



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

# La leçon perdue de Feynman

## 50-50 club Astro

Y. Delhaye

50-50

27 janvier 2023

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## 1 1<sup>re</sup> démarche

- Enveloppe
- Avec des points
- Variante
- Machines

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- 1 1<sup>re</sup> démarche
  - Enveloppe
  - Avec des points
  - Variante
  - Machines
- 2 2<sup>e</sup> démarche
  - Géométrie
  - Physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## 1 1<sup>re</sup> démarche

- Enveloppe
- Avec des points
- Variante
- Machines

## 2 2<sup>e</sup> démarche

- Géométrie
- Physique

## 3 FGU & trajectoire

- 2<sup>e</sup> loi de Kepler
- Hodographe
- FGU et ellipse
- Grandeur de la vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## 1 1<sup>re</sup> démarche

- Enveloppe
- Avec des points
- Variante
- Machines

## 2 2<sup>e</sup> démarche

- Géométrie
- Physique

## 3 FGU & trajectoire

- 2<sup>e</sup> loi de Kepler
- Hodographe
- FGU et ellipse
- Grandeur de la vitesse et hodographe

## 4 Bibliographie

- Livres



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- origine une capsule vidéo



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- origine une capsule vidéo
- de la chaîne youtube "minutephysics"



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- origine une capsule vidéo
- de la chaîne youtube "minutephysics"
- avec Grant Sanderson comme présentateur invité.





# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- origine une capsule vidéo
- de la chaîne youtube "minutephysics"
- avec Grant Sanderson comme présentateur invité.
- La chaîne youtube "3blue1brown" de Grant Sanderson : remarquable



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- origine une capsule vidéo
- de la chaîne youtube "minutephysics"
- avec Grant Sanderson comme présentateur invité.
- La chaîne youtube "3blue1brown" de Grant Sanderson : remarquable
- mathématiques mais conseil : la consulter



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- capsule : elle-même pour origine livre <sup>1</sup>

---

1. GOODSTEIN, *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.*



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- capsule : elle-même pour origine livre <sup>1</sup>
- "Feynman's lost lecture"

---

1. GOODSTEIN, *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.*



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- capsule : elle-même pour origine livre<sup>1</sup>
- "Feynman's lost lecture"
- de David L. & Judith R. Goodstein.

---

1. GOODSTEIN, *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.*



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- capsule : elle-même pour origine livre <sup>1</sup>
- "Feynman's lost lecture"
- de David L. & Judith R. Goodstein.
- "leçon perdue" de Feynman est à son tour basée sur

---

1. GOODSTEIN, *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.*



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- capsule : elle-même pour origine livre <sup>1</sup>
- "Feynman's lost lecture"
- de David L. & Judith R. Goodstein.
- "leçon perdue" de Feynman est à son tour basée sur
- "Philosophiae naturalis principia mathematica" d'Isaac Newton :

---

1. GOODSTEIN, *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.*



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- capsule : elle-même pour origine livre <sup>1</sup>
- "Feynman's lost lecture"
- de David L. & Judith R. Goodstein.
- "leçon perdue" de Feynman est à son tour basée sur
- "Philosophiae naturalis principia mathematica" d'Isaac Newton :
- le mouvement orbital des planètes autour du Soleil.

---

1. GOODSTEIN, *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.*





# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- lois de Képler justifiées par les lois de Newton



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- lois de Képler justifiées par les lois de Newton
- démonstration se voulant purement géométrique



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- lois de Képler justifiées par les lois de Newton
- démonstration se voulant purement géométrique
- s'abstenir d'utiliser l'analyse



# Introduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- lois de Képler justifiées par les lois de Newton
- démonstration se voulant purement géométrique
- s'abstenir d'utiliser l'analyse
- pas d'équation différentielle

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



2<sup>e</sup> moitié du XVI<sup>e</sup> siècle

# Les meilleures observations à l'œil nu

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

- Des observations compilées sur de longues années

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



# Les meilleures observations à l'œil nu

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Des observations compilées sur de longues années
- Théorie en adéquation avec les observations



# Les meilleures observations à l'œil nu

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Des observations compilées sur de longues années
- Théorie en adéquation avec les observations
- Équipe





# Les meilleures observations à l'œil nu

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Des observations compilées sur de longues années
- Théorie en adéquation avec les observations
- Équipe
- Innovation



# Des instruments de visée inégalés à l'époque

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

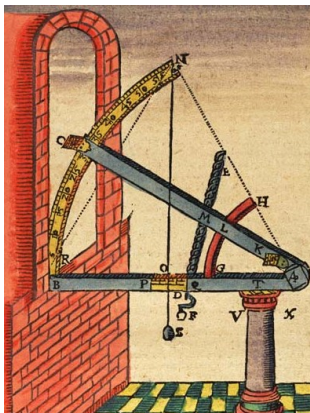
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Fait manufacturer des instruments de mesure de grande qualité



# Des instruments de visée inégalés à l'époque

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

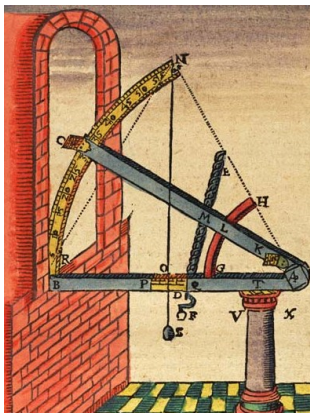
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Fait manufacturer des instruments de mesure de grande qualité
- Certains coûtent des fortunes



# Des instruments de visée inégalés à l'époque

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

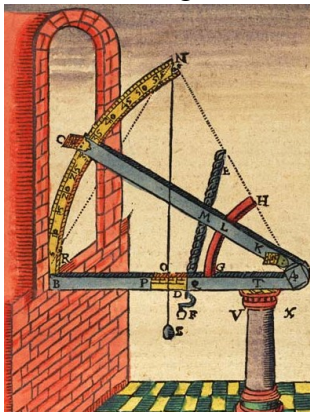
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Fait manufacturer des instruments de mesure de grande qualité
- Certains coûtent des fortunes
- Galilée reprochera "folie des grandeurs"





# Précision

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Avant lui



# Précision

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Avant lui
- précision de l'ordre du degré d'arc



# Précision

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Avant lui
- précision de l'ordre du degré d'arc
- Brahe précision de la minute d'arc

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres





## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

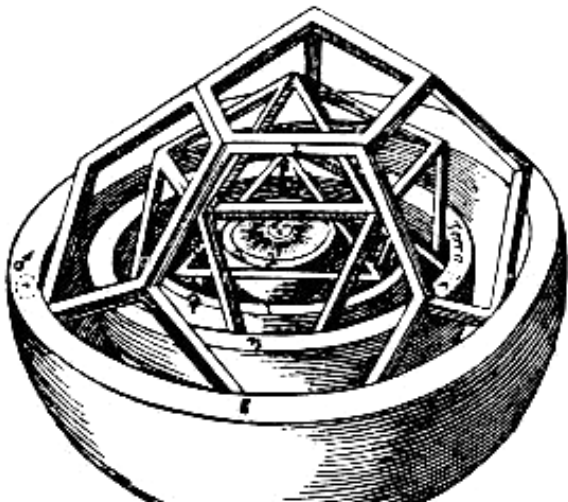
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

## Kepler "obsédé" par la perfection



## Problème : étude de l'orbite de Mars

### ■ Mesures de Brahe :

## Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle

## Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle
- Ellipse :

## Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle
- Ellipse :



# Observations

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle
- Ellipse : pas la pureté du cercle.
- Soleil au foyer

## Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle
- Ellipse : pas la pureté du cercle.
- Soleil au foyer
- Pas au centre de l'ellipse.

## Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle
- Ellipse : pas la pureté du cercle.
- Soleil au foyer
- Pas au centre de l'ellipse.
- Kepler : Loi en  $1/d$



## Problème : étude de l'orbite de Mars

- Mesures de Brahe :
- orbite de Mars pas un cercle
- Ellipse : pas la pureté du cercle.
- Soleil au foyer
- Pas au centre de l'ellipse.
- Kepler : Loi en  $1/d$
- Problème



# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

■ Première loi :

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

- Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

## ■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

- Première loi :
  - Orbites des planètes = ellipse
  - Soleil = foyer
  - Voir le site de Walter Fendt
- Deuxième loi :

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

- Première loi :
  - Orbites des planètes = ellipse
  - Soleil = foyer
  - Voir le site de Walter Fendt
- Deuxième loi :

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

■ Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux



# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

## ■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

## ■ Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux
- Vitesse + grande près du soleil

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

## ■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

## ■ Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux
- Vitesse + grande près du soleil
- Voir le site de Walter Fendt

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

## ■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

## ■ Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux
- Vitesse + grande près du soleil
- Voir le site de Walter Fendt

## ■ Troisième loi :

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

## ■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

## ■ Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux
- Vitesse + grande près du soleil
- Voir le site de Walter Fendt

## ■ Troisième loi :

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

- Première loi :
  - Orbites des planètes = ellipse
  - Soleil = foyer
  - Voir le site de Walter Fendt
- Deuxième loi : (loi des aires)
  - aires égales balayées en temps égaux
  - Vitesse + grande près du soleil
  - Voir le site de Walter Fendt
- Troisième loi :
  - Carré de Période sur Cube du Rayon moyen

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

■ Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

■ Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux
- Vitesse + grande près du soleil
- Voir le site de Walter Fendt

■ Troisième loi :

- Carré de Période sur Cube du Rayon moyen
- constante pour toutes les planètes

# Les trois lois de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Analyse de l'orbite de Mars  $\Rightarrow$  trois célèbres lois.

- Première loi :

- Orbites des planètes = ellipse
- Soleil = foyer
- Voir le site de Walter Fendt

- Deuxième loi : (loi des aires)

- aires égales balayées en temps égaux
- Vitesse + grande près du soleil
- Voir le site de Walter Fendt

- Troisième loi :

- Carré de Période sur Cube du Rayon moyen
- constante pour toutes les planètes

- $$\frac{T_t^2}{R_t^3} = \frac{T_j^2}{R_j^3} = \text{cste.}$$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

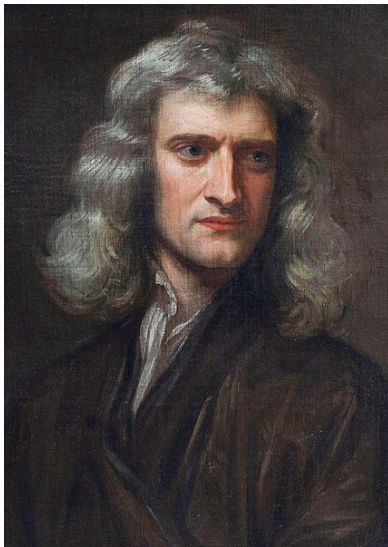
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres







# 3 lois

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Principe d'inertie



# 3 lois

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Principe d'inertie
- Forces réciproques



# 3 lois

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Principe d'inertie
- Forces réciproques
- $F = ma$

# Obey gravity ! It's the law !

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

Terre attire la Lune & tous les corps matériels  
(situés à sa surface)

# Obey gravity ! It's the law !

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

Terre attire la Lune & tous les corps matériels  
(situés à sa surface)  
Corps terrestres , corps célestes :  
mêmes lois



# La loi

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$F = G \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

$G = C^{\text{ste}}$  universelle valant  $6.67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$



# Conséquences : constante de Kepler

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$T^2/R^3 \sim 1/\text{masse du Soleil}$$



# Conséquences : constante de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$T^2/R^3 \sim 1/\text{masse du Soleil}$   
Donc



# Conséquences : constante de Kepler

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

#### Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$T^2/R^3 \sim 1/\text{masse du Soleil}$

Donc

Si T et R connus

Alors M—astre central connu

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



2<sup>e</sup> moitié du XX<sup>e</sup> siècle



# Contexte

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

## ■ Cinématique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière
  - déplacement

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière
  - déplacement
  - vitesse instantanée

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière
  - déplacement
  - vitesse instantanée
  - accélération

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière
  - déplacement
  - vitesse instantanée
  - accélération
- Dans l'espace presque



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière
  - déplacement
  - vitesse instantanée
  - accélération
- Dans l'espace presque
- dans le plan

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
- mobile ponctuel en rotation régulière
  - déplacement
  - vitesse instantanée
  - accélération
- Dans l'espace presque
- dans le plan
  - vecteurs !

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
  - mobile ponctuel en rotation régulière
    - déplacement
    - vitesse instantanée
    - accélération
  - Dans l'espace presque
  - dans le plan
    - vecteurs !
    - Trajectoires = cercles

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
  - mobile ponctuel en rotation régulière
    - déplacement
    - vitesse instantanée
    - accélération
  - Dans l'espace presque
    - dans le plan
      - vecteurs !
      - Trajectoires = cercles
      - vitesse angulaire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Cinématique
  - mobile ponctuel en rotation régulière
    - déplacement
    - vitesse instantanée
    - accélération
  - Dans l'espace presque
    - dans le plan
      - vecteurs !
      - Trajectoires = cercles
      - vitesse angulaire
      - accélération centripète

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dans essoreuse

# Exemples

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dans essoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la roue tourne

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dansessoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la roue tourne
- linge dans lessiveuse



# Exemples

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dansessoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la roue tourne
- linge dans lessiveuse
- pierre dans fronde

# Exemples

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dansessoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la la roue tourne
- linge dans lessiveuse
- pierre dans fronde
- voiture dans tournant

# Exemples

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dansessoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la roue tourne
- linge dans lessiveuse
- pierre dans fronde
- voiture dans tournant
- enfant sur carrousel

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dans essoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la la roue tourne
- linge dans lessiveuse
- pierre dans fronde
- voiture dans tournant
- enfant sur carrousel
- planète en orbite autour du soleil

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille de salade dans essoreuse
- pipette d'une roue de vélo lorsque la la roue tourne
- linge dans lessiveuse
- pierre dans fronde
- voiture dans tournant
- enfant sur carrousel
- planète en orbite autour du soleil
- et en général satellite (naturel ou artificiel) en orbite autour d'un astre

# Vitesses et accélération

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

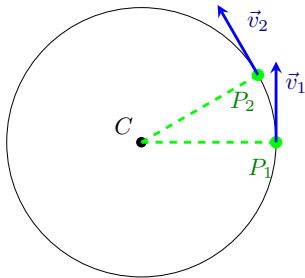
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Vitesses et accélération

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

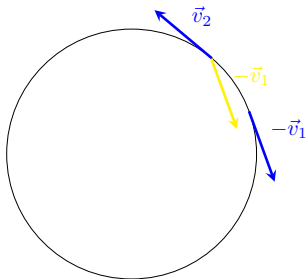
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Vitesses et accélération

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

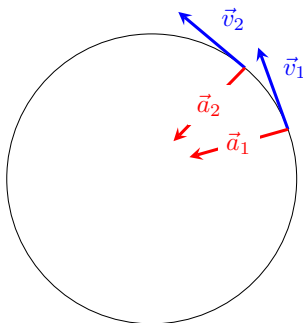
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres





# vecteur position instantanée

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

■  $\vec{r}(t)$

# vecteur position instantanée

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\vec{r}(t)$
- $\vec{r}(t) = \vec{r}_x(t) + \vec{r}_y(t)$

# vecteur position instantanée

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\vec{r}(t)$
- $\vec{r}(t) = \vec{r}_x(t) + \vec{r}_y(t)$

$$r_x = R \cdot \cos(\omega t)$$

# vecteur position instantanée

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\vec{r}(t)$
- $\vec{r}(t) = \vec{r}_x(t) + \vec{r}_y(t)$

$$r_x = R \cdot \cos(\omega t)$$

$$r_y = R \cdot \sin(\omega t)$$

# vecteur position instantanée

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

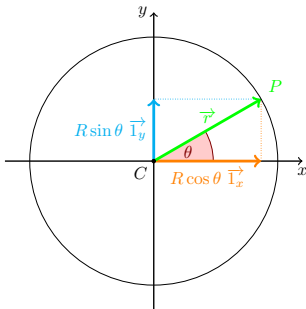
Bibliographie

Livres

- $\vec{r}(t)$
- $\vec{r}(t) = \vec{r}_x(t) + \vec{r}_y(t)$

$$r_x = R \cdot \cos(\omega t)$$

$$r_y = R \cdot \sin(\omega t)$$





# Vitesse et angles anti-complémentaires

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$v_x(t) = -\omega R \sin(\omega t)$$

# Vitesse et angles anti-complémentaires

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$\begin{aligned}v_x(t) &= -\omega R \sin(\omega t) \\ &= \omega R \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$

# Vitesse et angles anti-complémentaires

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$\begin{aligned}v_x(t) &= -\omega R \sin(\omega t) \\ &= \omega R \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$

$$v_y(t) = \omega R \cos(\omega t)$$



# Vitesse et angles anti-complémentaires

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$\begin{aligned}v_x(t) &= -\omega R \sin(\omega t) \\ &= \omega R \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v_y(t) &= \omega R \cos(\omega t) \\ &= \omega R \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$

# Vitesse et angles anti-complémentaires

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

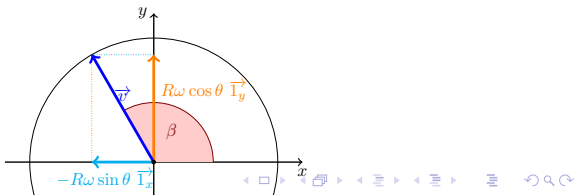
Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$\begin{aligned}v_x(t) &= -\omega R \sin(\omega t) \\ &= \omega R \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v_y(t) &= \omega R \cos(\omega t) \\ &= \omega R \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)\end{aligned}$$



# Vecteurs vitesse et positions

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

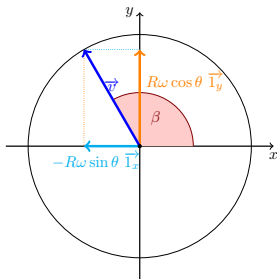
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Vecteurs vitesse et positions

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

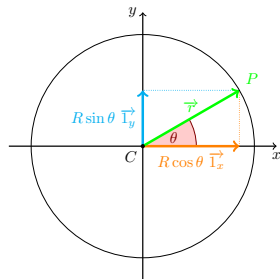
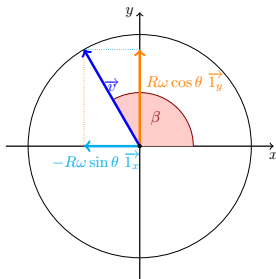
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres





# Souci

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## Approximation via mouvement circulaire



# Confiance

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

■ à chaque étape



# Confiance

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- à chaque étape
- "aha-erlebnis"



# Pas vraiment une démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- réaliser une première figure





# Pas vraiment une démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- réaliser une première figure
- différentes déductions



# Pas vraiment une démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- réaliser une première figure
- différentes déductions
- variante



# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ feuille A4



# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"



# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"
- tracez un cercle



# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"
- tracez un cercle
  - centre approximativement au milieu de la feuille

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"
- tracez un cercle
  - centre approximativement au milieu de la feuille
  - diamètre un peu inférieur à la largeur de la feuille.

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"
- tracez un cercle
  - centre approximativement au milieu de la feuille
  - diamètre un peu inférieur à la largeur de la feuille.
- point à l'intérieur du cercle



# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"
- tracez un cercle
  - centre approximativement au milieu de la feuille
  - diamètre un peu inférieur à la largeur de la feuille.
- point à l'intérieur du cercle
  - sur droite horizontale passant par centre "O"

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- feuille A4
- format "paysage"
- tracez un cercle
  - centre approximativement au milieu de la feuille
  - diamètre un peu inférieur à la largeur de la feuille.
- point à l'intérieur du cercle
  - sur droite horizontale passant par centre "O"
  - approximativement quatre cinquième ( $\frac{4}{5}$ ) du rayon



# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Nommer ce point " $F_1$ " (ou  $S$ )

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Nommer ce point " $F_1$ " (ou  $S$ )
- Tracez segment de ce point jusqu'à circonférence du cercle

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Nommer ce point " $F_1$ " (ou  $S$ )
- Tracez segment de ce point jusqu'à circonférence du cercle
- Nommer intersection du segment avec circonférence " $Q_1$ ".

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Nommer ce point " $F_1$ " (ou  $S$ )
- Tracez segment de ce point jusqu'à circonférence du cercle
- Nommer intersection du segment avec circonférence " $Q_1$ ".
- Tracez médiatrice du segment

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Nommer ce point " $F_1$ " (ou  $S$ )
- Tracez segment de ce point jusqu'à circonférence du cercle
- Nommer intersection du segment avec circonférence " $Q_1$ ".
- Tracez médiatrice du segment
  - inutile de tracer médiatrice à l'extérieur du cercle.

# 1<sup>re</sup> figure

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Nommer ce point " $F_1$ " (ou  $S$ )
- Tracez segment de ce point jusqu'à circonférence du cercle
- Nommer intersection du segment avec circonférence " $Q_1$ ".
- Tracez médiatrice du segment
  - inutile de tracer médiatrice à l'extérieur du cercle.
  - Nommer intersection de médiatrice-segment " $M_1$ "



# Premières étapes de la 1<sup>re</sup> figure

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

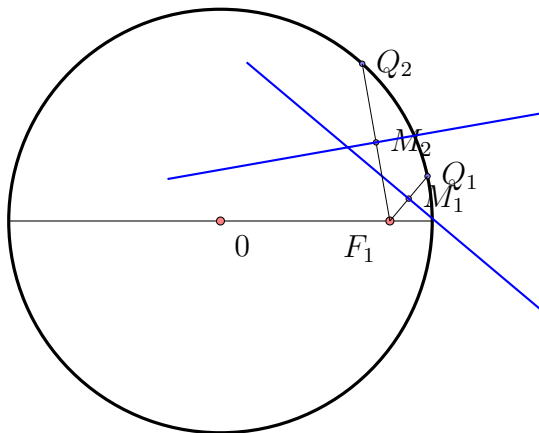
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres





# Répétez

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Répétez

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

#### Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

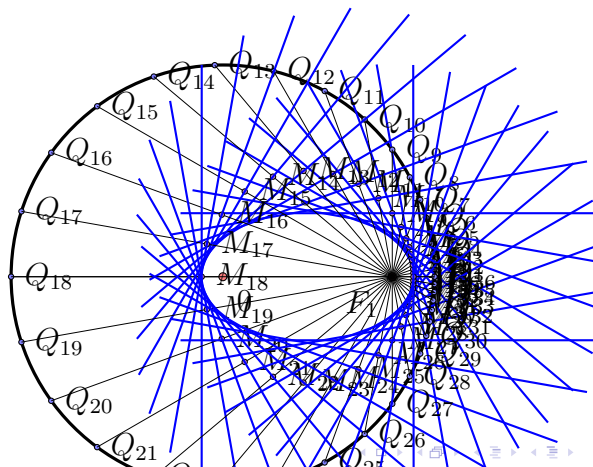
Livres

une vingtaine ou une trentaine de fois

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

une vingtaine ou une trentaine de fois



### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

# Ellipse ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comment prouver que c'est une ellipse ?

# Ellipse ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comment prouver que c'est une ellipse ?
  - tracer des points sur la circonférence

# Ellipse ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comment prouver que c'est une ellipse ?
  - tracer des points sur la circonférence
  - pour la clarté des opérations

# Ellipse ?

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Comment prouver que c'est une ellipse ?
  - tracer des points sur la circonférence
  - pour la clarté des opérations
  - moins de points



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comment prouver que c'est une ellipse ?
  - tracer des points sur la circonférence
  - pour la clarté des opérations
  - moins de points
- relier les points " $Q_i$ " au centre " $O$ " du cercle.

# Ellipse ?

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Comment prouver que c'est une ellipse ?
  - tracer des points sur la circonférence
  - pour la clarté des opérations
  - moins de points
- relier les points " $Q_i$ " au centre " $O$ " du cercle.
- $P_i =$  intersection médiatrice-segment " $OQ_i$ "

# Ellipse ?

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

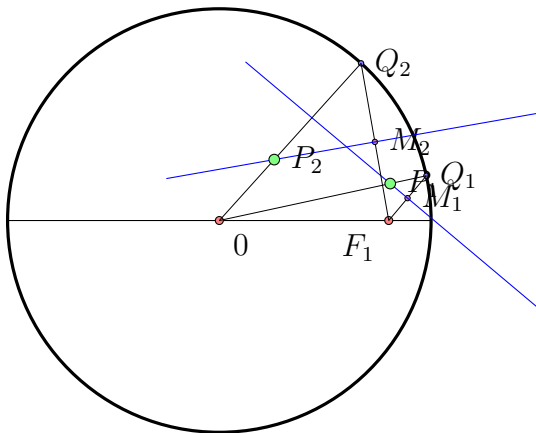


FIGURE – Ellipse : relier les points "Q<sub>i</sub>" au centre "O".

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

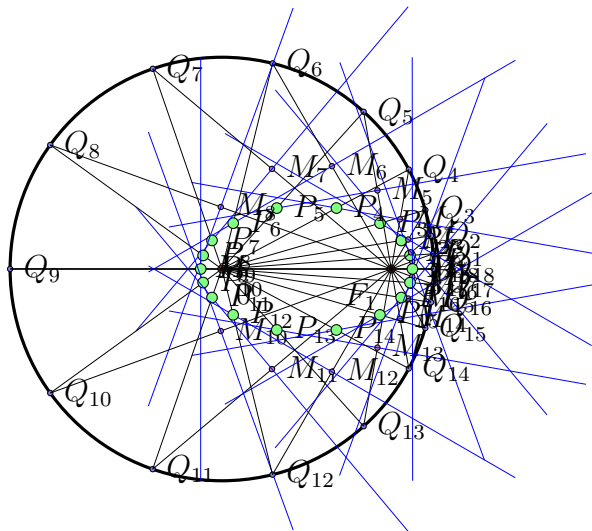
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

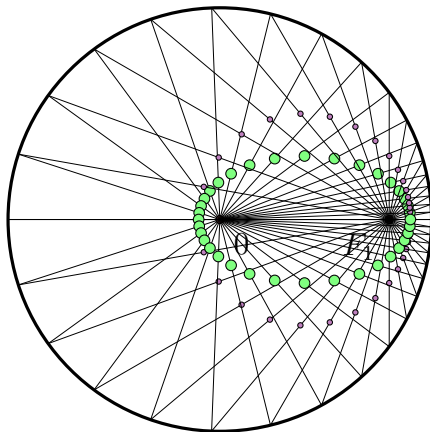


FIGURE – Ellipse : juste les points " $P_i$ ".



# Ellipse : démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Démontrer que figure des points est bien une ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Démontrer que figure des points est bien une ellipse
  - Triangle  $F_1PQ$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Démontrer que figure des points est bien une ellipse
  - Triangle  $F_1PQ$
- généralisable à tous les triangles sur le même principe



# Ellipse : démonstration

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

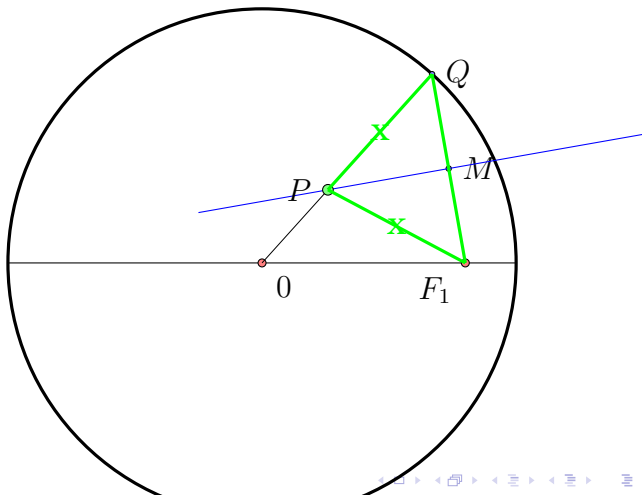
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



# Ellipse : démonstration

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

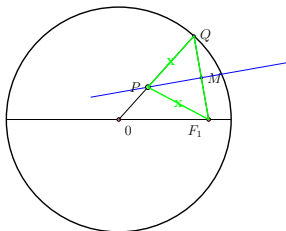
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



- sommet  $P$  se trouve sur la médiatrice du segment  $F_1Q$

# Ellipse : démonstration

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

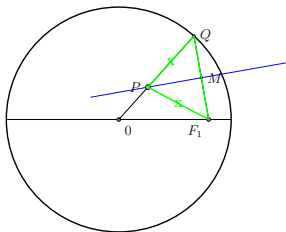
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



- sommet  $P$  se trouve sur la médiatrice du segment  $F_1Q$
- triangle  $F_1PQ$  est isocèle

# Ellipse : démonstration

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

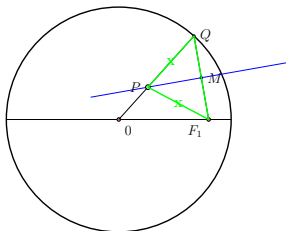
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



- sommet  $P$  se trouve sur la médiatrice du segment  $F_1Q$ 
  - triangle  $F_1PQ$  est isocèle
- segment  $OQ$  est un rayon du cercle



# Ellipse : démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

# Ellipse : démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

# Ellipse : démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PQ\| = R$$

# Ellipse : démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

**Avec des points**

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PF_1\| = R$$



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PF_1\| = R$$

- somme des distances de  $P$  aux points  $O$  et  $F_1$  est constante

# Ellipse : démonstration

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PF_1\| = R$$

- somme des distances de  $P$  aux points  $O$  et  $F_1$  est constante
  - définition "du jardinier" de l'ellipse

# Ellipse : démonstration

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PF_1\| = R$$

- somme des distances de  $P$  aux points  $O$  et  $F_1$  est constante
  - définition "du jardinier" de l'ellipse
- points  $P_i$  forment bien une ellipse

$$\|PQ\| = \|PF_1\|$$

$$\|OQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PQ\| = R$$

$$\|OP\| + \|PF_1\| = R$$

- somme des distances de  $P$  aux points  $O$  et  $F_1$  est constante
  - définition "du jardinier" de l'ellipse
- points  $P_i$  forment bien une ellipse
- CQDDD

# Ellipse : tangente

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

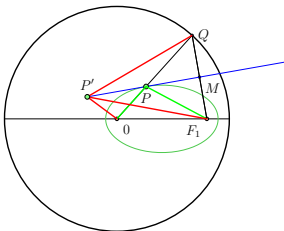
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Point  $P'$  distinct de  $P$  sur la droite  $PM$



# Ellipse : tangente

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

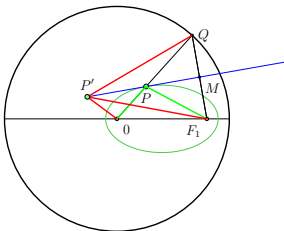
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Point  $P'$  distinct de  $P$  sur la droite  $PM$
- $P$  sur le rayon du cercle





# Ellipse : tangente

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

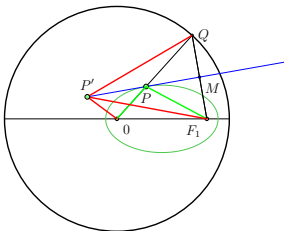
Bibliographie

Livres

- Point  $P'$  distinct de  $P$  sur la droite  $PM$
- $P$  sur le rayon du cercle

$$\|OP'\| + \|P'Q\| > R$$

$$\|OP'\| + \|P'F_1\| > R$$





# Ellipse : tangente

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

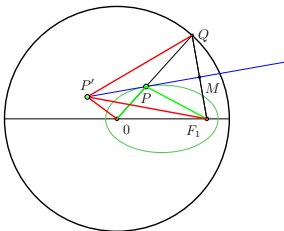
Livres

- Point  $P'$  distinct de  $P$  sur la droite  $PM$
- $P$  sur le rayon du cercle

$$\|OP'\| + \|P'Q\| > R$$

$$\|OP'\| + \|P'F_1\| > R$$

Donc tout point  $P' (\neq P)$  extérieur à l'ellipse





# Ellipse : tangente

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $P$  seul point de droite  $PM$  en contact avec l'ellipse



# Ellipse : tangente

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $P$  seul point de droite  $PM$  en contact avec l'ellipse
- droite  $PM$  est tangente à l'ellipse en  $P$



# Et si ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

**Variante**

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- point " $F_1$ " à l'extérieur du cercle

# Et si ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

**Variante**

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- point " $F_1$ " à l'extérieur du cercle
- Que se passe-t-il ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

**Variante**

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

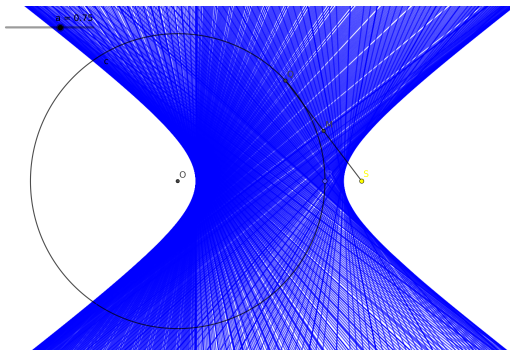
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- point " $F_1$ " à l'extérieur du cercle
- Que se passe-t-il ?



# Machines à dessiner des coniques

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

**Machines**

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- "machines" à tracer ces courbes

# Machines à dessiner des coniques

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

**Machines**

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- "machines" à tracer ces courbes
- courant à l'époque de Kepler et Newton



# Machines à dessiner des coniques

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

**Machines**

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- "machines" à tracer ces courbes
- courant à l'époque de Kepler et Newton
- tailler lentilles et miroirs

# Machines à dessiner des coniques

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

**Machines**

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- "machines" à tracer ces courbes
- courant à l'époque de Kepler et Newton
- tailler lentilles et miroirs
- méthode décrite ici : "l'ellipsographe à cercle directeur"





# "Machine" à hyperbole

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

**Machines**

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

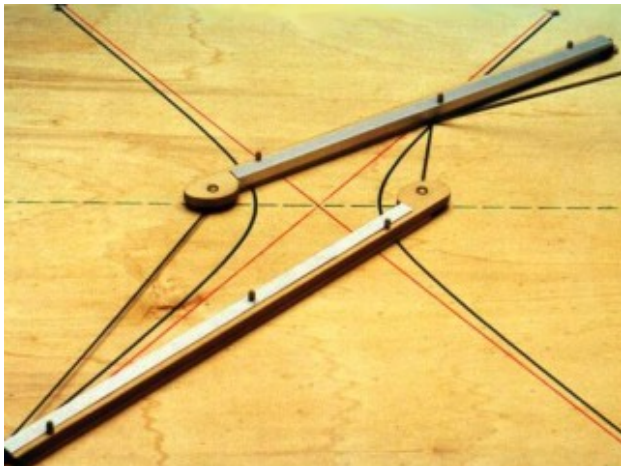
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres





# Et la physique ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

■ "que" des maths !

# Et la physique ?

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- "que" des maths !
- Et la physique là-dedans ?

# Newton et la géométrie

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Newton (1665) : "analyse" basée sur manipulation de séries infinies



# Newton et la géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Newton (1665) : "analyse" basée sur manipulation de séries infinies
- méthode plus "moderne" de Leibniz connue de Newton



# Newton et la géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Newton (1665) : "analyse" basée sur manipulation de séries infinies
- méthode plus "moderne" de Leibniz connue de Newton
- Mais, dans édition de 1687 des "Philosophiae naturalis principia mathematica"

# Newton et la géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Newton (1665) : "analyse" basée sur manipulation de séries infinies
- méthode plus "moderne" de Leibniz connue de Newton
- Mais, dans édition de 1687 des "Philosophiae naturalis principia mathematica"
- Newton adopte troisième démarche



# Newton et la géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Newton (1665) : "analyse" basée sur manipulation de séries infinies
- méthode plus "moderne" de Leibniz connue de Newton
- Mais, dans édition de 1687 des "Philosophiae naturalis principia mathematica"
- Newton adopte troisième démarche
- plus satisfaisante



# Newton et la géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Newton (1665) : "analyse" basée sur manipulation de séries infinies
- méthode plus "moderne" de Leibniz connue de Newton
- Mais, dans édition de 1687 des "Philosophiae naturalis principia mathematica"
- Newton adopte troisième démarche
- plus satisfaisante
- "analyse géométrique"



# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ dérivée de la fonction tangente



# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée

# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$



# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$
- démarche pas facile quand on la découvre

# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$
- démarche pas facile quand on la découvre
- si résultat connu

# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$
- démarche pas facile quand on la découvre
- si résultat connu

$$T = \tan \theta$$

# Encore un peu de math

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$
- démarche pas facile quand on la découvre
- si résultat connu

$$T = \tan \theta$$
$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta}$$

# Encore un peu de math

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$
- démarche pas facile quand on la découvre
- si résultat connu

$$\begin{aligned} T &= \tan \theta \\ \frac{dT}{d\theta} &= \frac{1}{\cos^2 \theta} \\ &= \frac{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} \end{aligned}$$

# Encore un peu de math

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- dérivée de la fonction tangente
- pas la démonstration avec définition "classique" de dérivée
- comme limite du quotient  $\frac{\Delta f}{\Delta x}$
- démarche pas facile quand on la découvre
- si résultat connu

$$\begin{aligned} T &= \tan \theta \\ \frac{dT}{d\theta} &= \frac{1}{\cos^2 \theta} \\ &= \frac{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} \\ &= 1 + \frac{\sin^2 \theta}{\cos^2 \theta} \\ &= 1 + T^2 \end{aligned}$$



# Encore un peu de math : géométrie

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

## ■ triangle $ABC$

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



# Encore un peu de math : géométrie

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- triangle  $ABC$
- rectangle en  $B$



# Encore un peu de math : géométrie

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- triangle  $ABC$
- rectangle en  $B$
- $\|AB\| = 1$

# Encore un peu de math : géométrie

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

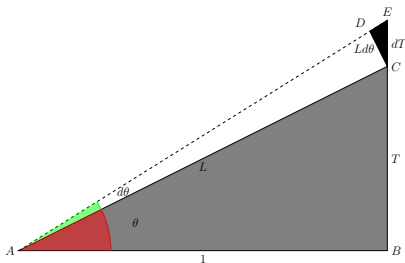
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- triangle  $ABC$
- rectangle en  $B$
- $\|AB\| = 1$



# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

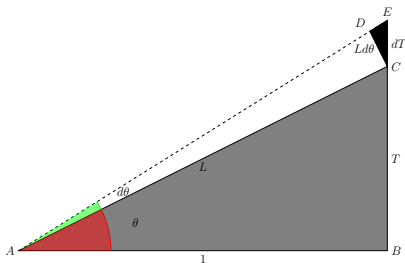
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

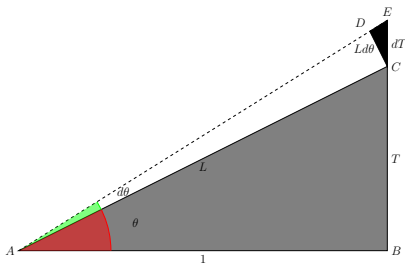
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



■ longueur  $T = \|BC\| = \tan \theta$

# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

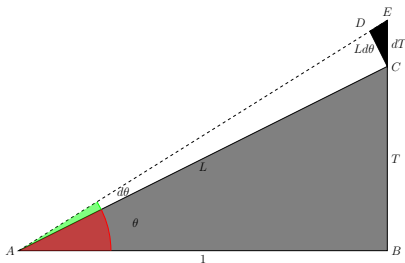
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



- longueur  $T = \|BC\| = \tan \theta$
- si accroissement  $dT$  infinitésimal

# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

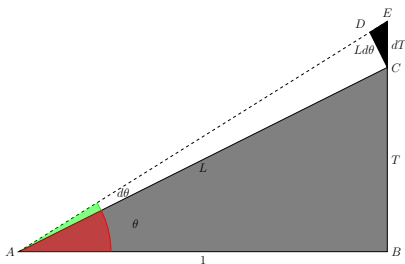
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



- longueur  $T = \|BC\| = \tan \theta$
- si accroissement  $dT$  infinitésimal
- alors triangles  $ABC$  et  $CDE$  semblables

# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique  
MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe  
Avec des points  
Variante  
Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

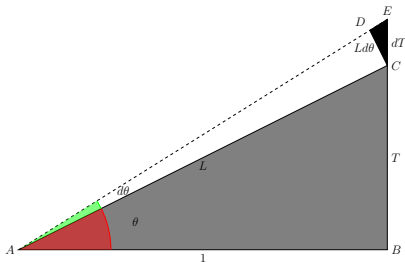
**Géométrie**  
Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler  
Hodographe  
FGU et ellipse  
Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

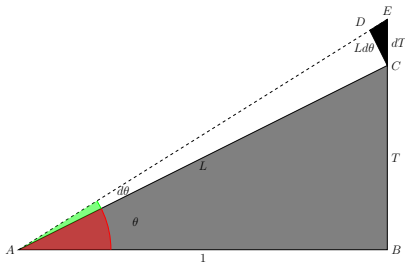
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



$$\frac{dT}{Ld\theta} = \frac{L}{1}$$



# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

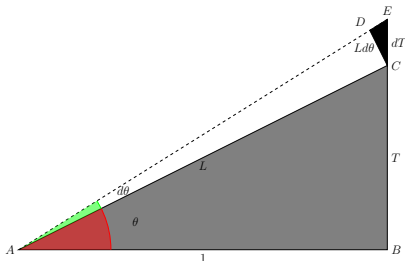
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



$$\frac{dT}{Ld\theta} = \frac{L}{1}$$

$$\frac{dT}{d\theta} = L^2$$

# Encore un peu de math : géométrie

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

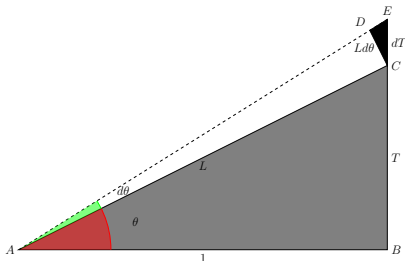
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



$$\begin{aligned} \frac{dT}{Ld\theta} &= \frac{L}{1} \\ \frac{dT}{d\theta} &= L^2 \\ &= 1 + T^2 \end{aligned}$$

# Encore un peu de math : déduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

■ on retrouve  $\frac{dT}{d\theta} = 1 + T^2$

# Encore un peu de math : déduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- on retrouve  $\frac{dT}{d\theta} = 1 + T^2$
- mais avec triangles semblables

# Encore un peu de math : déduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

**Géométrie**

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- on retrouve  $\frac{dT}{d\theta} = 1 + T^2$
- mais avec triangles semblables
- pas de calcul de limite !

# Encore un peu de math : déduction

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- on retrouve  $\frac{dT}{d\theta} = 1 + T^2$
- mais avec triangles semblables
- pas de calcul de limite !

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{1}{\cos^2 \theta}$$



# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- petit  $\Delta t$



# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- petit  $\Delta t$
- Soleil qui se trouve au foyer  $F_1$  :  $F_1 \rightarrow S$



# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- petit  $\Delta t$
- Soleil qui se trouve au foyer  $F_1$  :  $F_1 \rightarrow S$
- $P =$  planète

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- petit  $\Delta t$
- Soleil qui se trouve au foyer  $F_1$  :  $F_1 \rightarrow S$
- $P =$  planète
- Vitesse  $\vec{v}$  pour un petit  $\Delta t$

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

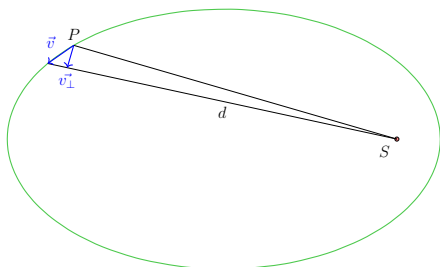
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- petit  $\Delta t$
- Soleil qui se trouve au foyer  $F_1$  :  $F_1 \rightarrow S$
- $P =$  planète
- Vitesse  $\vec{v}$  pour un petit  $\Delta t$



# Finale<sup>ment</sup> de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

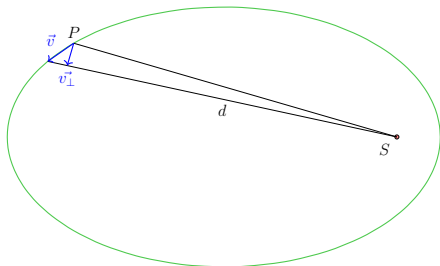
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

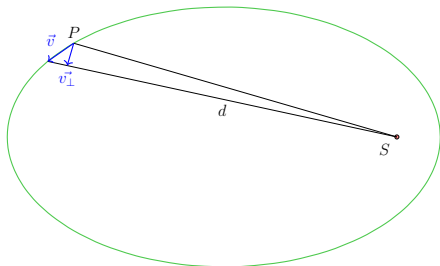
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



- Si  $\Delta t$  est petit

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

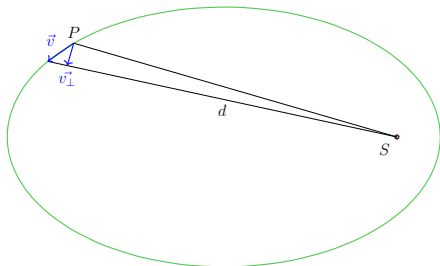
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



- Si  $\Delta t$  est petit
- alors distance  $\|SP\| \approx$  distance  $d$

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

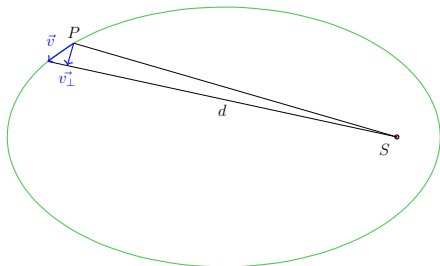
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



- Si  $\Delta t$  est petit
- alors distance  $\|SP\| \approx$  distance  $d$
- arc balayé par  $P \approx$  triangle



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

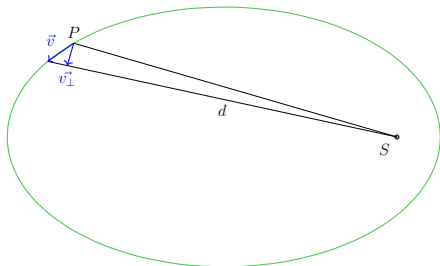
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



- Si  $\Delta t$  est petit
- alors distance  $\|SP\| \approx$  distance  $d$
- arc balayé par  $P \approx$  triangle
- surface de l'arc balayé  $\approx$  surface du triangle.

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

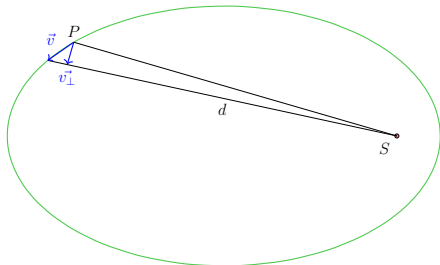
Hodographe

FGU et ellipse

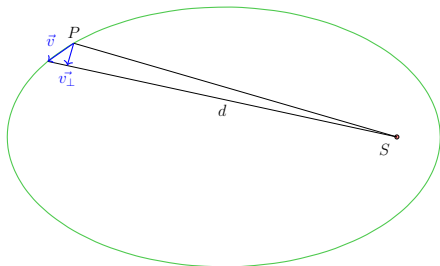
Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Finalemment de la physique



$$\text{Base} = d$$

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

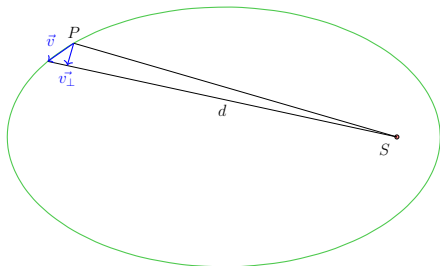
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

# Finalemment de la physique



$$\text{Base} = d$$

$$h = v_\perp \cdot \Delta t$$

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

# Finalement de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

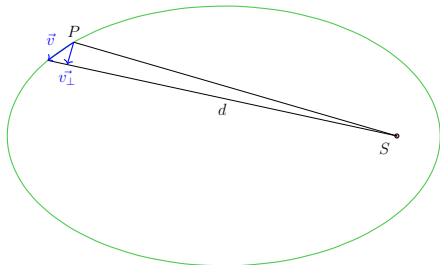
Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



$$\text{Base} = d$$

$$h = v_{\perp} \cdot \Delta t$$

$$S = \frac{1}{2} d \cdot v_{\perp} \cdot \Delta t$$



# Finale<sup>ment</sup> de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### ■ conservation du moment angulaire

#### Introduction

Historique

MCU

#### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

#### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

#### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

#### Bibliographie

Livres

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- si force selon  $SP$

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- si force selon  $SP$

$$d \cdot v_{\perp} \cdot m = \text{cste}$$



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

**Physique**

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- si force selon  $SP$

$$d \cdot v_{\perp} \cdot m = \text{cste}$$

et si  $m$  est constante

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire

- si force selon  $SP$

$$d \cdot v_{\perp} \cdot m = \text{cste}$$

et si  $m$  est constante

alors pour mêmes  $\Delta t$

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- si force selon  $SP$

$$d \cdot v_{\perp} \cdot m = \text{cste}$$

et si  $m$  est constante

alors pour mêmes  $\Delta t$

$$S = \frac{1}{2} d \cdot v_{\perp} \cdot \Delta t$$

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- si force selon  $SP$

$$d \cdot v_{\perp} \cdot m = \text{cste}$$

et si  $m$  est constante

alors pour mêmes  $\Delta t$

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} d \cdot v_{\perp} \cdot \Delta t \\ &= \text{cste}' \end{aligned}$$

# Finale de la physique

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- conservation du moment angulaire
- si force selon  $SP$

$$d \cdot v_{\perp} \cdot m = \text{cste}$$

et si  $m$  est constante

alors pour mêmes  $\Delta t$

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} d \cdot v_{\perp} \cdot \Delta t \\ &= \text{cste}' \end{aligned}$$

Deuxième loi de Kepler



# FGU et trajectoire

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

**FGU &  
trajectoire**

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

## FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

## FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

## FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

## FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$
  - problème :

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$
  - problème :
  - alors Soleil au centre de l'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$
  - problème :
  - alors Soleil au centre de l'ellipse
- Newton

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$
  - problème :
  - alors Soleil au centre de l'ellipse
- Newton
  - force en  $\frac{1}{r^2}$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$
  - problème :
  - alors Soleil au centre de l'ellipse
- Newton
  - force en  $\frac{1}{r^2}$
  - explique Soleil en un des foyers de l'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- force de gravitation universelle (FGU) et troisième loi de Kepler liées
- masse du Soleil  $\sim \frac{R^3}{T^2}$
- Kepler et force attirant les planètes
  - en  $\frac{1}{r}$
  - problème :
  - alors Soleil au centre de l'ellipse
- Newton
  - force en  $\frac{1}{r^2}$
  - explique Soleil en un des foyers de l'ellipse
- Newton "à la sauce" de Feynman



# FGU et trajectoire : à démontrer

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

permet d'expliquer la place du Soleil





# FGU & 2<sup>e</sup> loi de Kepler

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

**2<sup>e</sup> loi de Kepler**

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- retour sur deuxième loi de Kepler



# FGU & 2<sup>e</sup> loi de Kepler

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

**2<sup>e</sup> loi de Kepler**

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- retour sur deuxième loi de Kepler
  - plus astre éloigné du Soleil, plus vitesse petite

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

**2<sup>e</sup> loi de Kepler**

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- retour sur deuxième loi de Kepler
  - plus astre éloigné du Soleil, plus vitesse petite
  - et inversement

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- retour sur deuxième loi de Kepler
  - plus astre éloigné du Soleil, plus vitesse petite
  - et inversement
  - $\iff$  vitesse diminue avec distance " $r$ " entre  $P_i$  et  $S$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- retour sur deuxième loi de Kepler
  - plus astre éloigné du Soleil, plus vitesse petite
  - et inversement
  - $\iff$  vitesse diminue avec distance " $r$ " entre  $P_i$  et  $S$
- rappel : vecteur vitesse tangent à trajectoire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

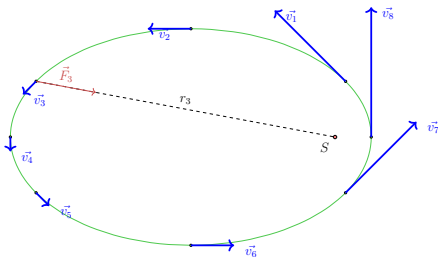
Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- retour sur deuxième loi de Kepler
  - plus astre éloigné du Soleil, plus vitesse petite
  - et inversement
  - $\iff$  vitesse diminue avec distance " $r$ " entre  $P_i$  et  $S$
- rappel : vecteur vitesse tangent à trajectoire
- fourni par construction de l'ellipse

- retour sur deuxième loi de Kepler
  - plus astre éloigné du Soleil, plus vitesse petite
  - et inversement
  - $\iff$  vitesse diminue avec distance " $r$ " entre  $P_i$  et  $S$
- rappel : vecteur vitesse tangent à trajectoire
- fourni par construction de l'ellipse



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- assumer NE PAS savoir que orbite elliptique





# FGU et trajectoire

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- assumer NE PAS savoir que orbite elliptique
- conservation du moment angulaire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- assumer NE PAS savoir que orbite elliptique
- conservation du moment angulaire
  - suppose uniquement force "centrale"

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

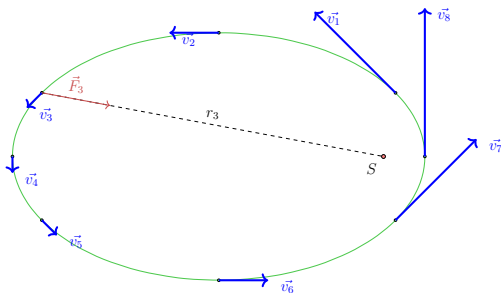
Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- assumer NE PAS savoir que orbite elliptique
- conservation du moment angulaire
  - suppose uniquement force "centrale"
  - càd selon la direction  $P_i S$

- assumer NE PAS savoir que orbite elliptique
- conservation du moment angulaire
  - suppose uniquement force "centrale"
  - càd selon la direction  $P_i S$





# FGU et vitesses : hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### **Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- établir lien entre  $F$  et ellipse



# FGU et vitesses : hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- établir lien entre  $F$  et ellipse
- tous les vecteurs vitesses

# FGU et vitesses : hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- établir lien entre  $F$  et ellipse
- tous les vecteurs vitesses
  - avec origines en un même point

# FGU et vitesses : hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- établir lien entre  $F$  et ellipse
- tous les vecteurs vitesses
  - avec origines en un même point
  - hodographe



# FGU et vitesses : hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- établir lien entre  $F$  et ellipse
- tous les vecteurs vitesses
  - avec origines en un même point
  - hodographe
  - hodographe des vitesses



# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs

# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil

# Hodographe : secteurs de même angle

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil
- tracer vecteurs "hauteurs" perpendiculaires

# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil
- tracer vecteurs "hauteurs" perpendiculaires
  - partant des points  $P_i$

# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil
- tracer vecteurs "hauteurs" perpendiculaires
  - partant des points  $P_i$
  - perpendiculaires aux segments " $P_i F_1$ "

# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil
- tracer vecteurs "hauteurs" perpendiculaires
  - partant des points  $P_i$
  - perpendiculaires aux segments " $P_i F_1$ "
  - reliant chaque  $P_i$

# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil
- tracer vecteurs "hauteurs" perpendiculaires
  - partant des points  $P_i$
  - perpendiculaires aux segments " $P_i F_1$ "
  - reliant chaque  $P_i$
  - commodité,  $h_{\perp i}$  = longueurs de ces vecteurs



# Hodographe : secteurs de même angle

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

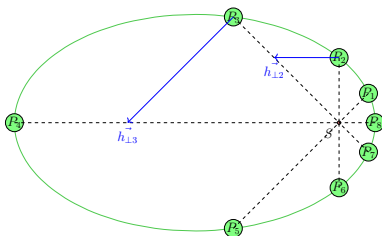
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

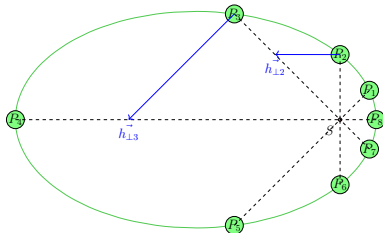
Bibliographie

Livres

- diviser l'orbite en secteurs
- formant tous même angle  $\theta$  par rapport au Soleil
- tracer vecteurs "hauteurs" perpendiculaires
  - partant des points  $P_i$
  - perpendiculaires aux segments " $P_i F_1$ "
  - reliant chaque  $P_i$
  - commodité,  $h_{\perp i}$  = longueurs de ces vecteurs



- vecteurs  $\vec{h}_{\perp i}$  ne respectent PAS deuxième loi de Kepler



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

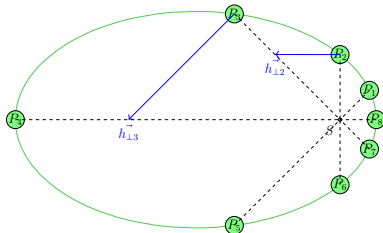
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- vecteurs  $\vec{h}_{\perp i}$  ne respectent PAS deuxième loi de Kepler
- car  $\Delta t_i$  pas égaux entre eux



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

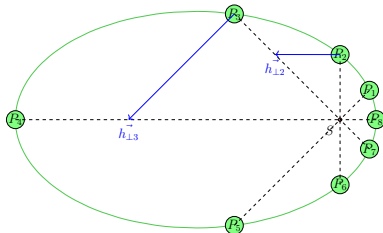
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- vecteurs  $\vec{h}_{\perp i}$  ne respectent PAS deuxième loi de Kepler
- car  $\Delta t_i$  pas égaux entre eux
- vecteurs  $\vec{h}_{\perp i}$  sont cependant dans la bonne direction



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

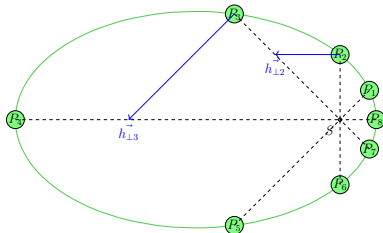
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- vecteurs  $\vec{h}_{\perp i}$  ne respectent PAS deuxième loi de Kepler
- car  $\Delta t_i$  pas égaux entre eux
- vecteurs  $\vec{h}_{\perp i}$  sont cependant dans la bonne direction
- important : triangles  $F_1 P_i h_{\perp i}$  sont tous semblables





# Temps pour balayer un secteur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- temps  $\Delta t_i$  nécessaire pour balayer un secteur ?

# Temps pour balayer un secteur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- temps  $\Delta t_i$  nécessaire pour balayer un secteur ?
- deuxième loi  $\Rightarrow \Delta t_i$  proportionnel à surface  $S_i$  du secteur

# Temps pour balayer un secteur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- temps  $\Delta t_i$  nécessaire pour balayer un secteur ?
- deuxième loi  $\Rightarrow \Delta t_i$  proportionnel à surface  $S_i$  du secteur

$$\Delta t_i \sim S_i$$



# Temps pour balayer un secteur

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- temps  $\Delta t_i$  nécessaire pour balayer un secteur ?
- deuxième loi  $\Rightarrow \Delta t_i$  proportionnel à surface  $S_i$  du secteur

$$\Delta t_i \sim S_i$$

- plus loin du Soleil

# Temps pour balayer un secteur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- temps  $\Delta t_i$  nécessaire pour balayer un secteur ?
- deuxième loi  $\Rightarrow \Delta t_i$  proportionnel à surface  $S_i$  du secteur

$$\Delta t_i \sim S_i$$

- plus loin du Soleil
- plus la distance  $r_i = \|P_i F_1\|$  augmente

# Temps pour balayer un secteur

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- temps  $\Delta t_i$  nécessaire pour balayer un secteur ?
- deuxième loi  $\Rightarrow \Delta t_i$  proportionnel à surface  $S_i$  du secteur

$$\Delta t_i \sim S_i$$

- plus loin du Soleil
- plus la distance  $r_i = \|P_i F_1\|$  augmente
- et longueur  $h_{\perp i}$  augmente aussi



# FGU et trajectoire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comme précédemment, pour des  $\theta$  petits



# FGU et trajectoire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comme précédemment, pour des  $\theta$  petits
- triangles  $F_1 P_i h_{\perp i} =$  secteurs balayés

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Comme précédemment, pour des  $\theta$  petits
- triangles  $F_1 P_i h_{\perp i} =$  secteurs balayés

$$S_i = \frac{r_i h_{\perp i}}{2}$$



# FGU et trajectoire

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

■ Mais triangles semblables

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Mais triangles semblables

$$h_{\perp i} \sim r_i$$



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Mais triangles semblables

$$h_{\perp i} \sim r_i$$

$$\Delta t_i \sim S_i$$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Mais triangles semblables

$$\begin{aligned}h_{\perp i} &\sim r_i \\ \Delta t_i &\sim S_i \\ &\sim r_i h_{\perp i}\end{aligned}$$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Mais triangles semblables

$$\begin{aligned}h_{\perp i} &\sim r_i \\ \Delta t_i &\sim S_i \\ &\sim r_i h_{\perp i} \\ &\sim r_i r_i\end{aligned}$$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Mais triangles semblables

$$\begin{aligned}h_{\perp i} &\sim r_i \\ \Delta t_i &\sim S_i \\ &\sim r_i h_{\perp i} \\ &\sim r_i r_i \\ &\sim r_i^2\end{aligned}$$

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

## ■ Mais triangles semblables

$$\begin{aligned}h_{\perp i} &\sim r_i \\ \Delta t_i &\sim S_i \\ &\sim r_i h_{\perp i} \\ &\sim r_i r_i \\ &\sim r_i^2\end{aligned}$$

## ■ temps nécessaire pour balayer un secteur

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Mais triangles semblables

$$\begin{aligned}h_{\perp i} &\sim r_i \\ \Delta t_i &\sim S_i \\ &\sim r_i h_{\perp i} \\ &\sim r_i r_i \\ &\sim r_i^2\end{aligned}$$

- temps nécessaire pour balayer un secteur
- proportionnel au carré de la distance entre planète et Soleil

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits
- alléger l'écriture, oublier indices  $i$



# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits
- alléger l'écriture, oublier indices  $i$
- supposition :

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits
- alléger l'écriture, oublier indices  $i$
- supposition :

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits
- alléger l'écriture, oublier indices  $i$
- supposition :

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- pas argument circulaire

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits
- alléger l'écriture, oublier indices  $i$
- supposition :

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- pas argument circulaire
- si la force pas  $\sim \frac{1}{r^2}$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta t$  petits et donc des  $\theta$  petits
- alléger l'écriture, oublier indices  $i$
- supposition :

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- pas argument circulaire
- si la force pas  $\sim \frac{1}{r^2}$
- contradictions

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$F = ma$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

alors,

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

alors,

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\sim \frac{1}{r^2}$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

alors,

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\sim \frac{1}{r^2}$$

et

$$\Delta v = a\Delta t$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

alors,

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\sim \frac{1}{r^2}$$

et

$$\Delta v = a\Delta t$$

$$\sim \frac{\Delta t}{r^2}$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

alors,

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\sim \frac{1}{r^2}$$

et

$$\Delta v = a \Delta t$$

$$\sim \frac{\Delta t}{r^2}$$

$$\sim \frac{\Delta t}{\Delta t}$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

alors,

$$F = ma$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ \sim \frac{1}{r^2}$$

et

$$\Delta v = a \Delta t$$

$$\sim \frac{\Delta t}{r^2}$$

$$\sim \frac{\Delta t}{\Delta t}$$

$$= \text{cste}$$

# Principe fondamental de la dynamique à la rescousse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

$$\Delta v = \text{cste}$$

$\Delta v$  constant pour chaque angle  $\theta$  successif

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si  $\Delta v$  constant pour chaque angle  $\theta$  successif

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si  $\Delta v$  constant pour chaque angle  $\theta$  successif
- alors  $\vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  même longueur pour chaque  $\theta$  successif



## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si  $\Delta v$  constant pour chaque angle  $\theta$  successif
- alors  $\vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  même longueur pour chaque  $\theta$  successif
- mais cette fois en prenant des angles égaux

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales
- et force centrale

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales
- et force centrale
- donc angle entre les  $\Delta \vec{v}_i$  successifs

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales
- et force centrale
- donc angle entre les  $\Delta \vec{v}_i$  successifs
- toujours  $\theta$

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales
- et force centrale
- donc angle entre les  $\Delta \vec{v}_i$  successifs
- toujours  $\theta$
- en effet

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales
- et force centrale
- donc angle entre les  $\Delta \vec{v}_i$  successifs
- toujours  $\theta$
- en effet

$$\Delta \vec{v}_i \sim \vec{a}_i$$

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- $\Delta \vec{v}_i = \vec{v}_i - \vec{v}_{i-1}$  de longueurs égales
- et force centrale
- donc angle entre les  $\Delta \vec{v}_i$  successifs
- toujours  $\theta$
- en effet

$$\begin{aligned}\Delta \vec{v}_i &\sim \vec{a}_i \\ &\sim \vec{F}_i\end{aligned}$$



# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

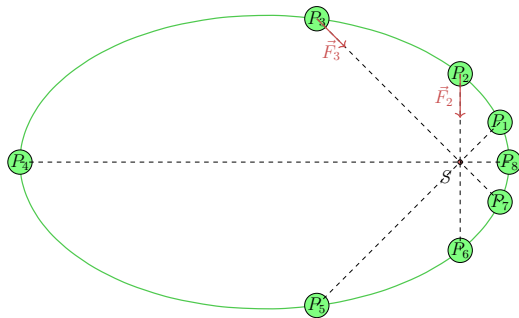
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

$\vec{F}_i$  successifs, par construction, angle  $\theta$  entre eux



# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si angles entre  $\Delta \vec{v}_i$  successifs =  $\theta$

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si angles entre  $\Delta\vec{v}_i$  successifs =  $\theta$
- et si  $\Delta\vec{v}_i$  de même longueur

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si angles entre  $\Delta \vec{v}_i$  successifs =  $\theta$
- et si  $\Delta \vec{v}_i$  de même longueur
- alors ils forment un polygone régulier

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

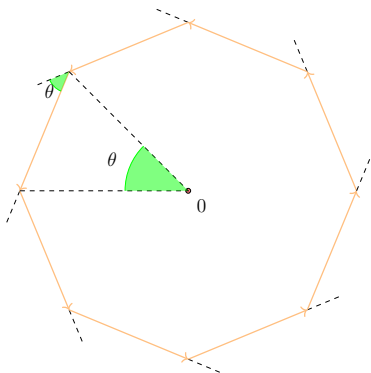
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si angles entre  $\Delta \vec{v}_i$  successifs =  $\theta$
- et si  $\Delta \vec{v}_i$  de même longueur
- alors ils forment un polygone régulier



# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si angle  $\theta$  diminue

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

#### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si angle  $\theta$  diminue
- nombre de côtés du polygone augmente

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

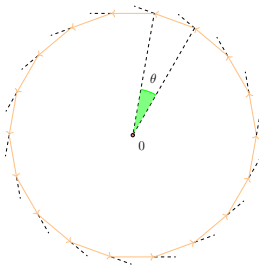
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si angle  $\theta$  diminue
- nombre de côtés du polygone augmente





# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

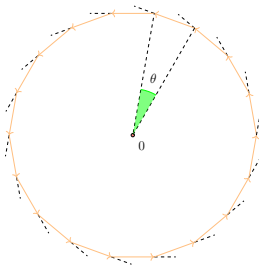
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si angle  $\theta$  diminue
- nombre de côtés du polygone augmente



- Si angle devient très petit

# Variation de vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

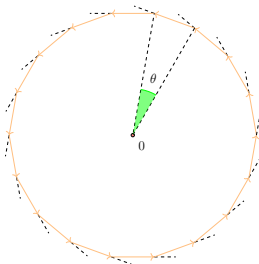
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- Si angle  $\theta$  diminue
- nombre de côtés du polygone augmente



- Si angle devient très petit
- polygone va se rapprocher d'un cercle

# Variation de vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

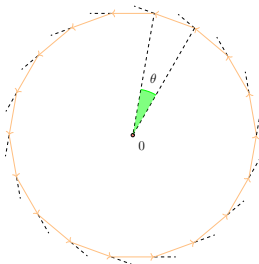
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si angle  $\theta$  diminue
- nombre de côtés du polygone augmente



- Si angle devient très petit
- polygone va se rapprocher d'un cercle
- extrémités des vecteurs vitesses ds. hodographe forme un cercle !



# Hodographe et ellipse par cercle directeur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si hodographe des vitesses forme un cercle

# Hodographe et ellipse par cercle directeur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhay

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si hodographe des vitesses forme un cercle
- alors vrai même si pas des secteurs "d'angles égaux"

# Hodographe et ellipse par cercle directeur

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

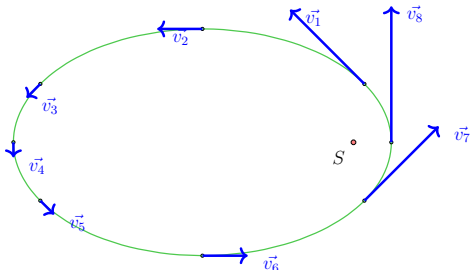
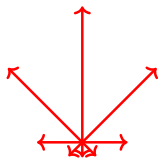
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- Si hodographe des vitesses forme un cercle
- alors vrai même si pas des secteurs "d'angles égaux"



# Hodographe et ellipse par cercle directeur

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

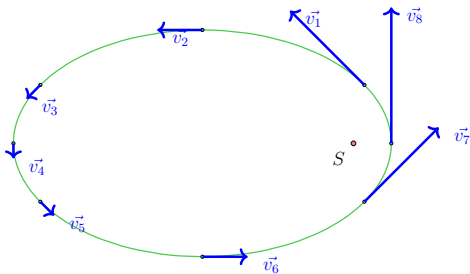
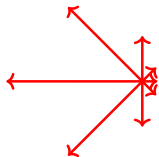
### Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres



# Hodographe et ellipse par cercle directeur

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique  
MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe  
Avec des points  
Variante  
Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie  
Physique

### FGU & trajectoire

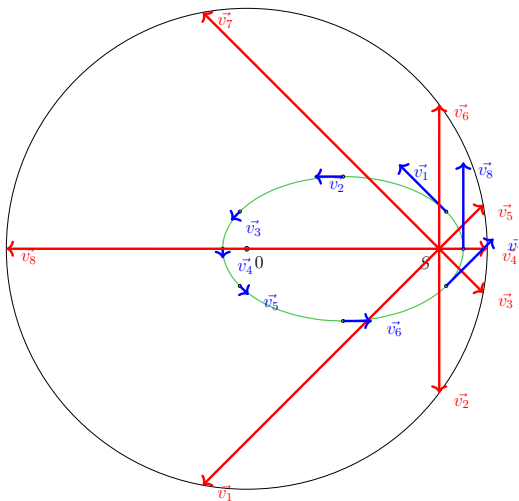
2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

FGU et ellipse  
Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres





# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- liens entre hodographe et ellipse ?



# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- liens entre hodographe et ellipse ?
- angle formé par deux points et foyer "Soleil"



# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- liens entre hodographe et ellipse ?
- angle formé par deux points et foyer "Soleil"
- extrémités deux vecteurs vitesses et centre du cercle

# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

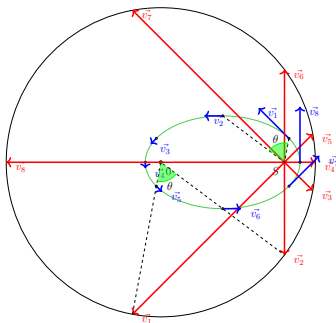
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- liens entre hodographe et ellipse ?
- angle formé par deux points et foyer "Soleil"
- extrémités deux vecteurs vitesses et centre du cercle



# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

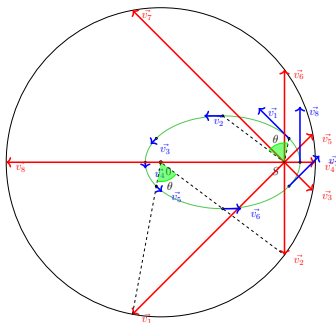
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- liens entre hodographe et ellipse ?
- angle formé par deux points et foyer "Soleil"
- extrémités deux vecteurs vitesses et centre du cercle



- angles égaux

# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

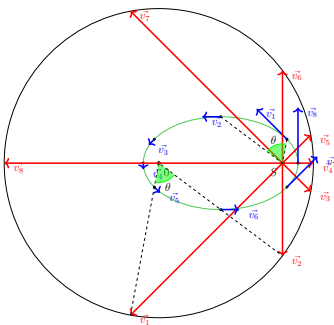
FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- angle balayé par "planète" en un temps donné



# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

**Hodographe**

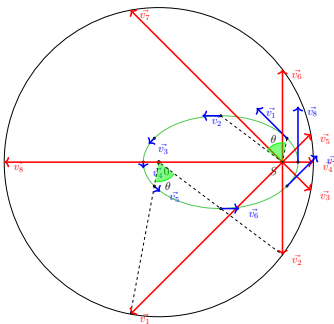
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- angle balayé par "planète" en un temps donné
- aussi celui balayé par vecteurs vitesses sur hodographe



# Angle sur le cercle directeur et sur l'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

### Hodographe

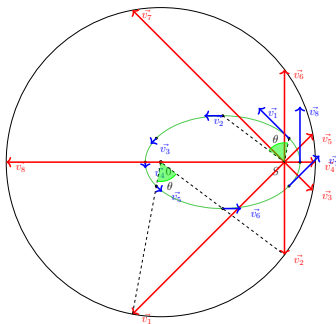
FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- angle balayé par "planète" en un temps donné
- aussi celui balayé par vecteurs vitesses sur hodographe



- possibilité de construire trajectoire depuis hodographe





# FGU et trajectoire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

**FGU et ellipse**

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

■ construction repose sur

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

**FGU et ellipse**

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- construction repose sur

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

# FGU et trajectoire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

**FGU et ellipse**

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- construction repose sur

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- autre relation entre force et distance

# FGU et trajectoire

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

**FGU et ellipse**

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- construction repose sur

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- autre relation entre force et distance
- pas d'ellipse

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

**FGU et ellipse**

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

- construction repose sur

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

- autre relation entre force et distance
- pas d'ellipse
- avec le Soleil = un des foyers

# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

**Grandeur de la  
vitesse et hodographe**

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur =  
excentricité  $e$

# Grandeur de la vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhayé

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

**Grandeur de la  
vitesse et hodographe**

### Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

**Grandeur de la  
vitesse et hodographe**

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

$$v_x = -\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \sin \alpha$$



# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

**Grandeur de la  
vitesse et hodographe**

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

$$v_x = -\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \sin \alpha$$

$$v_y = +\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} (e + \cos \alpha)$$

# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

**Grandeur de la  
vitesse et hodographe**

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

$$v_x = -\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \sin \alpha$$

$$v_y = +\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} (e + \cos \alpha)$$

où

# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

$$v_x = -\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \sin \alpha$$

$$v_y = +\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} (e + \cos \alpha)$$

où

- $n = \frac{2\pi}{T}$  vitesse angulaire moyenne,

# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

$$v_x = -\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \sin \alpha$$

$$v_y = +\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} (e + \cos \alpha)$$

où

- $n = \frac{2\pi}{T}$  vitesse angulaire moyenne,
- $a =$  longueur du demi-grand axe

# Grandeur de la vitesse et hodographe

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhayé

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres

- rapport distance  $\|OS\|$  / rayon du cercle directeur = excentricité  $e$
- résolution équations différentielles :

$$v_x = -\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} \sin \alpha$$

$$v_y = +\frac{na}{\sqrt{1-e^2}} (e + \cos \alpha)$$

où

- $n = \frac{2\pi}{T}$  vitesse angulaire moyenne,
- $a$  = longueur du demi-grand axe
- $\alpha$  = (angle centré sur Soleil) position de la planète avec le demi-grand axe

# Grandeur de la vitesse et hodographe

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

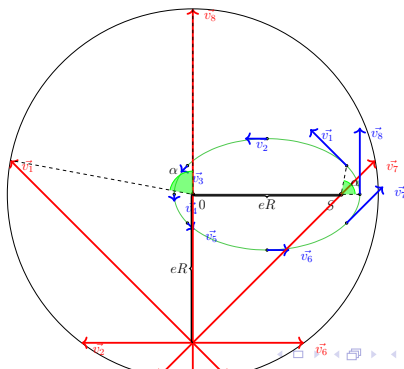
**Grandeur de la vitesse et hodographe**

### Bibliographie

Livres

$$v_x = -k \sin \alpha$$

$$v_y = +k (e + \cos \alpha)$$



# Bibliographie I

## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

## Introduction

Historique

MCU

## 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

## 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

## FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la vitesse et hodographe

## Bibliographie

Livres

**FERGUSON, Kitty.** *Tycho & Kepler : the unlikely partnership that forever changed our understanding of the heavens.* New York : Walker & Company, 2002. ISBN : 9780802713902.

**GOODSTEIN, David & Judith.** *Feynman's lost lecture : the motion of planets around the sun.* London : Vintage, 1997. ISBN : 9780099736219.

**KOESTLER, Arthur.** *The sleepwalkers : a history of man's changing vision of the Universe.* London New York : Arkana, 1989. ISBN : 9780140192469.

**MURRAY, Carl.** *Solar system dynamics.* Cambridge New York : Cambridge University Press, 1999. ISBN : 9780521575973.

**NEEDHAM, Tristan.** *Visual complex analysis.* Oxford New York : Clarendon Press Oxford University Press, 1997. ISBN : 9780198534464.

# Bibliographie II

La leçon  
perdue de  
Feynman

Y. Delhaye

Introduction

Historique

MCU

1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

FGU &  
trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

Bibliographie

Livres



NEWTON, Isaac. *Principia : principes mathématiques de la philosophie naturelle*. Paris : Dunod, 2011. ISBN : 9782100566273.





## La leçon perdue de Feynman

Y. Delhaye

### Introduction

Historique

MCU

### 1<sup>re</sup> démarche

Enveloppe

Avec des points

Variante

Machines

### 2<sup>e</sup> démarche

Géométrie

Physique

### FGU & trajectoire

2<sup>e</sup> loi de Kepler

Hodographe

FGU et ellipse

Grandeur de la  
vitesse et hodographe

### Bibliographie

Livres

# Questions ?