de pédalage*
- 5.3 - Coût mécanique du déplacement
- 5.4 - Consommation d'oxygène
- 5.5 - Calcul de la charge d'entraînement ou charge de travail
 - 5.5.1 - *Définition*
 - 5.5.2 - *Charge d'entraînement à partir du travail mécanique*
 - 5.5.3 - *Charge d'entraînement à partir de la dépense énergétique*
 - 5.5.4 - *Charge d'entraînement à partir de la perception de l'effort*

Chapitre IV : Mécanismes mis en place pour contrôler et réguler la puissance pendant l'exercice

- I - Stratégie de gestion de l'effort par une régulation en feedback
 - 1.1 - Stratégie optimale de gestion de l'effort
 - 2.1 - Différentes stratégies de gestion de l'effort
- II - Phénomène de téléanticipation
 - 2.1 - Gestion de la fatigue et contrôle homéostatique durant l'exercice
 - 2.2 - Fatigue durant un exercice à $P_{méca}$ constante dans un environnement chaud
 - 2.3 - Fatigue durant un exercice avec gestion de la $P_{méca}$ dans un environnement chaud
 - 2.4 - Contrôle homéostatique dans d'autres conditions d'exercices
- III - Mécanismes de contrôle du rythme de l'exercice par le cerveau
 - 3.1 - Mécanisme de timing
 - 3.2 - Algorithme de contrôle de téléanticipation
 - 3.3 - Etat émotionnel et mémorisation
 - 3.4 - Importance du jugement lié au temps
 - 3.5 - Utilisation d'une horloge interne scalaire
 - 3.6 - Traitement de l'information entre l'algorithme central et les systèmes physiologiques périphériques
 - 3.7 - Analyse de la stratégie de gestion de l'effort avec l'analyse fréquentielle de la puissance
- IV - Modèles permettant d'étalonner la puissance développée
 - 4.1 - La « neuroplasticité » du cerveau
 - 4.2 - Modèle systémique
 - 4.3 - Modèle central

Chapitre V : Le Profil de Puissance Record (PPR) pour l'évaluation et le suivi du potentiel physique du cycliste

- I - L'Homme, une machine énergétique complexe
- II - Naissance d'un concept : la puissance critique
 - 2-1 - Relation entre l'intensité et la durée de l'effort
 - 2.2 - Le concept de puissance critique
 - 2.3 - Bases mécanistiques du concept de puissance critique et relation avec les zones d'intensité d'exercice
 - 2.4 - Le concept « d'indice d'endurance »
- III - Critique des différents modèles
- IV - Détermination du Profil de Puissance Record (PPR)

- 4.1 - L'avantage du capteur de puissance pour la mesure en conditions réelles
- 4.2 - Comment établir le PPR ?
- 4.3 - PPR et indice d'endurance de Péronnet
- 4.4 - Une méthode simple et peu onéreuse
- 4.5 - Le PPR, un intérêt pédagogique et préventif intéressant
- V - PPR et relation avec le modèle hydraulique holistique de Morton
- VI - Intérêt pratique du Profil de Puissance Record (PPR)
 - 6.1 - Profils de puissance en fonction du type de terrain
 - 6.2 - Profil de puissance sur une course conduisant à épuisement
 - 6.3 - Profil de puissance entre grimpeur et sprinter
 - 6.4 - Profil de puissance en fonction du profil du coureur
- VII - Un PPR « préliminaire »
- VIII - Conclusion
- IX - Références

Chapitre VI : Tests d'évaluation du potentiel physique

- I - La procédure d'évaluation
 - 1.1 - Le test... un outil d'évaluation
 - 1.2 - Buts d'un test d'évaluation
 - 1.3 - Efficacité d'un test d'évaluation
 - 1.4 - Caractéristiques d'un test d'évaluation
 - 1.4.1 - *La validité*
 - 1.4.2 - *La sensibilité*
 - 1.4.3 - *La reproductibilité*
- II - Evaluation de la capacité de performance
- III - Variables et matériel de mesure pour les tests
 - 3.1 - Variables mesurées
 - 3.2 - Outils de mesure utilisés
- IV - Evaluation des qualités d'explosivité « force - vitesse »
 - 4.1 - Source d'énergie anaérobie alactique
 - 4.2 - Protocole du test Force - Vitesse
 - 4.3 - Résultats
 - 4.3.1 - *Evolution de la $P_{méca}$ et de la cadence en fonction du temps*
 - 4.3.2 - *Indice d'explosivité*
 - 4.3.3 - *Relation Force - vitesse*
 - 4.3.4 - *Relation puissance - vitesse*
 - 4.3.5 - *Relation V_{opt} - $P_{méca}^{max}$*
 - 4.4 - Applications pratiques pour l'entraînement
 - 4.4.1 - *Zones spécifiques d'entraînement*
 - 4.4.2 - *Intérêt du travail dans les différentes zones*
 - 4.4.3 - *La chambre à air ... un moyen efficace pour développer la force max*
 - 4.4.4 - *Grandes pistes de travail*
- V - Evaluation de la tolérance au lactate
 - 5.1 - Source d'énergie anaérobie lactique
 - 5.2 - Protocole du test de Wingate
 - 5.3 - Résultats
 - 5.4 - Applications pratiques pour l'entraînement
 - 5.4.1 - *L'amélioration de la force mentale*
 - 5.4.2 - *Modèles de séances d'entraînement*
- VI - Evaluation de la Puissance Maximale Aérobie (PMA)
 - 6.1 - Sources d'énergies

- 6.2 - Protocole du test d'évaluation de la PMA
- 6.3 - Résultats
 - 6.3.1 - *Détermination de la PMA*
 - 6.3.2 - *Relation $P_{méca}$ - FC*
 - 6.3.3 - *Relation $P_{méca}$ - cadence*
 - 6.3.4 - *Relation $P_{méca}$ - difficulté de l'effort (CR_{10})*
 - 6.3.5 - *Relation $P_{méca}$ - Rendement mécanique*
- 6.4 - Applications pratiques pour l'entraînement
- VII - Evaluation de la puissance et de la stratégie de gestion de l'effort au seuil anaérobie
 - 7.1 - Réponses physiologiques
 - 7.2 - Protocole du test d'évaluation (test sur 20 min)
 - 7.3 - Résultats
 - 7.4 - Applications pratiques pour l'entraînement
- VIII - Evaluation de la finesse perceptive dans les différentes zones d'intensité
 - 8.1 - Réponses physiologiques
 - 8.2 - Protocole du test d'évaluation
 - 8.3 - Résultats
 - 8.4 - Applications pratiques pour l'entraînement
- IX - Conclusion
- X - Références

Chapitre VII : Détermination des zones d'intensité en fonction de la puissance développée

- I - Zones d'intensité d'exercice et profil de puissance record
 - 1.1 - Détermination des principales zones d'intensité
 - 1.2 - Influence de l'entraînement sur les principales zones d'intensité
 - 1.3 - Le Profil de puissance record pour la détermination des différentes zones d'intensité
 - 1.3.1 - *PPR et intensité de l'exercice*
 - 1.3.2 - *Détermination des intensités spécifiques de travail en cyclisme*
- II - Relation entre les zones d'intensité et la perception de l'effort
 - 2.1 - Le corps comme outil d'évaluation perceptif
 - 2.2 - Caractérisation des critères perceptifs dans les différentes zones d'intensité
 - 2.2.1 - *Zone d'intensité légère [$I_1 < 75\% FC_{max}$; 0-50% PMA]*
 - 2.2.2 - *Zone d'intensité moyenne [$75\% FC_{max} < I_2 < 85\% FC_{max}$; 50-60%PMA]*
 - 2.2.3 - *Zone d'intensité soutenue [$85\% FC_{max} < I_3 < 92\% FC_{max}$; 60-75%PMA]*
 - 2.2.4 - *Zone d'intensité critique [$92\% FC_{max} < I_4 < 96\% FC_{max}$; 75-85%PMA]*
 - 2.2.5 - *Zone d'intensité sur-critique [$96\% FC_{max} < I_5 < 100\% FC_{max}$; 85-100%PMA]*
 - 2.2.6 - *Zone d'intensité sous-maximale [$I_6 = 100\% FC_{max}$; 100-200% PMA]*
 - 2.2.7 - *Zone d'intensité maximale [$I_7 = 90-95\% FC_{max}$; 200-300% PMA]*
 - 2.3 - Donner du sens à l'effort
 - 2.3.1 - *Bien calibrer l'intensité de l'effort*
 - 2.3.2 - *Bien utiliser l'échelle d'ESIE*
- III - Tests permettant la détermination des zones d'intensité
 - 3.1 - Le test de PMA
 - 3.2 - Le test sur 5 min
 - 3.3 - Le test sur 20 min
 - 3.4 - Le Profil de Puissance record (PPR)

- IV - Evolution de la puissance et de fréquence cardiaque avec l'âge
- V - Références

Chapitre VIII : Détermination des résistances à l'avancement avec la mesure de la puissance sur le terrain

- I - Rappels sur les résistances à l'avancement en cyclisme
 - 1.1 - Généralités
 - 1.2 - Détermination de la traînée aérodynamique
 - 1.2.1 - *La masse volumique de l'air*
 - 1.2.2 - *La surface frontale*
 - 1.2.3 - *Le coefficient de pénétration dans l'air*
 - 1.2.4 - *La vitesse de l'air*
 - 1.3 - Détermination de la résistance au roulement
 - 1.3.1 - *Comment diminuer la résistance au roulement ?*
 - 1.3.2 - *Détermination de la résistance au roulement*
 - 1.4 - Détermination de la force de gravité
 - 1.5 - Expression générale de la puissance
- II - Méthodes d'évaluation des résistances avec la puissance
 - 2.1 - Test sur vélodrome
 - 2.1.1 - *Protocole proposé*
 - 2.1.2 - *Spécificité de l'effort sur vélodrome*
 - 2.2 - Test sur route
 - 2.2.1 - *Protocole proposé*
 - 2.3 - Variables à contrôler
- III - résultats
 - 3.1 - Relation entre la puissance et la vitesse
 - 3.2 - Relation entre la résistance totale et la vitesse
 - 3.3 - Analyse de l'évolution du SC_x en poursuite sur piste
- IV - Conclusion
- V - Références

Chapitre IX : Puissance et performance sur route en compétition

- I - Etudes scientifiques
- II - Analyse de la puissance sur le Tour de France 2007
- III - Analyse de la puissance sur le contre-la-montre par équipe du Giro 2008
- IV - Analyse de la puissance sur le Tour de France 2008
 - 4.1 - Analyse des performances des coureurs de l'équipe Garmin - Chipotle
 - 4.2 - Analyse des performances des coureurs des équipes Columbia, Gerolsteiner, Milram et CSC
 - 4.2.1 - *1^{ère} Etape (vallonnée)*
 - 4.2.2 - *3^{ème} Etape (plate)*
 - 4.2.3 - *4^{ème} Etape (contre-la-montre individuel)*
 - 4.2.4 - *8^{ème} Etape (vallonnée)*
 - 4.2.5 - *9^{ème} Etape (haute montagne pyrénéenne)*
 - 4.2.6 - *10^{ème} Etape (haute montagne pyrénéenne)*
 - 4.2.7 - *11^{ème} Etape (moyenne montagne)*
 - 4.2.8 - *12^{ème} Etape (moyenne montagne)*
 - 4.2.9 - *14^{ème} Etape (moyenne montagne)*
 - 4.2.10 - *15^{ème} Etape (haute montagne alpestre)*

- 4.2.11 - 16^{ème} Etape (haute montagne alpestre)
- 4.2.12 - 17^{ème} Etape (haute montagne alpestre)
- 4.2.13 - 18^{ème} Etape (moyenne montagne)
- 4.2.14 - 20^{ème} Etape (contre-la-montre individuel)
- 4.2.15 - 21^{ème} Etape (Les Champs Elysées)

V - Analyse de la puissance sur le prologue du Tour de Californie 2009

VI - Analyse de la puissance sur le Tour de France 2009

5.1 - 1^{ère} étape (contre-la-montre individuel)

5.2 - 9^{ème} étape (haute montagne)

5.3 - Avant dernière étape (haute montagne)

VII - Analyse de la puissance sur le Tour de France 2010

7.1 - 17^{ème} étape (haute montagne)

VIII - Conclusion

IX - Références

Chapitre X : Puissance et performance en BMX

I - Présentation de la discipline

II - Caractéristiques des pilotes et facteurs de performance sur la piste

III - Mesure de la puissance sur le terrain

3.1 - Caractérisation des différentes relations au niveau musculaire

3.2 - Mesures réalisés sur piste en conditions réelles

IV - Références

Chapitre XI : Estimation de la puissance en cyclisme avec la mesure indirecte

I - Mesure avec système de chronométrage

II - Mesure avec systèmes embarqués

III - Mesure avec la technologie GPS en temps réel

3.1 - Principe de la mesure

3.2 - Validité des données GPS

IV - Conclusion

V - Références

Chapitre XII : Foires aux questions

I - Entraînement

II - Tests d'évaluation

III - Home-trainer

IV - Position

V - PMA et VMA

VI - Zone d'intensité

VII - Fréquence cardiaque

VIII - Capteurs de puissance

IX - Développement de la force

X - Fractionné

XI - Blessures

XII - Braquet

XIII - Aérodynamisme