

Les sciences et le vélo

Guillaume KON KAM KING

Collegio Carlo Alberto
Moncalieri

17 avril 2016 / Semaine des Maths à Turin

Brève présentation: Études

- Lycée **Charlemagne** à Paris, filière scientifique
- Prépa **Louis le Grand** à Paris, physique-chimie
- École Normale Supérieure de Cachan (**ENSC**), physique
- National Taiwan University (**NTU**) à Taipei, physique
- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (**EPFL**), physique

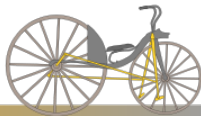
Brève présentation: Recherche

- École Polytechnique Fédérale de Lausanne (**EPFL**)
- **ISI** Foundation, Turin
- Université **Claude Bernard**, Lyon (Doctorat en biostatistique)
- **Collegio Carlo Alberto**, Moncalieri

Histoire du vélo, évolution



1818
draisine
Karl von Drais
Germany



1830
two-wheel velocipede
Thomas McCall
Scotland



1860
pèda-bicycle
Pierre Michaux
France



1870
high-wheel bicycle
James Starley
France



1885
safety bicycle
John Kemp Starley
England



1960s
racing bike
--
USA



Mid 1970s
mountain bike
--
USA

Et maintenant



Variations autour d'un même thème ?

Et maintenant



Le vélo et la semaine des maths: un sujet de recherche à part entière

Plusieurs revues scientifiques traitent du sujet: Cycling Science, Journal of Sports Sciences

Quelques thèmes de recherche:

- Équilibre du vélo
- Modélisation des forces
- Amélioration des performances
- Influence du cycliste
- Effet sur le cycliste

Sommaire

- 1 Équilibre et stabilité de la bicyclette
- 2 Considérations énergétiques et amélioration de la vitesse

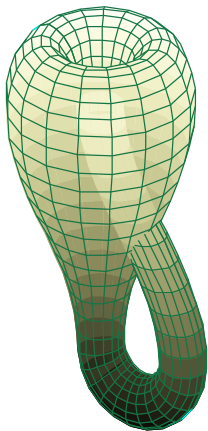
Un vélo possède une stabilité propre



Une énigme persistante

- **1869** Rankine (pionnier de la thermodynamique): Effet de tourner le guidon dans le sens de la chute pour rétablir l'équilibre
- **1899-1901** Whipple and Carvallo (Météorologue et physicien anglais, mathématicien français): séparément, modèle dynamique de la stabilité encore valable aujourd'hui.
- **1910** Felix Klein et Arnold Sommerfeld (mathématicien, géométrie Riemannienne et physicien, mécanique quantique): livre sur les gyroscopes

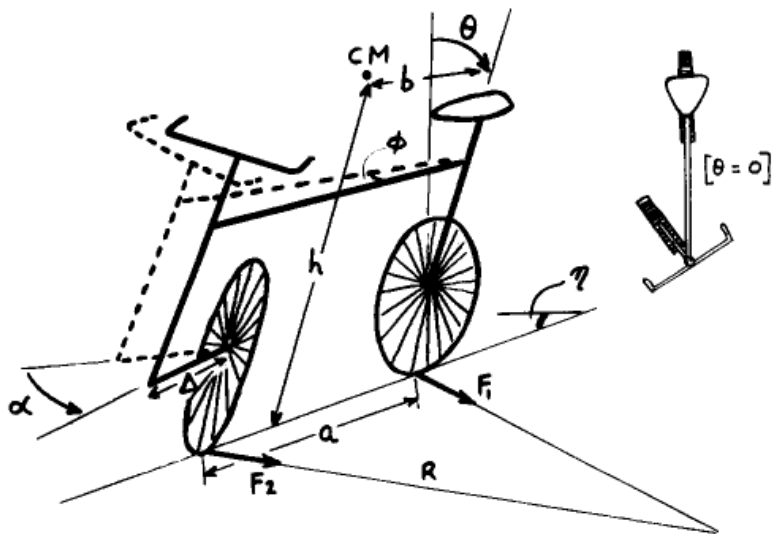
Bouteille de Klein



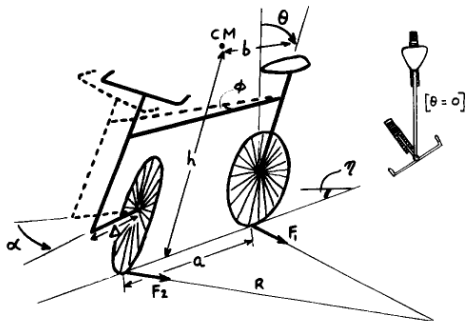
Une énigme persistante

- **1869** Rankine (pionnier de la thermodynamique): Effet de tourner le guidon dans le sens de la chute pour rétablir l'équilibre
- **1899-1901** Whipple and Carvallo (Météorologue et physicien anglais, mathématicien français): séparément, modèle dynamique de la stabilité encore valable aujourd'hui.
- **1910** Felix Klein et Arnold Sommerfeld (mathématicien, géométrie Riemannienne et physicien, mécanique quantique): livre sur les gyroscopes
- **1970** DEH Jones (chimiste): vélos impossibles à conduire
- **2011** Ruina and Schwab, publié dans la revue **Science**

les trois phénomènes en jeu

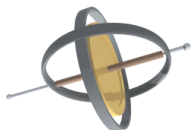


les trois phénomènes en jeu



- Effet gyroscopique
- Effet de chasse (caster/castor effect)
- Répartition des masses

Gyroscope et inertie



- Un solide en rotation autour d'un axe oppose une résistance lorsqu'on cherche à déplacer l'axe
- cette force est liée à la vitesse et la masse \times distance²
- facile pour un point, pour un cerceau (masse \times rayon²)
- pour le cas général, intérêt d'une formulation mathématique

Effet gyroscopique seul ?



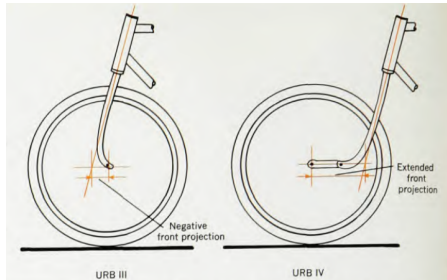
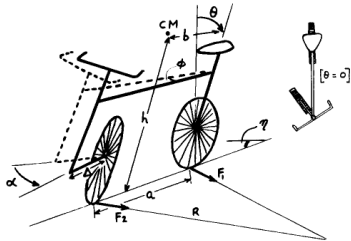
Réaction à une perturbation



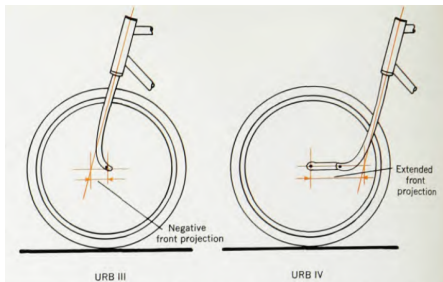
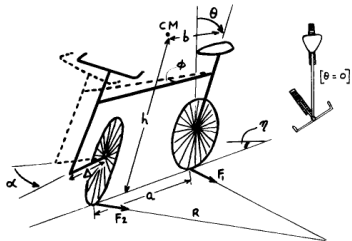
Vélo sans effet gyroscopique (D. Jones, unridable bicycles)



Effet de chasse



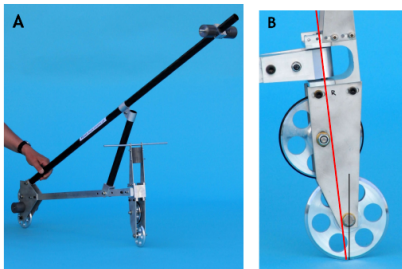
Effet de chasse (D. Jones, unridable bicycles)



Effet de chasse (A. Ruina)



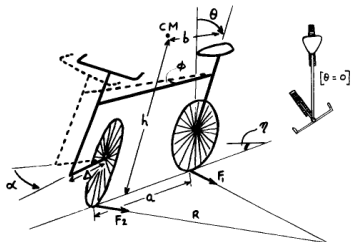
Vélo schématique



- Pas d'effet de chasse
- Pas de couple d'inertie au niveau de la roue

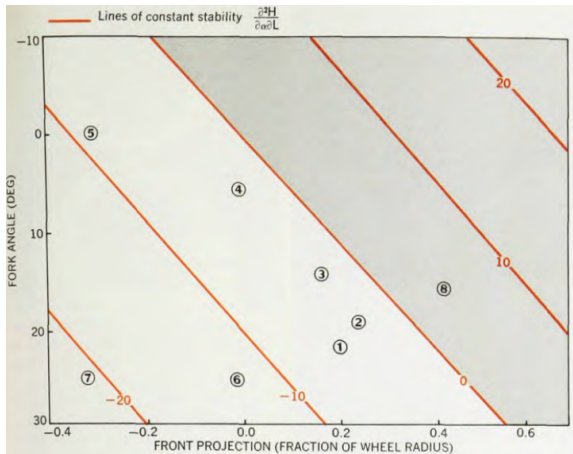
→ pourtant le vélo est toujours stable (répartition des masses)

Modèle du vélo



- Deux équations différentielles couplées, une pour θ et une pour α .
- Font intervenir une combinaison de paramètres du vélo
- Pas de solution analytique, donc compréhension limitée.
- L'analyse des équations permet de dire si un vélo est stable ou non, mais pas d'expliquer ce qui cause la stabilité.

Type de résultats qu'on peut obtenir



STABLE AND UNSTABLE BICYCLES. On this plot of fork angle versus front projection the $\frac{d^2H}{d\alpha^2L}$ lines are lines of constant stability. Grey area shows the unstable region. Point 1 is a normal modern bicycle; 2 is a racing bike. 3 and 4 are high-wheelers (or "penny-farthings") from the 1870's. Point 5 is an 1887 Rudge machine, and 6 is a Lawson "Safety" of 1879. Point 7 is URB III, and point 8, the only unstable bicycle, is of course URB IV.

—FIG. 5

Quelques conclusions (Ruina and Schwab 2011)

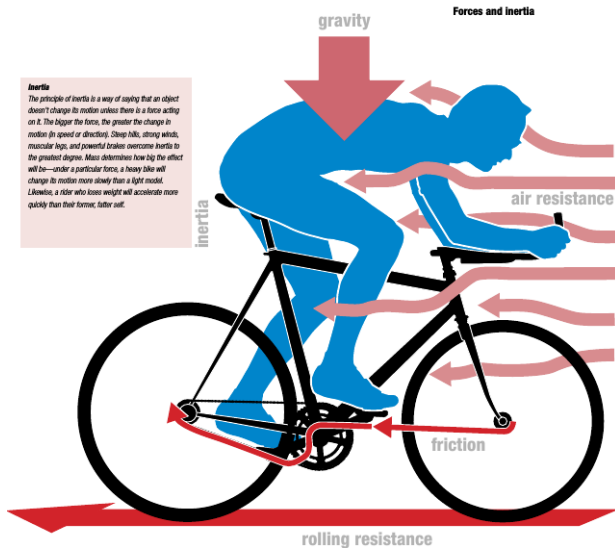
- On n'a pas trouvé de condition simple **suffisante** pour construire un vélo stable (mais on sait dire si un vélo donné sera stable)
- Quelques conditions **universellement nécessaires**:
 - Le guidon doit pouvoir tourner dans le bon sens
 - il doit y avoir au moins un des trois couplages non nul entre l'angle d'inclinaison et de direction
- Les **trois** couples (gyro, chasse, répartition) jouent assurément un rôle important
- On peut toujours rendre stable une bicyclette instable en faisant varier un des paramètres, (ou rendre instable une bicyclette stable)

Efficacité énergétique et vitesse

Quelques questions

- Où est dépensée l'énergie que l'on fournit en pédalant ?
- Comment aller plus vite ou moins se fatiguer ?

Forces

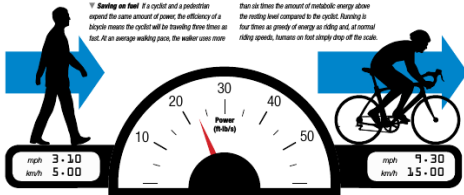


Efficacité du cycliste

Energy efficiency

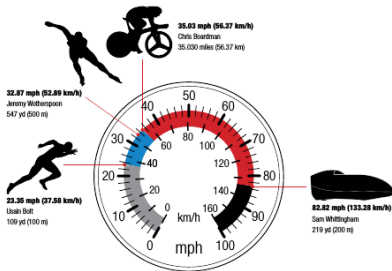
Saving on fuel If a cyclist and a pedestrian expend the same amount of power, the efficiency of a bicycle means the cyclist will be traveling three times as fast. At an average walking pace, the walker uses more

than six times the amount of metabolic energy above the resting level compared to the cyclist. Rowing is four times as greedy of energy as riding and, at normal riding speeds, humans on foot simply drop off the scale.

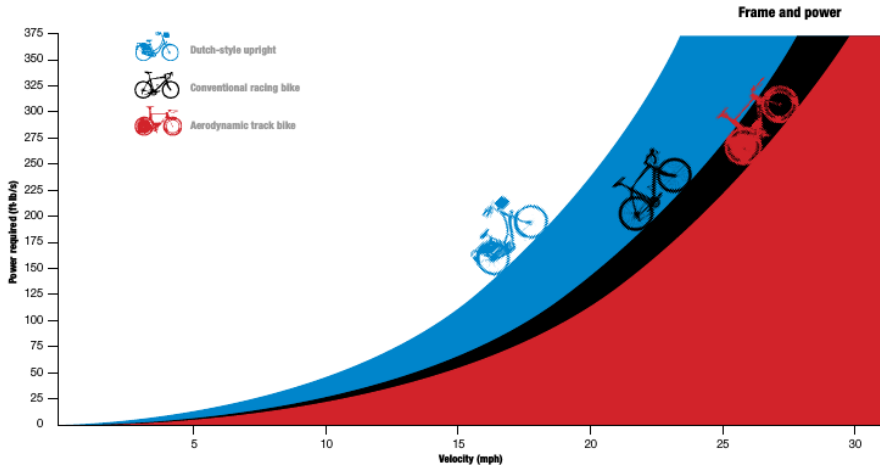


- 3 fois plus rapide pour la même énergie dépensée
- Courir consomme 4 fois plus d'énergie

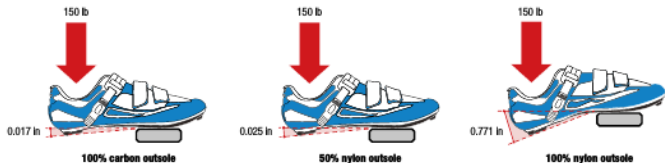
Speed records



Un nouveau vélo ?

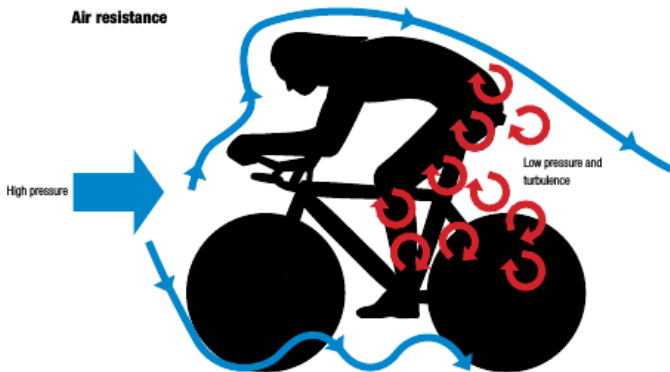


Pertes d'énergie



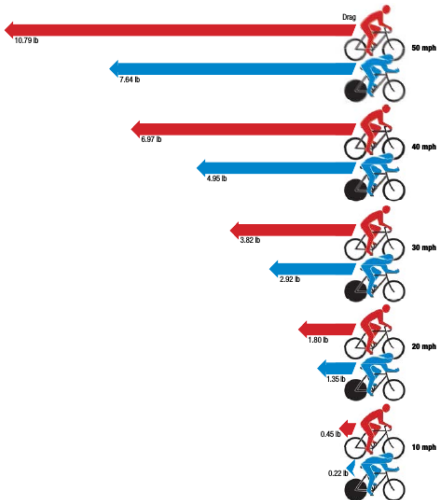
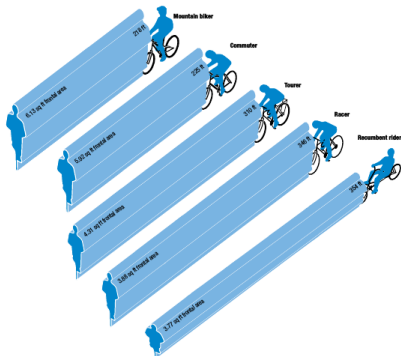
2%

Air resistance

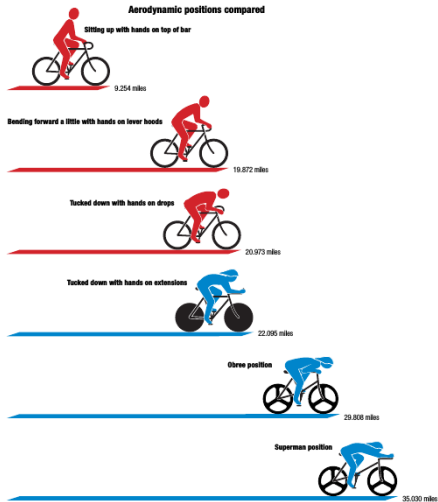
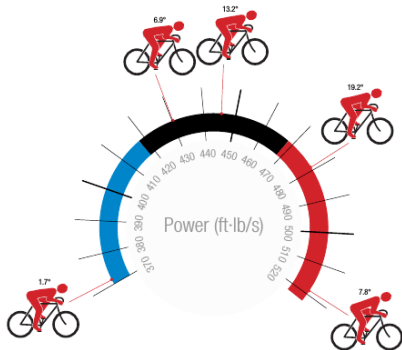


90%

Force de trainée : $\text{Section efficace} \times \text{vitesse}^2$



Comment minimiser l'effort 1/2



Comment minimiser l'effort 2/2

Tests en soufflerie

- Se mettre en second : 61 – 66% de l'effort du premier
- Se mettre en troisième : 57 – 62%
- Après c'est pareil

► **Wheel revolution** *The standard 36-spoke tension wheel with a slim rim is rarely seen on high-end, time-trial bikes today. Sleek aero models are better at minimizing air disturbance.*



Aero rim and 24 tension spokes

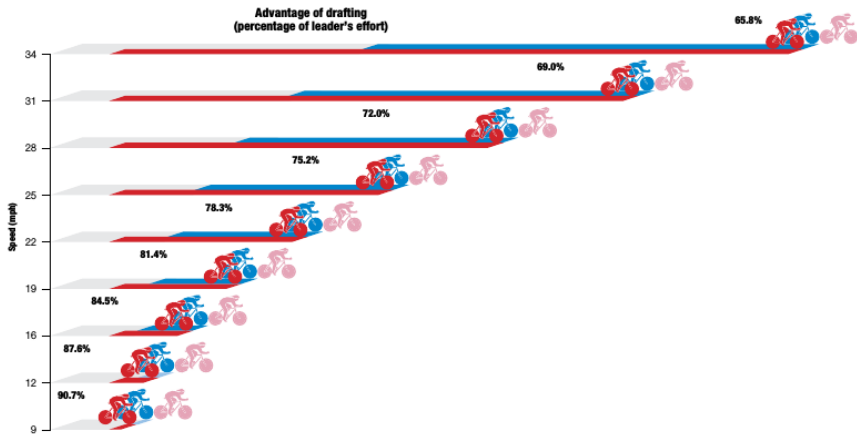


Deep aero rim and three compression spokes



Carbon disc

Travail du second



Comment aller plus vite ?



Comment aller plus vite ?



Conclusion

- On est loin d'avoir tout compris !
- Règles de compétition uniformisent les styles
- Beaucoup de formes de bicyclettes à explorer

- Mathématiques, mais aussi physique, biologie, ingénierie, etc.
- Fournit un ensemble de concepts pour décrire les objets d'étude
- Facile de passer d'un domaine à l'autre, ou de contacter quelqu'un avec qui construire une collaboration.





Merci pour votre attention !

Des questions ?

Crédits graphiques

- www.yeslerappareil.com/wp-content/uploads/2015/06/bicycle-history.png
- www.tumblr.com/search/pinarelo
- **Jour de fête, Jacques Tati**
- www.autoblog.com
- news.discovery.com

Références I

-  Max Glaskin, *Cycling Science: How Rider and Machine Work Together*, University of Chicago Press, 2012.
-  David EH Jones, *The stability of the bicycle*, *Physics today* **23** (1970), no. 4, 34–40.
-  J D G Kooijman, J P Meijaard, Jim M Papadopoulos, Andy Ruina, and A L Schwab, *A Bicycle Can Be Self-Stable Without*, *Science* **332** (2011), no. 5, 339–342.
-  J Lowell and HD McKell, *The Stability of Bicycles*, *American Journal of Physics* (1982), 1106–1112.