

## Biomécanique et optimisation de la performance sportive

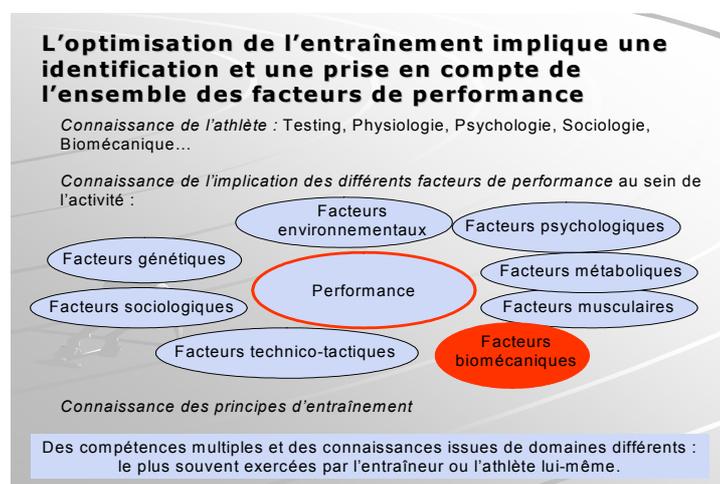
**Sébastien MOUSSAY**  
UFR STAPS de Caen

Mon intervention s'inscrit dans une perspective d'optimisation de la performance sportive, elle s'adresse à ce titre à tous les sportifs, sans distinction de niveau. Alors que maximiser la performance consiste à essayer d'atteindre les limites du possible, l'optimisation de performance, difficilement quantifiable, consiste à mettre en relation des moyens adéquats avec un objectif. Cette optimisation implique une prise en compte du contexte, des spécificités de l'individu lui-même et de l'objectif recherché.

Classiquement, on réduit la démarche d'optimisation à l'association d'une charge d'entraînement à un niveau de performance visé. Elle peut, sans modifier le volume de l'entraînement, consister à en modifier l'organisation pour parvenir à un niveau de performance supérieur. Inversement, pour un niveau de performance donné à atteindre, on peut optimiser l'entraînement en diminuant le volume de charge.

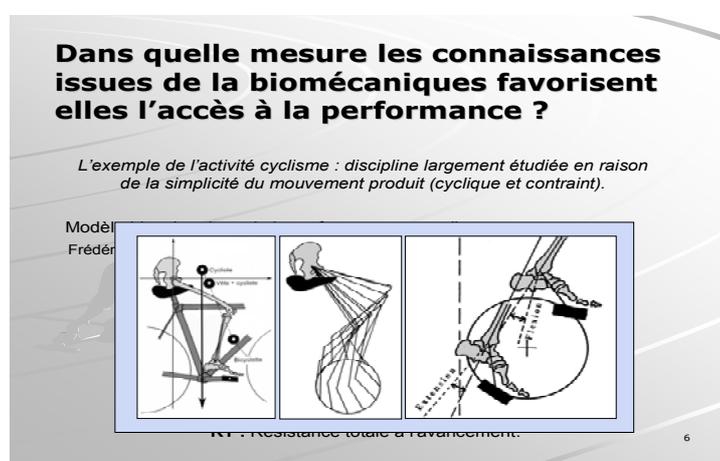
Pourtant l'optimisation doit être vue comme une démarche plus complexe, qui implique une connaissance précise de l'ensemble des facteurs d'accès à la performance, à commencer par l'athlète. La connaissance du sportif implique de maîtriser les procédures de testing, mais aussi de s'appuyer sur des connaissances issues de la physiologie, de la psychologie, de la sociologie et de la biomécanique. Enfin, la connaissance des principes de l'entraînement permet de planifier les charges.

L'optimisation réclame donc des compétences multiples et des connaissances issues de domaines différents, le plus souvent réunies dans la personne de l'entraîneur, voire parfois de l'athlète.



Alors qu'elle est souvent négligée, la biomécanique s'avère importante. Elle est définie comme l'étude de la physique et de ses systèmes mécaniques appliquée à l'homme. Elle vise à identifier les mécanismes cognitifs responsables de l'initiation et de l'organisation du mouvement, les paramètres du mouvement produit et les forces et contraintes s'opposant ou contrariant le mouvement. Contrairement aux préjugés des entraîneurs, j'ai le sentiment que la biomécanique ne constitue pas une science complexe éloignée des réalités du terrain.

On peut s'intéresser à présent à l'application des connaissances biomécaniques à l'optimisation de la performance. Prenons pour exemple l'activité de pédalage qui consiste en un mouvement cyclique et contraint, facile à modéliser.



Dans l'équation proposée par Frédéric Grappe (2005), la vitesse de déplacement (**Vd**) dépend à la fois des forces motrices appliquées à la pédale (**F**), de la longueur de manivelle (**L**), de la fréquence de pédalage (**ω**) et de la résistance totale à l'avancement (**RT**) :

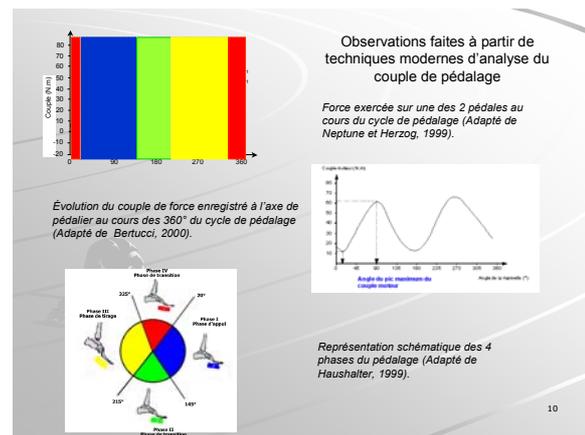
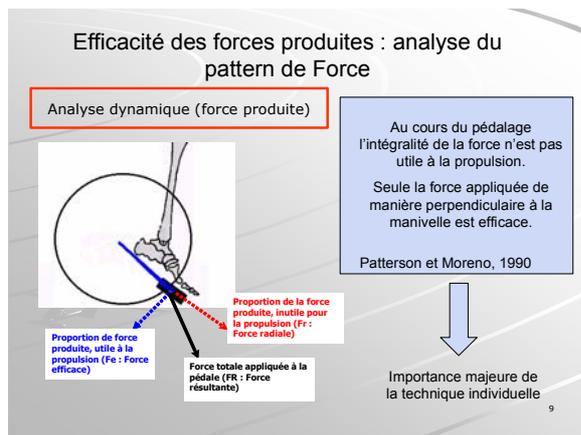
$$Vd = (F.L. \omega) / RT$$

Je me propose de montrer comment chaque terme de l'équation peut faire l'objet d'une optimisation.

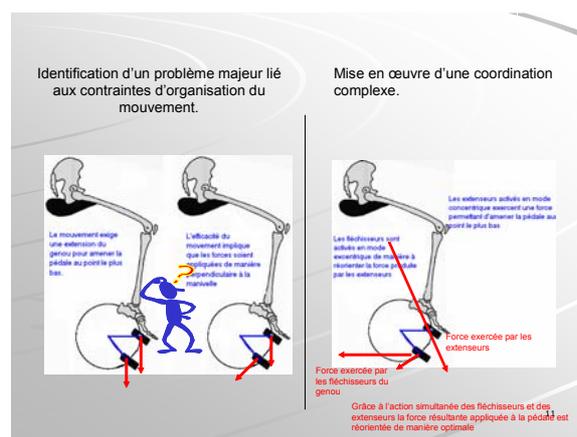
La minimisation de la résistance totale a fait l'objet de nombreux travaux d'aérodynamiques, mais aussi de réduction des frottements ou du poids du couple homme/machine.

Mon étude est centrée sur la force efficace appliquée (**F**) et la fréquence de pédalage (**ω**). Les travaux publiés ces dernières années montrent l'importance de ces deux facteurs d'accès à la performance et mettent en évidence un lien direct entre force produite et fréquence utilisée. Enfin, nous verrons qu'un travail spécifique réalisé à l'entraînement permet de moduler ces variables.

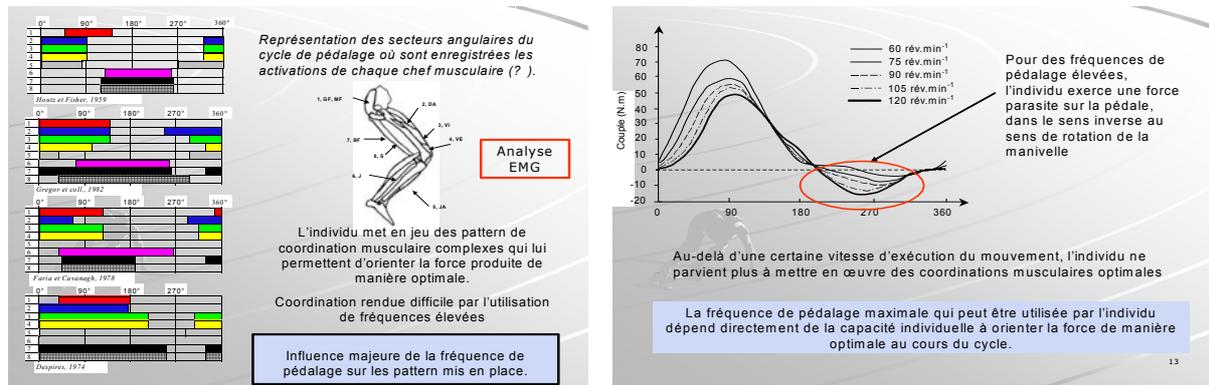
La force totale appliquée à la manivelle se divise en une force efficace (**Fe**) directement utile à la propulsion, et en une force induite ou force radiale (**Fr**), inutile. Pour assurer l'efficacité du pédalage, c'est-à-dire que **Fe** se rapproche de **F**, il faut que la force de pédalage soit appliquée perpendiculairement à la manivelle. La technique individuelle revêt donc une importance majeure.



Une illustration présentant l'évolution de la force efficace produite au cours des 360° du cycle sur une pédale montre que celle-ci atteint des valeurs maximales lorsque la pédale se trouve à 90° (manivelle à l'horizontale). En revanche, lorsque la pédale est en phase de remontée (à partir de 180°), une force négative est appliquée à la pédale. L'analyse appliquée aux deux pédales révèle une variation sinusoïdale de la force propulsive totale avec deux pics, à 90° et à 270°. On distingue donc deux phases de transition, lorsque la manivelle est à la verticale, où le pédalage est le moins efficace.

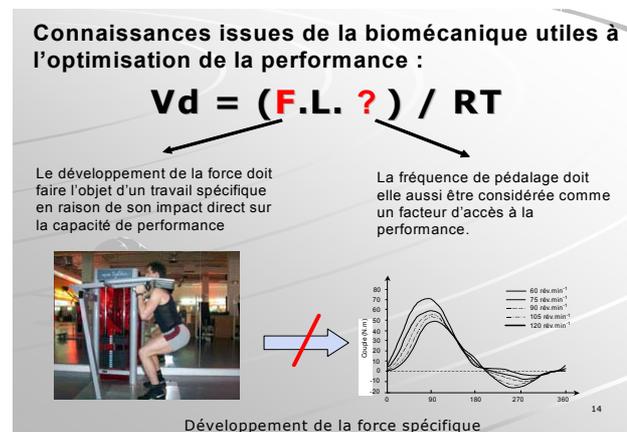


Quand l'individu pédale, il amène la pédale au point le plus bas du cycle grâce à un mouvement d'extension du genou. En revanche, l'efficacité réclame que la force soit appliquée perpendiculairement à la manivelle, ce qui implique de la ramener en arrière, utilisant pour cela une flexion du genou. L'individu met donc en œuvre une coordination complexe au cours de laquelle il contracte à la chaîne des extenseurs et les fléchisseurs du genou qui réorientent la force.



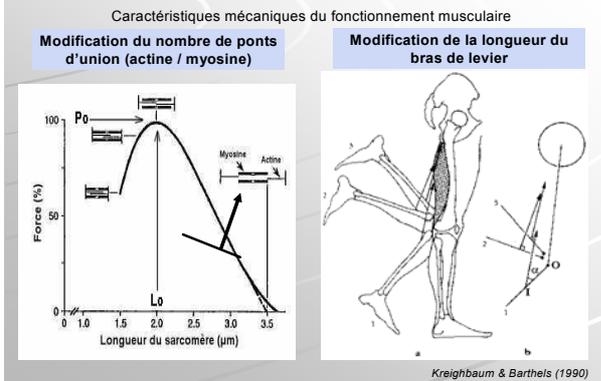
Or les expériences montrent que cette coordination difficile est altérée et perturbée par la fréquence de pédalage. De plus, en augmentant la fréquence, l'individu diminue le pic de force généré, mais la force parasite appliquée à la pédale en phase de remontée (à partir de 180°) augmente. Ainsi, la fréquence de pédalage maximale utilisable par l'individu dépend directement de sa capacité à orienter la force de manière optimale au cours du cycle.

L'expérience a donc montré d'une part que le développement de la force, affectant directement la performance, doit faire l'objet d'un travail de renforcement musculaire spécifique, et d'autre part que la vitesse de pédalage est un facteur d'accès à la performance en raison du lien direct entre les deux facteurs. En revanche, un gain de force donné en salle de musculation ne se traduit pas entièrement dans l'exécution du geste.

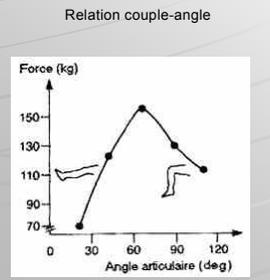


Les modalités de développement d'une force spécifique renvoie aux caractéristiques mécaniques du fonctionnement musculaire. En effet, la formation des ponts actine/myosine dépend du secteur angulaire dans lequel se situe l'articulation. De plus, la longueur du bras de levier séparant la force développée du centre rotation, c'est-à-dire du genou, évolue en fonction de l'angle. On peut en déduire une relation entre la force et l'angle articulaire, abondamment étudiée. Or un travail de musculation spécifique peut produire des gains spécifiques aux angles de travail.

**Problématique liée au développement de la force spécifique ?**

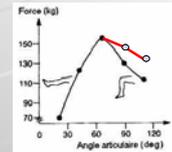


**Il en résulte une relation directe entre l'angle de travail et la force maximale produite**



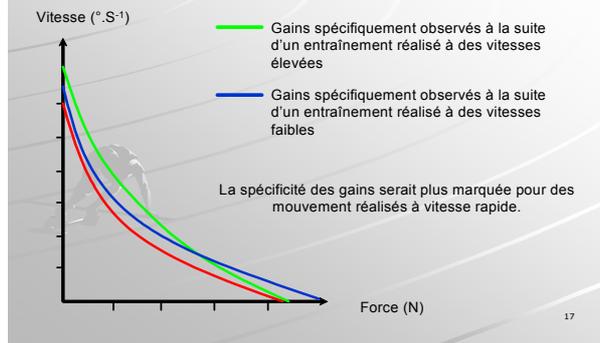
**Prise en considération pour la conduite de l'entraînement sportif**

Attention spécificité des gains aux angles de travail



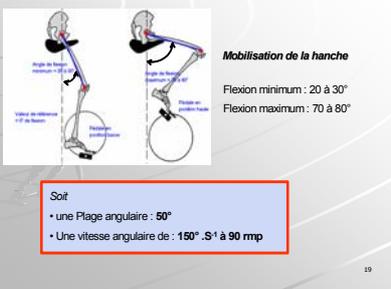
La contraction musculaire se caractérise également par une relation entre force et vitesse angulaire : la vitesse d'exécution du mouvement est liée à la force maximale qu'elle peut générer au cours de celui-ci. Pour des vitesses élevées, la force développée est faible, et inversement. Plusieurs études concluent qu'un entraînement conduit sur des vitesses spécifiques produit des gains sur cette gamme spécifique.

**Relation Force / Vitesse angulaire : la vitesse d'exécution du mouvement dépend de la force qui lui est opposée (et réciproquement)**

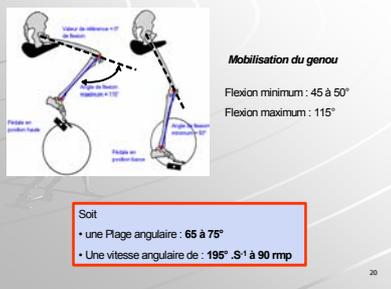


Les analyses cinématiques contribuent à la spécification des charges de travail en précisant les plages angulaires des articulations impliquées dans le pédalage (hanche, genou, cheville) et les vitesses angulaires utilisées.

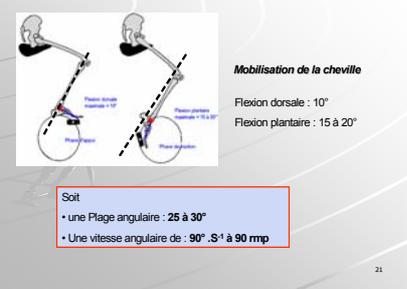
**Intérêt de l'analyse cinématique de l'activité :**



**Intérêt de l'analyse cinématique de l'activité :**



**Intérêt de l'analyse cinématique de l'activité :**



Tout en reconnaissant la nécessité du renforcement musculaire, je prône une mise en adéquation de ce renforcement avec les caractéristiques de l'activité par le biais d'exercices spécifiques. Attention, les résultats ici présentés sont issus d'études conduites sur des mouvements mono-articulaires à vitesse constante ils faut donc être prudent quant à leur extrapolation.

En conclusion, je soulignerai les progrès permis par les techniques modernes d'analyse du mouvement. Les nouvelles connaissances sont directement réutilisables dans la conception de l'entraînement et applicables à toutes les disciplines sportives. Elles contribuent à mieux identifier les facteurs de la performance et à mettre en adéquation les méthodes d'entraînement avec des objectifs précis. Les bénéfices vont d'une meilleure compréhension de l'activité à une réduction des temps d'entraînement favorisant une meilleure récupération, donc une réduction des risques de blessure comme des risques de dérives.

## **Questions de la salle**

### **Un participant**

Comment peut-on déterminer la vitesse de pédalage optimale pour chaque individu ?

#### **Sébastien MOUSSAY**

Il est impossible de la déterminer arbitrairement car elle est propre à chaque individu et dépend de la combinaison de facteurs physiologiques et biomécaniques. Une pédale équipée de capteurs permettant de mesurer les forces, et offrant ainsi à l'individu la possibilité d'adapter son cycle individuel constitue un outil d'étude intéressant. Cependant, seul un nombre très limité de laboratoires est équipé de cet appareil encore à l'état de prototype.

### **Un participant**

J'ai pu constater que les cyclistes déterminaient eux-mêmes la fréquence de pédalage lors de l'évaluation. Quel que soit le niveau de pratique considéré, cette fréquence est très variable d'un individu à l'autre.

#### **Sébastien MOUSSAY**

On ne doit pas confondre la fréquence spontanée avec la fréquence optimale en fonction d'un objectif. La fréquence spontanée est toujours la fréquence optimale pour l'individu considéré dans une situation d'exercice précise. L'individu s'adapte donc à ses moyens en rapport avec une situation contraignante. Par contre on peut considérer parfois que cette fréquence est inadéquate pour atteindre un objectif de performance donnée. Dans ce cas, seule une procédure d'entraînement spécifique permettra de faire évoluer cette fréquence en agissant sur les facteurs qui la conditionnent.