

## 0.1 Équilibre de la moto

### 0.1.1 Introduction

L'équilibre étant une sujet vaste, il a fallu partir d'un document plus accessible pour orienter nos recherches. Ayant entendu parler d'un site appelé « Culture Staps<sup>1</sup> », nous avons trouvé un premier document<sup>2</sup> qui expliquait en termes simples les principes d'équilibre d'un vélo, et donnait quatre éléments clés pour déterminer l'équilibre d'un vélo : la chasse, la distance entre les roues (l'empattement), la position du centre de gravité, ainsi que la surface de contact des pneus avec le support. Ce document nous a paru digne de confiance car il provient du site d'un professeur de sport dans une université Française (le centre universitaire Condorcet), ayant de plus écrit un livre sur l'enseignement des activités sportives.

Un autre point de départ a été les sites internet de différents constructeur de motos (Ducati, Honda, BMW, Yamaha) afin de chercher des détails complémentaires sur la chasse, l'empattement et l'inclinaison de la fourche.

### 0.1.2 Mots-clés

Nous avons donc pu dégager un certain nombre de mots-clés qui seraient à la base de nos recherches.

---

1. <http://www.culturestaps.com/>

2. LECA, R. *Biomécanique : l'équilibre*. 2008 (URL: [http://www.culturestaps.com/site\\_g0000b9.pdf](http://www.culturestaps.com/site_g0000b9.pdf)).

Mots-clés	Mots-clés traduits
Chasse	Trail
Vélo	Bicycle
Moto	Motorcycle
Empattement	Wheelbase
Équilibre	Equilibrium
Stabilité	Stability
Inclinaison fourche	Rake angle
Virage	Curve/leaning
Roue	Wheel
Physique	Physics
Mécanique	Mechanical
Dynamique	Dynamic
Force	Force
Route	Road
Géométrie	Geometry

### 0.1.3 Équations de recherche

### 0.1.4 Résultats

Nous avons tout d'abord exploité la bibliographie du document trouvé sur le site *Culture Staps* et avons mis en évidence la source suivante.

JONES, DAVID E. H. *The Stability of the Bicycle*. *Physics Today*, apr 1970

Dans ce document, l'auteur tente de construire un vélo volontairement instable, ce qui nous a aidé à comprendre le rôle de la chasse sur le comportement d'un vélo. L'auteur a publié de nombreux articles dans des revues scientifiques telles que *New Scientist* ou *Nature*, et ce document est cité comme référence dans de nombreux autres documents traitant du sujet. On peut donc lui faire confiance.

Ensuite Nous avons retenu un constructeur dont le site internet proposait un document expliquant le rôle de la chasse, de l'empattement, ainsi que de l'inclinaison de la fourche.

YAMAHA MOTOR *Motorcycle Workshop*. (URL: <http://www.yamaha-motor.eu/>) – visité le 28-10-2011

Ces informations provenant d'un site commercial , elles peuvent être considérées comme valides. De plus, ces informations sont en parfait accord avec celles trouvées dans d'autres sources.

## 0.2 Dynamique de la moto

### 0.2.1 Introduction

Cette partie a pu être divisée en différentes sous-parties liées aux divers phénomènes physiques qui vont régir le mouvement de la moto. Nous avons ainsi :

- l'effet gyroscopique ;
- la description du système ;
- le contrôle dynamique de l'équilibre ;
- les équations du mouvement.

La quasi-totalité des sources trouvées traite de plusieurs de ces points.

### 0.2.2 Mots-clés et équations de recherche

Voici une liste de mots-clés utilisés lors des recherches.

Sujets	Mots-clés	Mots-clés traduits
Effet gyroscopique	Gyrosopes, force, moto, velo, description mathématique	Gyroscopic, force, math description
Paramètres du système	Distances entre les roues, centre de gravité	Wheel base, center of gravity
Contrôle de la moto	Robot, conducteur, conduire	Robot, rider, driving
Dynamique de la moto	Dynamique, moto, vélo, mouvement	Dynamic, motorcycle, bicycle, motion

Pour écrire les équations il a fallu éliminer certains termes qui revenaient de manière abusive lors des recherches. Il a par exemple été nécessaire de mettre de côté les documents traitant d'accidents de

la route. Nous pouvons ajouter que dans les équations suivantes le terme « motorcycle » a systématiquement été changé en « bicycle », ces deux systèmes ne divergeant que par leur source d'énergie. De plus, la vitesse d'un vélo étant beaucoup plus faible, les différentes approximations faites dans ces documents seraient plus à même de correspondre avec notre prototype.

#### **0.2.2.1 Pour la dynamique de la moto**

- dynamic AND motorcycle

#### **0.2.2.2 Pour l'effet gyroscopique**

1. Gyroscope AND moto AND "Description mathématique"
2. couple AND gyroscopique
3. Gyroscopic AND force

#### **0.2.2.3 Pour les paramètres du système**

- Motorcycle AND wheels AND NOT risk AND NOT accident AND NOT helmet
- Motorcycle AND wheelbase AND NOT risk AND NOT accident AND NOT helmet
- Motorcycle AND gravity AND NOT risk AND NOT accident AND NOT helmet

#### **0.2.2.4 Pour le contrôle de la moto**

- motorcycle AND rider AND control

### **0.2.3 Résultats de recherche en fonction du moteur de recherche**

L'entrée des différentes équations de recherches énoncées au point précédent dans différents moteurs de recherche nous a permis de trouver des sources reprises ci-dessous. Les moteurs utilisés sont les suivants :

- CIBLE ;
- Science Direct ;
- Techniques de l'ingénieur ;
- Google scholar.

### 0.2.3.1 CIBLE

COSSALTER, VITTORE *Motorcycle Dynamics*. 2002

Ce livre étudie le système mécanique que constitue la moto et en dresse une description précise. En revanche il n'étudie pas le cas où le véhicule est conduit par un pilote et ne considère pas de contrôle dynamique. Il est utile dans l'étude de la ligne droite ainsi que pour l'entrée dans les virages. Il considère aussi ces problèmes pour des vitesses faibles d'une part et importantes d'autre part, ce qui pourrait nous aider à comprendre l'influence de la vitesse sur l'équilibre. De plus, l'auteur est professeur ordinaire dans la dynamique des véhicules à l'Universita' Degli Studi Di Padova, ce qui nous permet de faire confiance à ce document.

### 0.2.3.2 Science Direct

PACEJKA, HANS *Tyre and Vehicle Dynamics (Second Edition)*. 2006

Le chapitre de ce livre a été écrit par un scientifique qui travaille sur le mouvement des véhicules et en particulier sur des motos depuis longtemps. Il a ainsi acquis une légitimité et une maîtrise du sujet appréciable. Ce chapitre décrit lui aussi le système de la moto mais va envisager la conduite de ladite moto par un conducteur indépendant<sup>3</sup>. Ce conducteur sera modélisé mais aussi pris en compte dans les équations du mouvement. L'auteur envisage aussi différents modèles en fonction des approximations effectuées.

YOKIMORI, MOTOMU, OYA, TAKIO et KATAYAMA, AKIRA *Rider control behavior to maintain stable upright position at low speed*. JSAE Review, vol. 21, jan 2000, Nr. 1

Cet article pose des conditions de stabilité d'un modèle de moto en fonction de la position du centre de gravité du système. Il se base notamment sur d'autres publications de la même série d'articles . Il est ainsi possible de retracer toute la démarche suivie et de trouver facilement des informations supplémentaires à partir de cet article. La validité de cet article peut être appuyée par sa provenance : JSAE s'avère être l'abréviation de « Society of Automotive Engineers of Japan » un organisme fondé en 1947 et qui publie continuellement depuis lors dans le domaine de des sciences et de la technologie.

YAVIN, Y. *The Derivation of the Kinematic Model from the Dynamic Model of a Riderless Bicycle*. Computers & Mathematics with Applications vol. 51, mar 2006, Nr. 6–7

Ce document nous permet d'étudier en détails le cas d'une moto robotisée . Même si le titre du document pourrait faire penser à un système où l'équilibre n'est pas maintenu, il apparait que le

---

3. Et alors ? qu'est-ce que ça implique ?

contrôle de la moto est ici pris en charge par des éléments concrets symbolisés par des moments de forces. Nous pouvons donc l'utiliser pour mettre au point le maintien de l'équilibre. Les publications de l'auteur de cet article sont reprises sur le site de la « Universität Trier » (En Rhénanie-Palatinat). Nous pouvons ainsi supposer qu'ils ont été contrôlés par la communauté scientifique.

ZEVIN, A.A. *On the theory of linear gyroscopic systems*. Journal of Applied Mathematics and Mechanics, vol. 60, 1996, Nr. 2

Cet ouvrage offre une description mathématique complète mais surtout expliquée en détails de l'effet gyroscopique, ce qui est un gage de vérité. En effet nous pouvons retracer cette démarche pour la valider. L'auteur applique cette description à des systèmes et son implication sur l'équilibre de ces systèmes. Nous pouvons donc nous en servir pour aborder l'étude de la moto comme système gyroscopique.

### 0.2.3.3 Google Scholar

MARTINEZ, ALEX *Design and Implementation of a Linear Control System for a Two-wheeled vehicle and a Robotic Bicycle*. DEA, University of Toronto, 2008

Cet écrit est une thèse réalisée récemment et dont le résultat final est une moto issue du kit de LEGO NXT MINDSTORMS. Le modèle que nous allons développer est proche de celui présenté ici aussi, les approximations faites dans le cadre de cette thèse pourront aussi être acceptable dans notre cas.

### 0.2.3.4 Techniques de l'ingénieur

RADIX, JEAN-CLAUDE *Gyroscopes et gyromètres mécaniques avec élément rotatif*. 2000

Ce document explique et décrit d'une façon relativement simple, mais complète, ce qu'est l'effet gyroscopique. Il en donne une description mathématique plus complète que dans les autres ouvrages que nous possédons. L'auteur est ingénieur civil des télécommunications, professeur indépendant et a de nombreuses publications à son actif.

DELCHAMBRE, ALAIN *Mécanique rationnelle II*. 2010

Nous utilisons ce livre d'un caractère plus général de mécanique pour résoudre des équations (Lagrange) ou obtenir des définitions/précisions sur l'inertie d'un système, l'effet gyroscopique etc.

# Table des matières

0.1	Équilibre de la moto . . . . .	1
0.1.1	Introduction . . . . .	1
0.1.2	Mots-clés . . . . .	1
0.1.3	Équations de recherche . . . . .	2
0.1.4	Résultats . . . . .	2
0.2	Dynamique de la moto . . . . .	3
0.2.1	Introduction . . . . .	3
0.2.2	Mots-clés et équations de recherche . . . . .	3
0.2.3	Résultats de recherche en fonction du moteur de recherche . . . . .	4

# Bibliographie

1. COSSALTER, VITTORE: *Motorcycle Dynamics*. 2002, 334 p
2. DELCHAMBRE, ALAIN: *Mécanique rationnelle II*. 2010, 5e édition
3. JONES, DAVID E. H.: *The Stability of the Bicycle*. *Physics Today*, apr 1970, p 34–40
4. LECA, R.: *Biomécanique : l'équilibre*. 2008 [⟨URL: http://www.culturestaps.com/site\\_g0000b9.pdf⟩](http://www.culturestaps.com/site_g0000b9.pdf)
5. MARTINEZ, ALEX: *Design and Implementation of a Linear Control System for a Two-wheeled vehicle and a Robotic Bicycle*. DEA, University of Toronto, 2008
6. YAMAHA MOTOR: *Motorcycle Workshop*. [⟨URL: http://www.yamaha-motor.eu/⟩](http://www.yamaha-motor.eu/) – visité le 28-10-2011
7. PACEJKA, HANS: *Tyre and Vehicle Dynamics (Second Edition)*. 2006, chap 11, 642 p
8. RADIX, JEAN-CLAUDE: *Gyroscopes et gyromètres mécaniques avec élément rotatif*. 2000
9. YAVIN, Y.: *The Derivation of the Kinematic Model from the Dynamic Model of a Riderless Bicycle*. *Computers & Mathematics with Applications* vol. 51, mar 2006, Nr. 6–7
10. YOKIMORI, MOTOMU, OYA, TAKIO ET KATAYAMA, AKIRA: *Rider control behavior to maintain stable upright position at low speed*. *JSAE Review*, vol. 21, jan 2000, Nr. 1, p 61–65
11. ZEVIN, A.A.: *On the theory of linear gyroscopic systems*. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, vol. 60, 1996, Nr. 2, p 227–232