

# Dossier de recherche, Concours externe spécial de l'agrégation physique-chimie

## Observation de météores à l'aide du réseau FRIPON

Simon Jeanne

IMCCE, Observatoire de Paris

May 24, 2021

# Sommaire

## Introduction

### Un peu de contexte

### La trajectoire des météores

### La dynamique des météores

### Compréhension des météores

### Prédiction : zones de chute de météorites

## Conclusion

Introduction

Un peu de  
contexte

La trajectoire  
des météores

La dynamique  
des météores

Compréhension  
des météores

Prédiction :  
zones de chute  
de météorites

Conclusion

# Introduction

Dossier de recherche,  
Concours externe spécial de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

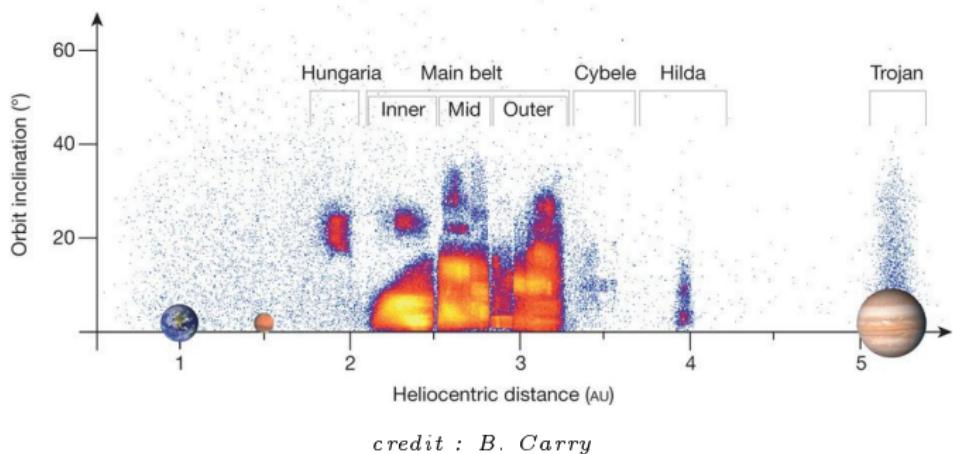
La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion



- ▶ En plus du Soleil et des planètes, il y a beaucoup d'autres corps, plus petits, dans le Système solaire.
- ▶ Quand un de ces corps percute l'atmosphère, il produit un phénomène lumineux : un météore.
- ▶ Les météores sont l'unique moyen d'observer les météoroïdes.

# Qu'est ce qu'un météore ?



Fig. 3. Chute du bolide du 14 mai 1864.

Météore d'Orgueil (1864)



Pluie de météore des Léonides (1866)

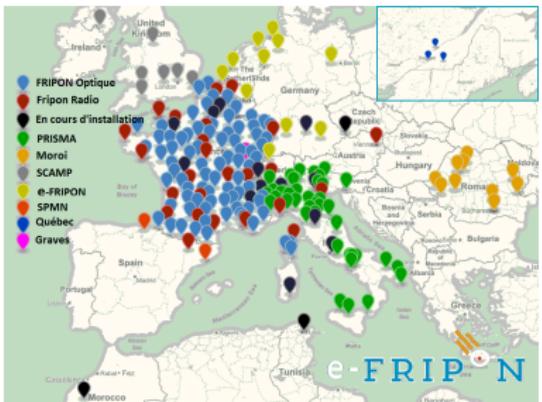
- ▶ Météoroïde : corps plus grand qu'une poussière ( $30\mu\text{m}$ ) et plus petit qu'un astéroïde (1m).
- ▶ Météore : phénomène lumineux produit par l'entrée d'un météoroïde dans l'atmosphère.
- ▶ Météorite : fragment de météoroïde survivant jusqu'au sol.

# FRIPON

## Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network

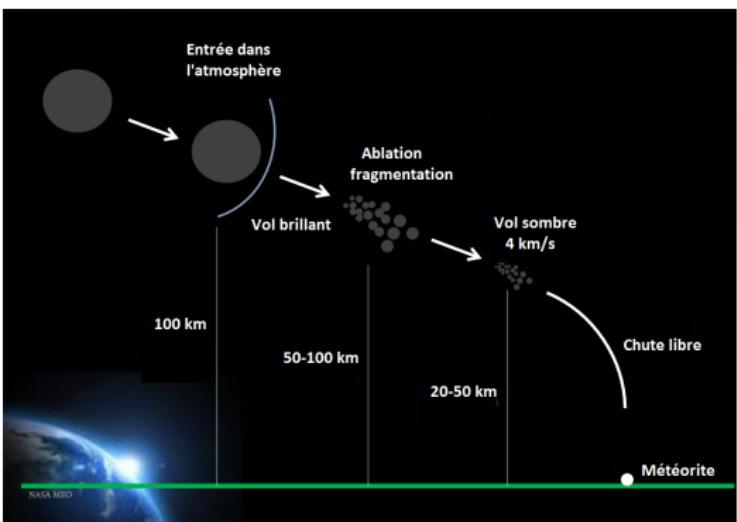
- ▶ 150 caméras "all-sky" en Europe de l'Ouest
- ▶ Autant de responsables locaux
- ▶ Une précision angulaire entre 1 et 2 minutes d'arc
- ▶ Pas de synchronisation entre les stations

FRIPON est un instrument composite. Chaque caméra peut être considérée comme un instrument particulier, mais ensemble elles forment un instrument de taille continentale.

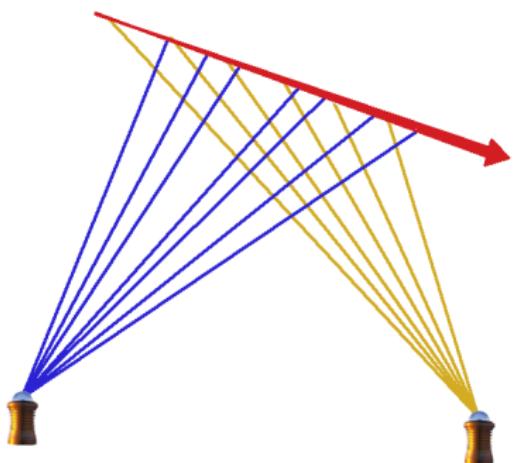


# Ordres de grandeur

- ▶ Environ 100 tonnes de matière interplanétaire tombe sur Terre chaque jour.
- ▶ Un météore, ça dure quelques secondes
- ▶ Un météore, ça s'étend sur quelques dizaines de kilomètres
- ▶ Un météoroïde, ça va entre 11 et 72 km/s à l'entrée dans l'atmosphère



# La trajectoire des météores



Météore observé à Beaumont le 27/02/2019

- ▶ Chaque caméra permet de définir un plan dans lequel se trouve le météore.
- ▶ Le météore se déplace le long de la ligne droite à l'intersection de ces plans.

# La dynamique des météores

La décélération du météore est proportionnelle à la quantité de mouvement de l'air incident :

$$M \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} c_d \rho_a S V^2$$

La perte de masse est proportionnelle à l'énergie cinétique de l'air incident :

$$\frac{dM}{dt} = -\frac{1}{2} \frac{c_h}{H} \rho_a S V^3$$

La surface du météoroïde est relié à sa masse par une loi de puissance :

$$\frac{S}{S_0} = \left( \frac{M}{M_0} \right)^\mu$$

# La dynamique des météores

Équation dynamique :

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{1}{2} A \rho_a V^2 \exp\left(\frac{B}{2A}(V_0^2 - V^2)\right)$$

$$A = \frac{c_d S_0}{M_0} \quad [\text{m}]^2 [\text{kg}]^{-1} \quad B = \frac{c_h S_0}{H M_0} (1 - \mu) \quad [\text{m}]^2 [\text{J}]^{-1}$$

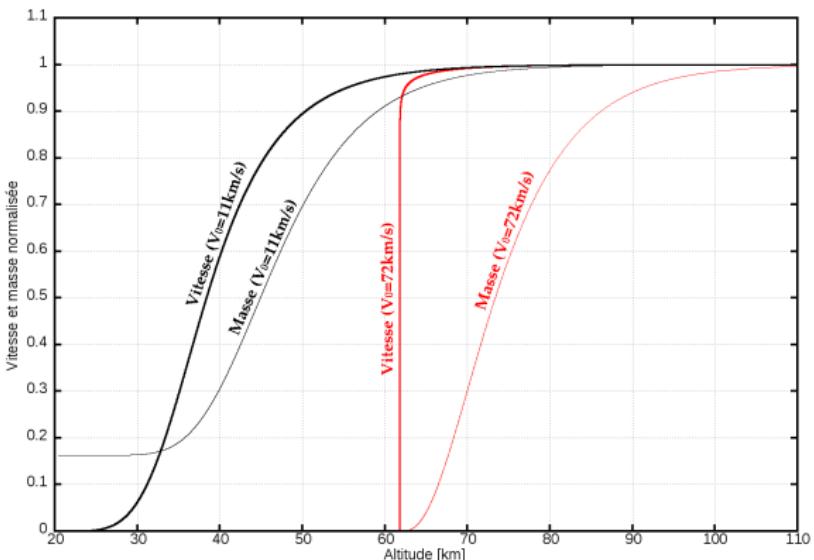
Équation de la masse :

$$\frac{M}{M_0} = \exp\left(-\frac{(V_0^2 - V^2)}{2Q(1 - \mu)}\right)$$

$$Q = \frac{A}{B} = \frac{c_d}{c_h(1 - \mu)} H \quad [\text{J}][\text{kg}]^{-1}$$

# Compréhension des météores

- ▶ Pour les météores lent et solide, le freinage est plus efficace que l'ablation.
- ▶ Pour les météores rapide et fragile, l'ablation est plus efficace que le freinage.



# Compréhension des météores

## Un météore dans une atmosphère isotherme

Dossier de recherche,  
Concours externe spécial  
de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

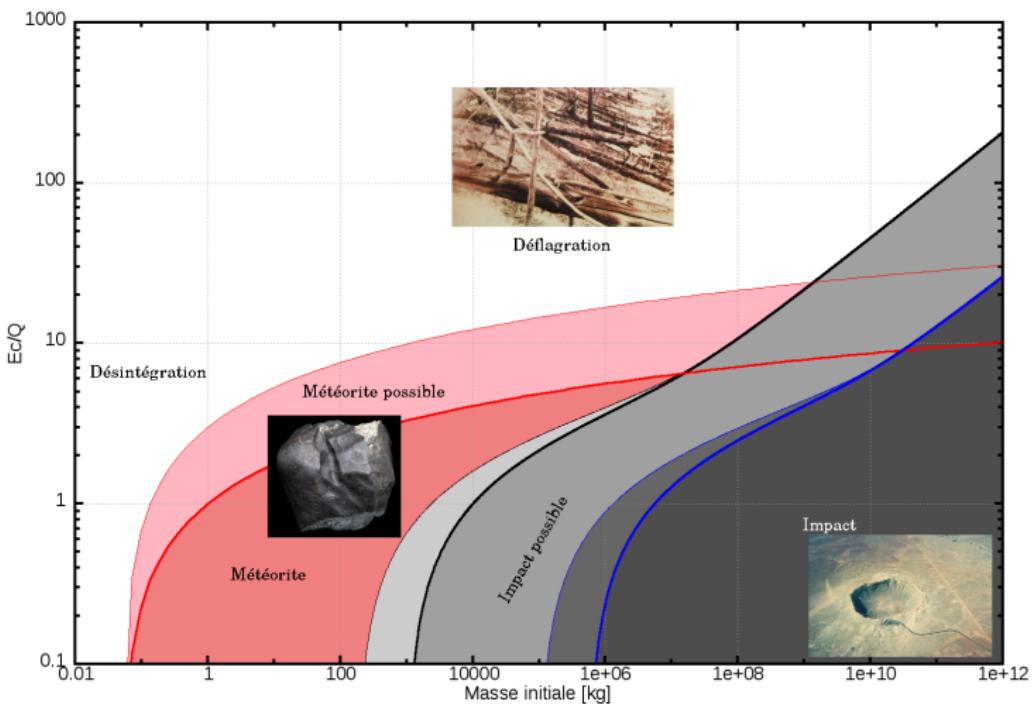
La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion



# Compréhension des météores

## Atmosphère martienne

Dossier de recherche,  
Concours externe spécial  
de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

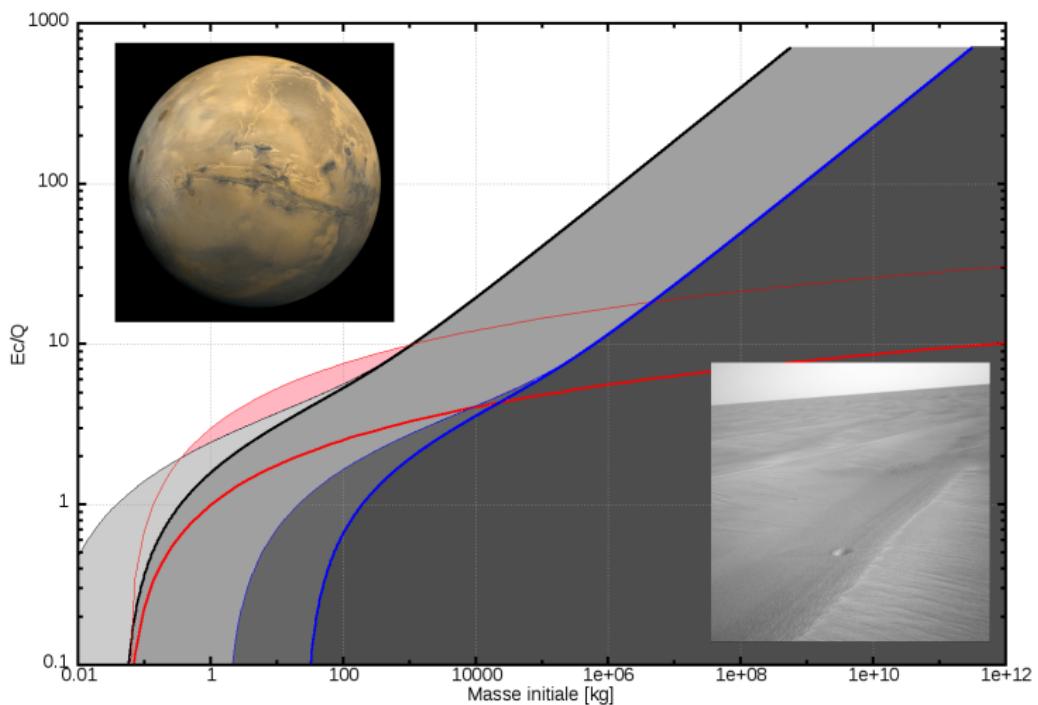
La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

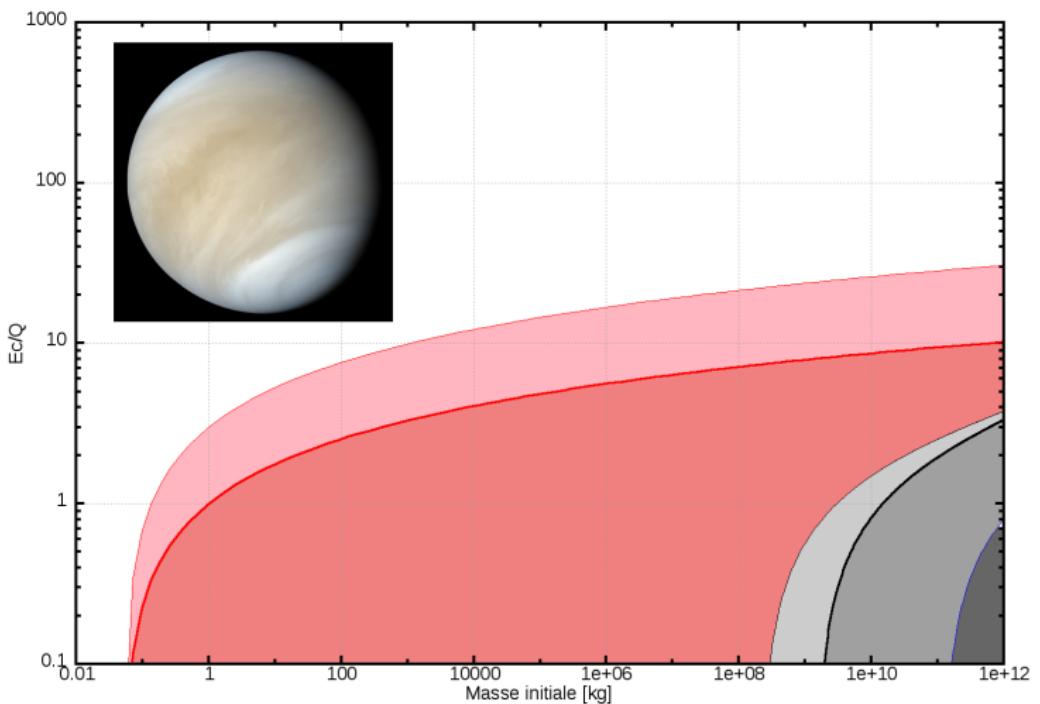
Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion



# Compréhension des météores

## Atmosphère vénusienne



Dossier de recherche,  
Concours externe spécial de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion

## Introduction

Un peu de contexte

La trajectoire des météores

La dynamique des météores

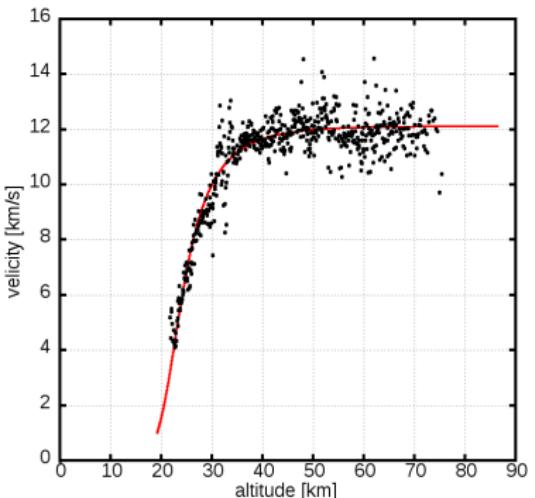
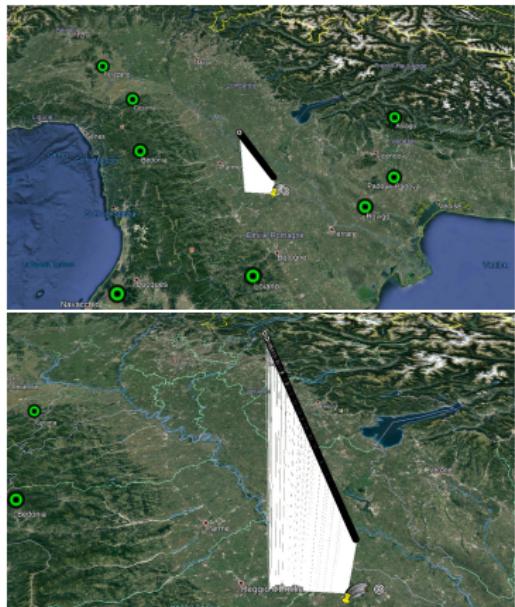
Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion

# Prédiction : zones de chute de météorites

Météore italien du 01/01/2020

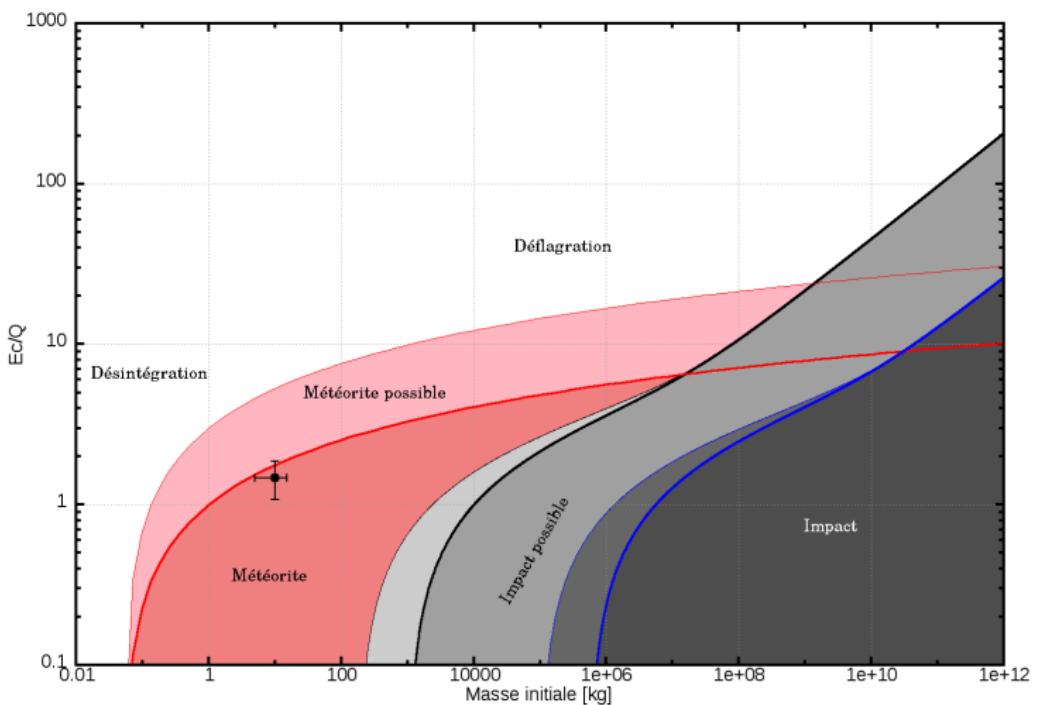


- ▶  $V_0 = 12.12 \pm 0.07 \text{ km/s}$
- ▶  $A = 25 \pm 4 \text{ cm}^2/\text{kg}$
- ▶  $B = 0.48 \pm 0.09 \text{ cm}^2/\text{MJ}$

- ▶  $M_0 = \frac{c_d^3 F^3}{\rho^2 A^3} = 10 \pm 5 \text{ kg}$
- ▶  $\mathcal{V}_0^{1/3} = \frac{Fc_d}{\rho A} = 14.6 \pm 2.3 \text{ cm}$
- ▶  $Q = \frac{A}{B} = 50 \pm 13 \text{ MJ/kg}$

# Prédiction : zones de chute de météorites

Météore italien du 01/01/2020 : Possibilité de météorites



Dossier de recherche,  
Concours externe spécial de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

La trajectoire des météores

La dynamique des météores

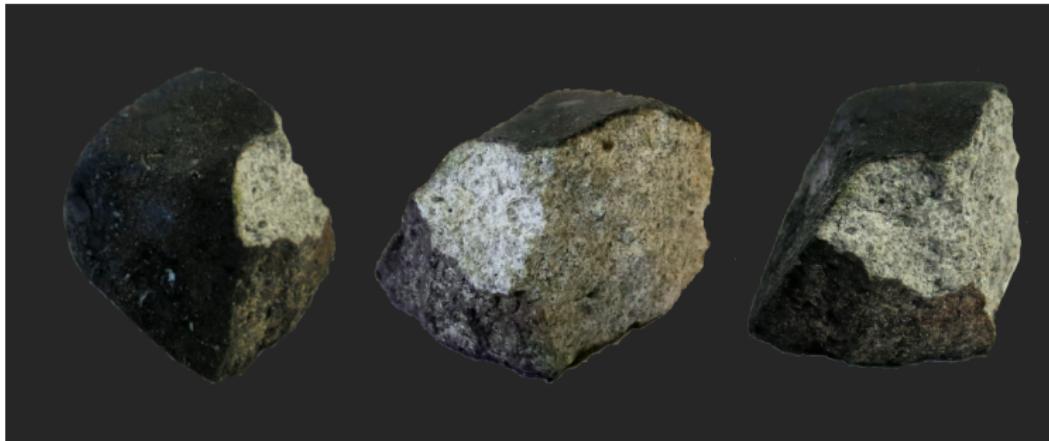
Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion

# Prédiction : zones de chute de météorites

## La météorite



- ▶ Classe : Chondrite Ordinaire
- ▶ Type : LL (Low iron, Low metal)
- ▶ Masse : 55.3 g
- ▶ Densité :  $3320 \text{ kg/m}^3$

Dossier de recherche,  
Concours externe spécial de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

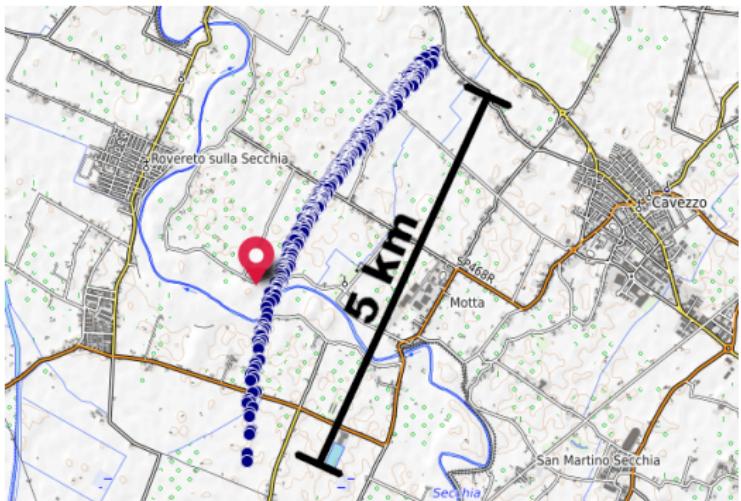
La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion



- ▶ La météorite a été retrouvée à 200 mètres de la zone prévue.
- ▶ La taille caractéristique du fragment : 2.6 cm
- ▶ Pour faire concorder notre modèle à la réalité, il faut que le facteur  $c_d F$  soit égale à 2.
- ▶ On s'attend à des valeurs comprises entre 1.2 et 2.5

# Prédiction : zones de chute de météorites

Météorite anglaise du 28/02/2021

Dossier de recherche,  
Concours externe spécial  
de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

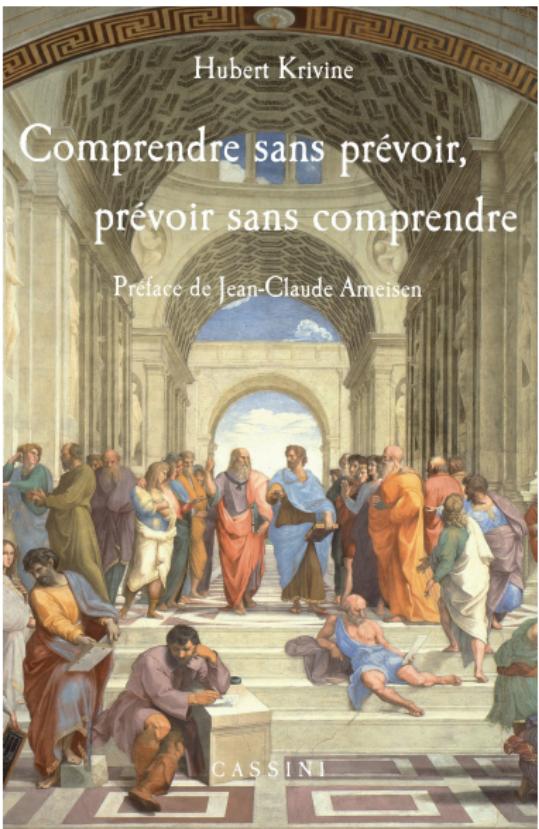
Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion



# Conclusion

- ▶ La modélisation des météores est une affaire de compromis entre réalisme et utilité
- ▶ Selon les conditions d'observation, nous n'utiliserons pas le même modèle.
- ▶ La modélisation que nous utilisons parvient de manière satisfaisante à nous donner des outils de *compréhension* des météores, et permet de réaliser des *prédictions* justes.



Dossier de recherche,  
Concours externe spécial de l'agrégation physique-chimie

Simon Jeanne

Introduction

Un peu de contexte

La trajectoire des météores

La dynamique des météores

Compréhension des météores

Prédiction : zones de chute de météorites

Conclusion